



**COMUNE DI VERTOVA**  
PROVINCIA DI BERGAMO

**STUDIO IDRAULICO DI ALCUNI SETTORI  
DEL TORRENTE VERTOVA  
PER LA DEFINIZIONE DELLA  
PERICOLOSITÀ PAI-PGRA**

D.G.R. 19 giugno 2017 n.X/6738

**RELAZIONE GEOLOGICA, IDROLOGICA E IDRAULICA**



**Studio  
Geoter**

**Studio Geoter di Sergio Santambrogio**  
sede legale: via Guido da Velate, n.2 20162 - MILANO  
sede operativa: via. Rossini, n.2 - 24020 - ARDESIO (BG)  
telefono/fax: +39 034633663 mobile: +39 3386314370  
e\_mail: studio.geoter@virgilio.it  
PEC: sergios63@spap.sicurezza postale.it



**SAI progetti s.r.l.**  
Servizi per l'Architettura e l'Ingegneria

Via Baioni, 5  
24123 - Bergamo  
tel. 035234096  
email: info@saiprogetti.net  
www. saiprogetti.net



## INDICE

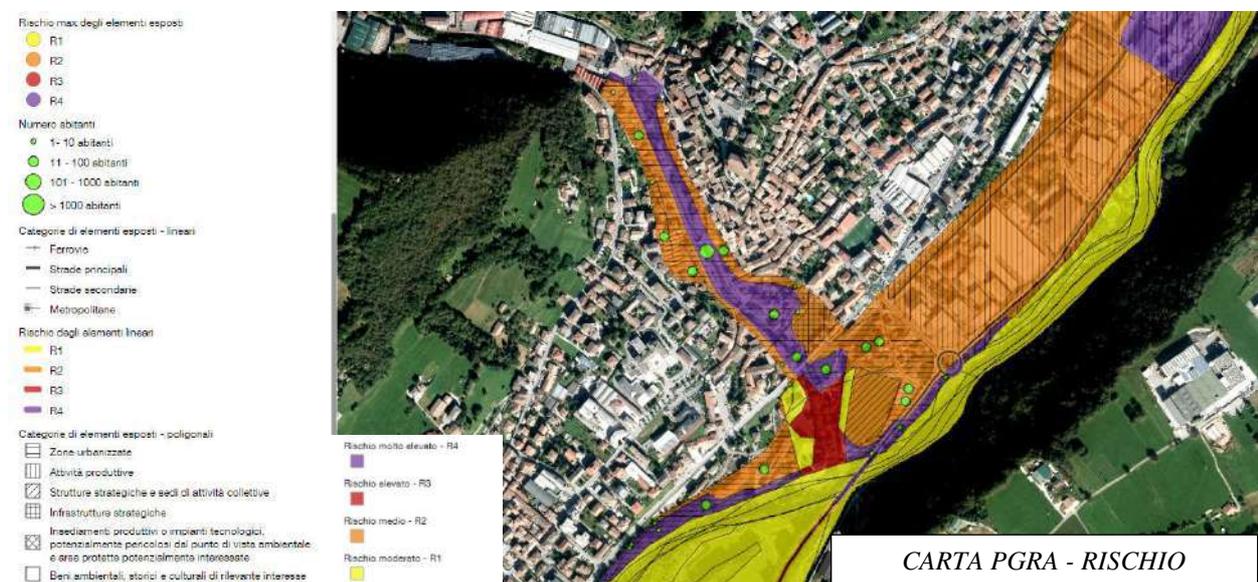
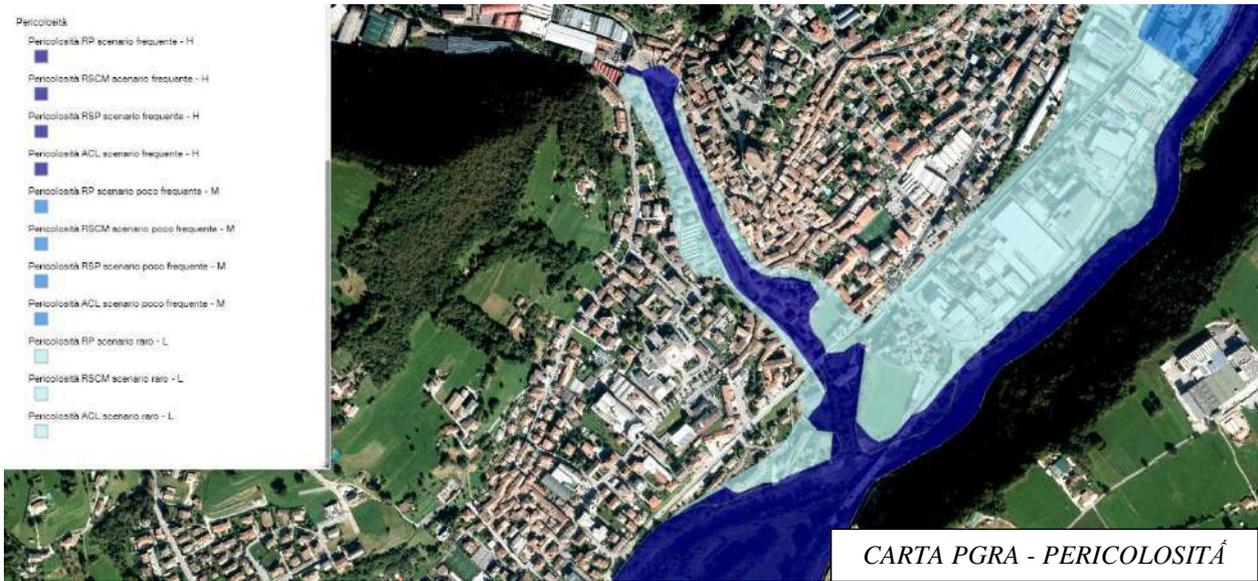
1.	PREMESSA	pag.	1
2.	STUDI IDRAULICI PRECEDENTI RICOMPRESI NELLE VALUTAZIONI IDRAULICHE DEL TORRENTE VERTOVA	pag.	4
3.	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL TORRENTE VERTOVA NEL CENTRO ABITATO ED EVENTI DI PIENA NOTI	pag.	7
4.	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE VERTOVA E DELL'ASTA PRINCIPALE: TRASPORTO SOLIDO E COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	pag.	30
4.1	<i>COEFFICIENTE DI DEFLUSSO</i>	pag.	37
5.	STUDIO IDROLOGICO	pag.	41
5.1	<i>BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE VERTOVA</i>	pag.	45
5.2	<i>ANALISI IDROLOGICA</i>	pag.	47
5.2.1	<i>TEMPO DI CORRIVAZIONE E COEFFICIENTE DI DEFLUSSO</i>	pag.	47
5.2.2	<i>VALUTAZIONE DELLE PIOGGE – CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA</i>	pag.	48
5.2.3	<i>COEFFICIENTE DI RAGGUAGLIO</i>	pag.	52
5.2.4	<i>IETOGRAMMA</i>	pag.	52
5.3	<i>IDROGRAMMA DI PIENA</i>	pag.	54
6.	VERIFICHE IDRAULICHE CENTRO STORICO	pag.	62
6.1	<i>PROGRAMMA DI MODELLAZIONE IDRAULICA</i>	pag.	62
6.2	<i>FASI DI COSTRUZIONE DEL MODELLO</i>	pag.	65
6.3	<i>MODELLO TRIDIMENSIONALE DEL TERRENO ADOTTATO</i>	pag.	65
6.4	<i>MODIFICHE MANUALI DEL MODELLO 3D DEL TERRENO</i>	pag.	68
6.5	<i>MESHATURA DEL TERRENO E PRINCIPI DI CALCOLO</i>	pag.	70
6.6	<i>STRUTTURE IDRAULICHE NELL'AREA DI DEFLUSSO (PONTI, SPONDE E/O TRAVERSE)</i>	pag.	74
6.6.1	<i>PARAMETRI ASSUNTI PER WEIR E CULVERT</i>	pag.	81
6.6.2	<i>PARAMETRI ASSUNTI PER BRIDGE</i>	pag.	82
6.7	<i>IDROGRAMMA DI PIENA UTILIZZATO E PARAMETRI DI SCABREZZA DELL'ALVEO</i>	pag.	83
6.8	<i>MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE E PRESENTAZIONE DEI DATI</i>	pag.	85
6.8.1	<i>VALUTAZIONE DELLA PORTATA IN INGRESSO AL SISTEMA</i>	pag.	88
6.8.2	<i>CONDIZIONI AL CONTORNO DELLA PORTATA ALLA CONFLUENZA CON IL FIUME SERIO (USCITA DEL SISTEMA)</i>	pag.	92
6.8.3	<i>INIZIO ESONDAZIONE E CONSIDERAZIONI DI ATTENDIBILITÀ</i>	pag.	93
6.8.4	<i>RAPPRESENTAZIONE E DESCRIZIONE DELLE AREE DI ESONDAZIONE</i>	pag.	97
6.8.5	<i>VELOCITÀ DELL'ONDA DI PIENA NELL'ALVEO E NELLE ZONE DI ESONDAZIONE</i>	pag.	104
6.8.6	<i>PERICOLOSITÀ DI ESONDAZIONE</i>	pag.	106
6.8.7	<i>VALUTAZIONE DELLE AREE CONTERMINI A QUELLE INDIVIDUATE DALLA PERICOLOSITÀ PER ESONDAZIONE A CAUSA DELLA PRESENZA DI EDIFICI E/O FABBRICATI A QUOTE SOGGETTE ALL'ONDA DI PIENA</i>	pag.	108
6.8.8	<i>PERICOLOSITÀ DA CRITERI IDRAULICI E DA VALUTAZIONI MORFOLOGICHE</i>	pag.	114
7.	VERIFICHE IDRAULICHE LOCALITÀ PONTE DELLA FABBRICHETTA	pag.	116
7.1	<i>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI</i>	pag.	118
7.2	<i>MAPPATURA PERICOLOSITÀ</i>	pag.	126
8.	VERIFICHE IDRAULICHE LOCALITÀ PONTE MISTRI	pag.	128
8.1	<i>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI</i>	pag.	130
8.2	<i>MAPPATURA PERICOLOSITÀ</i>	pag.	142
9.	VERIFICHE IDRAULICHE LOCALITÀ LACNI'	pag.	145
9.1	<i>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI</i>	pag.	147
9.2	<i>MAPPATURA PERICOLOSITÀ</i>	pag.	157
10	CONDIZIONI DEI PONTI	pag.	162

ALLEGATO 1: **Estratto Nuovo Modulo s.r.l. – STUDIO GEOLOGICO E IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE – Studio GEA, 2005**

## **ELENCO ELABORATI GRAFICI**

- TAVOLA 1A - Planimetria zone di pericolosità - zona centro abitato; scala 1:2000
- TAVOLA 1B - Aree Esondabili e Zonazione della Pericolosità e legenda PAI-PGRA - zona centro abitato; scala 1:2000
- TAVOLA 2 - Sezioni dalla 2 alla 28 - zona centro abitato; scala 1:100
- TAVOLA 3 - Sezioni dalla 32 alla 64 - zona centro abitato; scala 1:100
- TAVOLA 4 - Profilo longitudinale - zona centro abitato; scala 1:2000 - 1:200
  
- TAVOLA 5 - Planimetria, Sezione 20 – Tombinatura; scala 1: 200 - 1:50
  
- TAVOLA 6 - Aree Esondabili e Zonazione della Pericolosità e legenda PAI-PGRA - zona Ponte della Fabbrichetta; scala 1:200
- TAVOLA 7 - Sezioni dalla 1 alla 6 - zona Ponte della Fabbrichetta; scala 1:100
- TAVOLA 8 - Sezioni dalla 7 alla 8 - zona Ponte della Fabbrichetta; scala 1:100
- TAVOLA 9 - Sezioni dalla 8A alla 10 - zona Ponte della Fabbrichetta; scala 1:100
- TAVOLA 10 - Sezioni dalla 10A alla 12 - zona Ponte della Fabbrichetta; scala 1:100
- TAVOLA 11 - Profilo longitudinale - zona Ponte della Fabbrichetta: scala 1:100
  
- TAVOLA 12 - Aree Esondabili e Zonazione della Pericolosità e legenda PAI-PGRA - zona Ponte Mistri; scala 1:200
- TAVOLA 13 - Sezioni dalla 1 alla 6 - zona Ponte Mistri; scala 1:100
- TAVOLA 14 - Sezioni dalla 7 alla 12 - zona Ponte Mistri; scala 1:100
- TAVOLA 15 - Sezioni dalla 13 alla 18 - zona Ponte Mistri; scala 1:100
- TAVOLA 16 - Sezioni dalla 19 alla S20 - zona Ponte Mistri; scala 1:100
- TAVOLA 17 - Profilo longitudinale - Zona Ponte Mistri; scala 1:100
  
- TAVOLA 18 - Aree Esondabili e Zonazione della Pericolosità e legenda PAI-PGRA - Località Lacnè; scala 1:500
- TAVOLA 19 - Sezioni dalla 0 alla 4 - Località Lacnè; scala 1:200
- TAVOLA 20 - Sezioni dalla 5 alla 11 - Località Lacnè; scala 1:200;
- TAVOLA 20 - Sezioni dalla 5 alla 11 - Località Lacnè; scala 1:200
- TAVOLA 21 - Sezioni dalla 11 alla 16 - Località Lacnè; scala 1:200
- TAVOLA 22 - Sezioni dalla 17 alla 26 - Località Lacnè; scala 1:200
- TAVOLA 23 - Sezioni dalla 27 alla 36 - Località Lacnè; scala 1:200





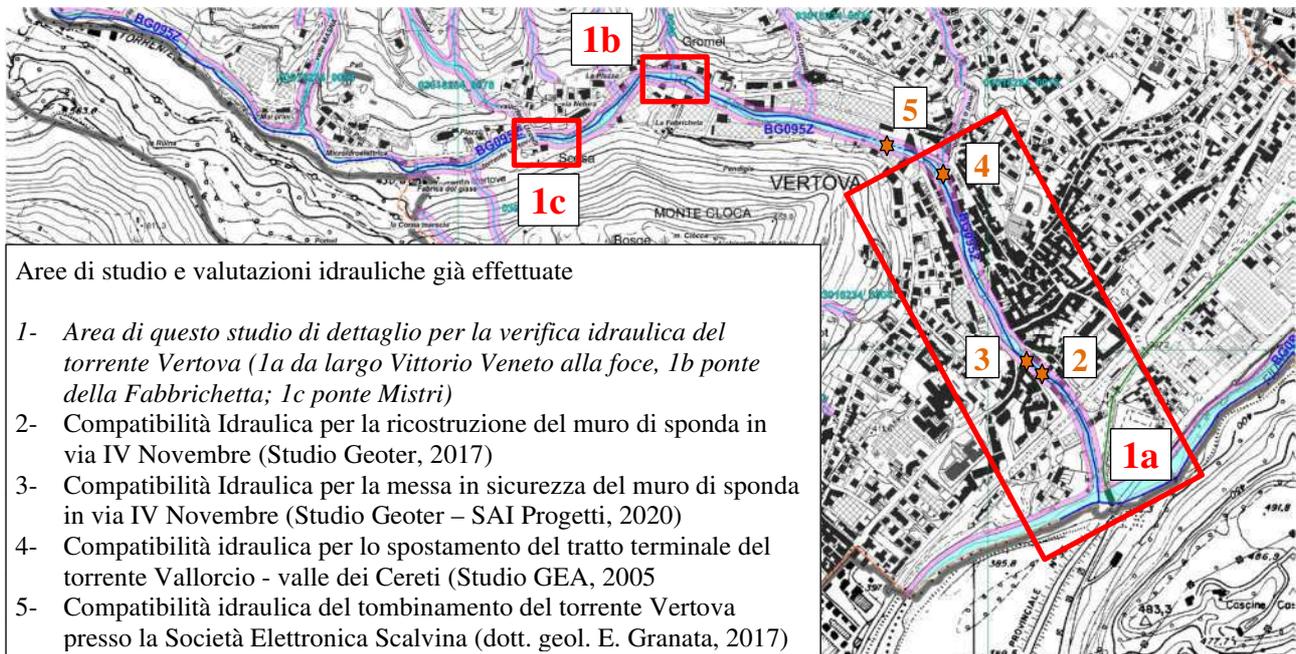
Nell'ambito dell'aggiornamento dello studio geologico a supporto del PGT il comune di Vertova ha allora previsto la valutazione di dettaglio di tale pericolosità e del rischio annesso rivedendo nel complesso l'intera pericolosità del torrente Vertova che in precedenza era limitata alla sola area urbanizzata compresa tra largo Vittorio Veneto e la foce anche a seguito del recente studio sulla ridefinizione del reticolo idrico per il Documento di Polizia Idraulica (Studio Geoter, 2021).

Lo studio idraulico di dettaglio del torrente Vertova per il settore compreso tra Largo Vittorio Veneto e la foce nel fiume Serio è stato effettuato secondo i criteri dell'allegato 4 della dgr 2616/2011 per il quale è stata eseguita una analisi idraulica bidimensionale con software HEC-RAS dallo studio SAI Progetti (ing. M. Locatelli e ing. E- Zucchelli). L'analisi è supportata da uno specifico rilievo con drone appoggiato anche a target di identificazione effettuato dal geom. Matteo Grassi di Vilminore di Scalve su apposito incarico del comune di Vertova che ha permesso una ricostruzione tridimensionale di questo tratto del torrente Vertova e di un suo significativo intorno. L'analisi morfologica e idrologica è stata predisposta da Studio Geoter, ripresa da studi effettuati per alcune sistemazioni di muri franati o con segni di cedimento e lesioni all'interno dell'area urbana per i quali si sono rese necessarie specifiche verifiche di compatibilità idraulica di tali interventi (*Comune di Vertova - INDAGINE GEOLOGICA SULLA RICOSTRUZIONE DI UN TRATTO DI MURO DI VIA IV NOVEMBRE IN VERTOVA – STUDIO GEOTER, 2017; Comune di Vertova - MESSA IN SICUREZZA MURO VIA IV NOVEMBRE - RELAZIONE GEOLOGICA CON MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO E SISMICO E VERIFICHE IDRAULICHE – STUDIO GEOTER E SAI PROGETTI, 2020*) che sono state recepite dall'UTR di Bergamo.

Oltre a questi studi è stato preso in considerazione quello realizzato una decina di anni fa per la sistemazione del parcheggio interrato di Largo Vittorio Veneto con lo spostamento del tratto terminale del torrente Vallorcio o valle dei Cereti (*Nuovo Modulo s.r.l. – STUDIO GEOLOGICO E IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE – STUDIO GEA, 2005*) che conteneva uno studio dettagliato sulla valutazione del bacino idrografico e le caratteristiche del torrente Vertova e del torrente Vallorcio, nonché la determinazione dei valori di portata attraverso la procedura del Curve Number (CN) proposto dal Soil Conservation Service (SCS) e definita come una delle metodologie utilizzabili all'interno della direttiva 2 del PAI (*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica – Direttiva 2 allegata all'elaborato 7 - Norme di Attuazione del PAI - redatto dall'Autorità di Bacino del Po*). L'intervento è anche stato oggetto di una verifica di controllo redatta dallo STUDIO PAOLETTI nel 2005.

Lungo il torrente Vertova, nell'ambito di questo studio, sono anche stati analizzati due tratti critici in corrispondenza di due ponti di attraversamento del torrente che in passato hanno già mostrato problematiche per la loro scarsa luce con lo scavalco dei manufatti da parte dell'onda di piena: il ponte Mistri e il ponte della Fabbrichetta nel settore a monte dell'area industriale. In questo caso le verifiche idrauliche sono state condotte con il medesimo software, ma attraverso verifiche monodimensionali del deflusso delle portate di piena utilizzando un rilievo effettuato dallo studio del geom. M. Grassi, ma realizzato come un classico rilievo a sezioni. In questo caso a favore di sicurezza le portate di massima piena utilizzate sono quelle riferite al tratto più a valle.

Per completezza dell'indagine è anche stato verificato l'attraversamento nel tratto tombinato sotto l'area industriale (attualmente officina Elettronica Scalvina) per garantire che le portate utilizzate per le verifiche del tratto che ha inizio presso il ponte di Largo Vittorio Veneto siano verificate anche per quell'attraversamento. Per la stessa tombinatura era stata realizzata in precedenza un'analisi idraulica monodimensionale in corrispondenza di una specifica sezione (*Elettronica Scalvina – VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA DEL TRATTO DI ALVEO DEL T. VERTOVA IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE DI CHIUSURA DELL'INSEDIAMENTO DELLA SOC. "ELETTRONICA SCALVINA" IN COMUNE DI VERTOVA – DOTT. GEOL. E. GRANATA, 2017*).



## 2. STUDI IDRAULICI PRECEDENTI RICOMPRESI NELLE VALUTAZIONI IDRAULICHE DEL TORRENTE VERTOVA

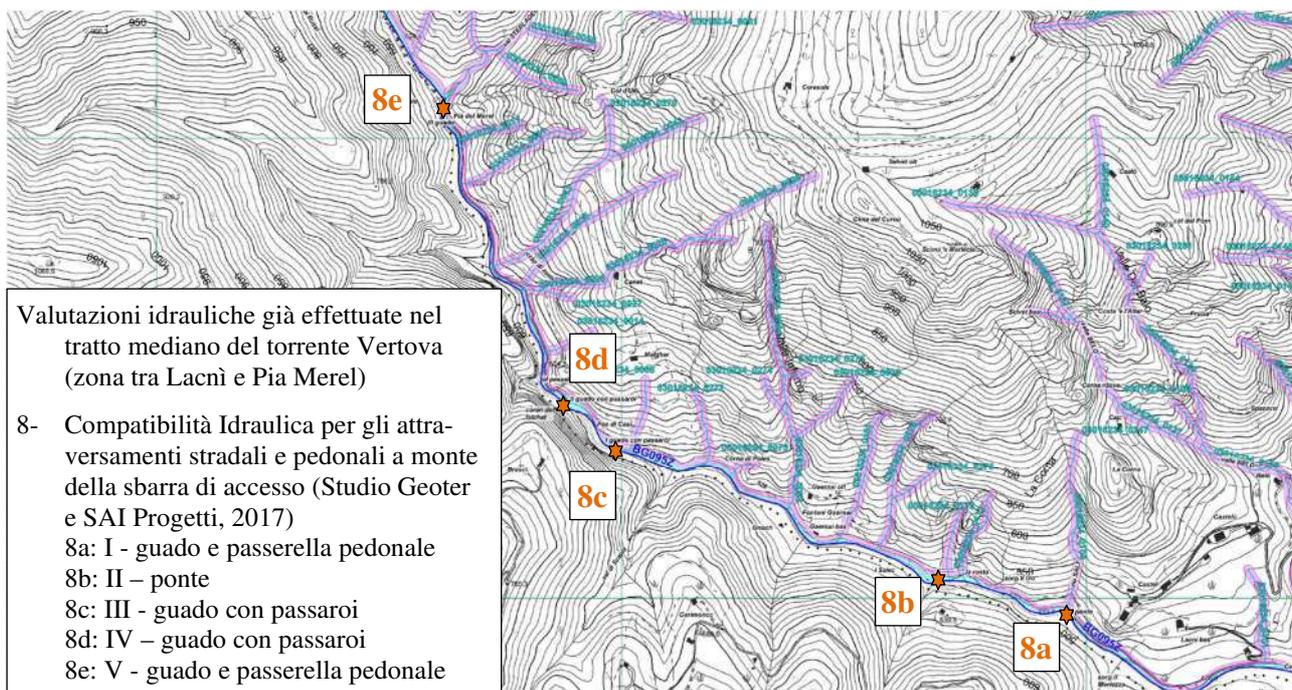
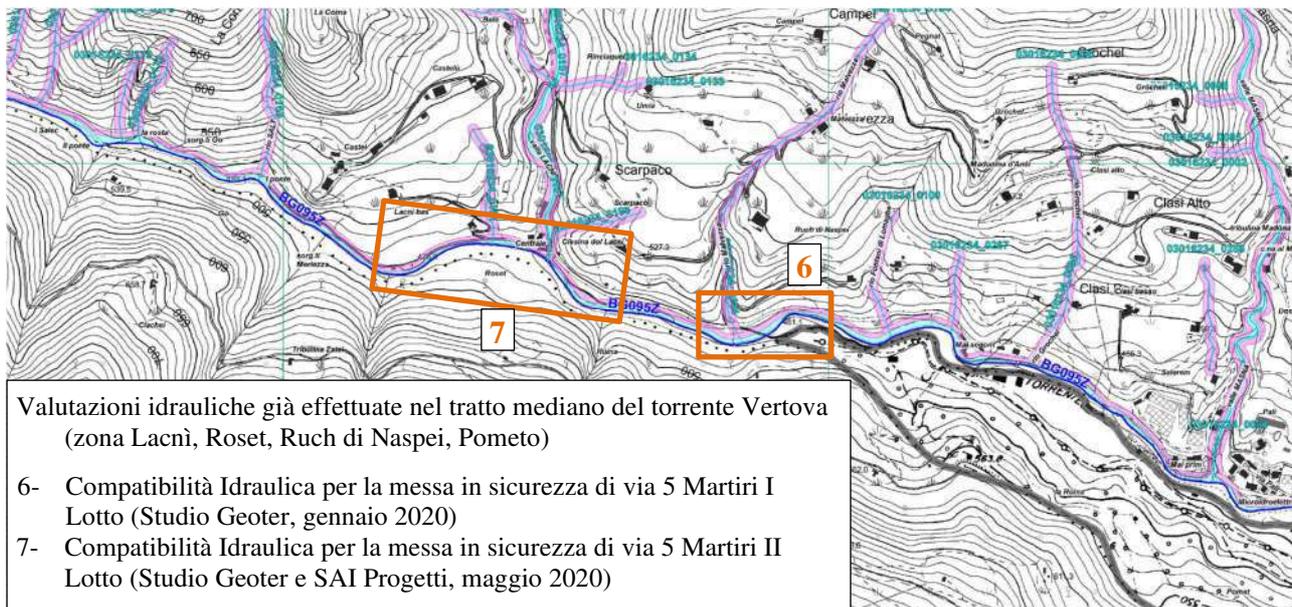
Oltre alle indagini attorno al centro abitato sono state sviluppate negli ultimi anni valutazioni idrauliche e studi di compatibilità inerenti tratti del torrente Vertova per i quali sono stati effettuati interventi di sistemazione di via 5 Martiri che corre in fregio al torrente stesso torrente o sul tratto di strada sterrata che raggiunge le sorgenti Borleda. Tali studi sono stati effettuati con metodologie analoghe a quelle utilizzate per lo studio di verifica del torrente Vertova e quindi possono essere utilizzati per definire le aree di esondazione in modo analogo agli studi di dettaglio oggetto di questo specifico studio.

In particolare, questo è stato effettuato per gli studi che hanno interessato il tratto del torrente Vertova che rappresenta il confine tra Fiorano al Serio e Vertova nella zona dell'attraversamento a guado per Pometo (Fiorano al Serio) a monte della zona del II maglio o il confine tra Gazzaniga e Vertova nel tratto compreso tra l'inizio della strada sterrata della Val Vertova (Castelù) e la soglia, a valle di Lacnè, presso cui era installato un misuratore di portata (di cui si erano perse tracce sulla responsabilità dell'utilizzo e dell'eventuale raccolta e trasmissione dei dati) che è stato riattivato con l'aggiunta di un pluviografo l'anno scorso in funzione di valutazioni di pericolosità del torrente e di allerta di protezione civile.

Qui gli studi idraulici erano stati effettuati con l'ausilio di appositi rilievi con sezioni sufficientemente ravvicinate e con modellazione monodimensionale in corrispondenza di alcune di queste sezioni o con modelli ricostruiti con HEC-RAS attraverso portate di piena valutate secondo i criteri della dgr 2616/2011 (OPERE DI MESSA IN SICUREZZA TRATTO VIA 5 MARTIRI I LOTTO – RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA PER LE OPERE DI PROGETTO DEL 1 LOTTO RISPETTO AL TORRENTE VERTOVA - STUDIO GEOTER (DOTT. GEOL. SERGIO SANTAMBROGIO), 2020; OPERE DI MESSA IN SICUREZZA TRATTO VIA 5 MARTIRI LOTTO 2 – RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA PER LE OPERE DI PROGETTO DEL

II LOTTO RISPETTO AL TORRENTE VERTOVA - STUDIO GEOTER (DOTT. GEOL. SERGIO SANTAMBROGIO) e SAI PROGETTI (ING. EZIO ZUCHELLI, 2020).

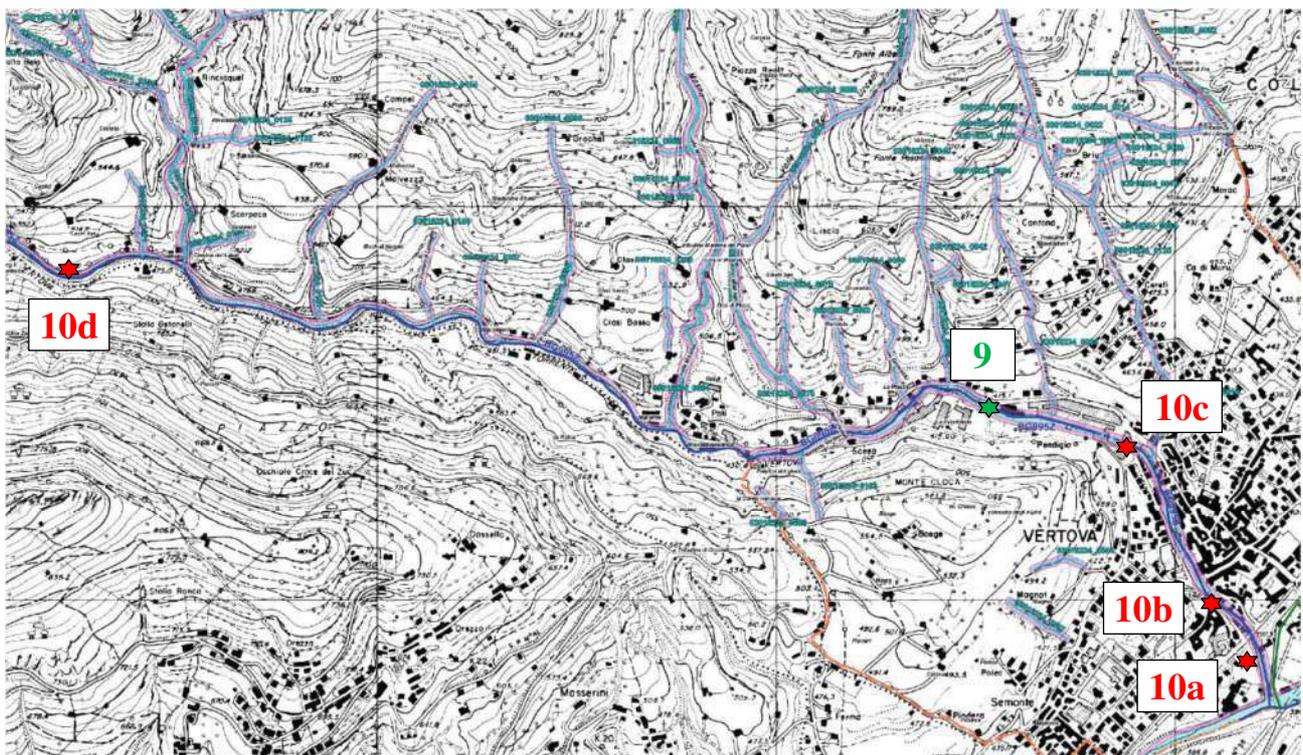
Sono anche stati presi in considerazione gli attraversamenti a guado, su ponte o su passerella della strada sterrata della val Vertova lungo l'asta del torrente. Qui uno studio idraulico era stato effettuato per verificare l'idoneità degli attraversamenti della strada che permette l'accesso alle sorgenti idropotabili sfruttate a livello comunale e gestite da UNIACQUE a seguito di un evento alluvionale verificatosi nel 2017 (*Comune di Vertova - STRADA DI SERVIZIO ALLE SORGENTI "GO-MERLEZZA" E "BORLEDA" IN COMUNE DI VERTOVA E GAZZANIGA - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADALI E PEDONALI A MONTE DELLA SBARRA DI ACCESSO - STUDIO GEOTER, 2019*).



Oltre a tali studi sono stati realizzati negli anni altri studi di verifica del torrente Vertova per i vari attraversamenti (ad esempio le relazioni idrauliche per le concessioni dei ponti o degli attraversamenti) come anche per la realizzazione di alcuni interventi edilizi (adeguamento di edifici, realizzazione di edifici ad uso industriale, etc.).

Di questi solo lo studio realizzato recentemente per l'attraversamento del ponte della filatura Grassi ha caratteristiche adeguate per essere utilizzato in queste valutazioni anche se l'altezza del ponte sull'alveo del torrente nel caso specifico non lascia adito alla adeguatezza del ponte stesso (*Tessitura F.lli Grassi – RINNOVO CONCESSIONE ATTRAVERSAMENTO TORRENTE VERTOVA PRATICA 1831/A – BG00044 – DISCIPLINARE REP: n.1312 del 19/6/2006 – RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA ESEGUITA SU TR = 100 ANNI – ING. EZIO ZUCHELLI SAI PROGETTI*).

In altri casi sono state reperite le relazioni idrauliche a supporto dei progetti, ma la maggior parte di questi sono state fatte in funzione del rilievo di una sola sezione idraulica con verifica in condizioni di moto stazionario e monodimensionale che attualmente non è ritenuta adeguata alla realizzazione dello studio in oggetto (valutazioni bidimensionali su tratti di lunghezza adeguata supportata da rilievi di dettaglio e valutazioni in regime di moto vario). Alcune delle relazioni sono già state indicate in precedenza come quella per la società Elettronica Scalvina, altre sono quelle per la realizzazione dell'edificio industriale in via Mistri o per la sistemazione del ponte San Carlo.



Valutazioni idrauliche già effettuate lungo il Vertova, delle quali alcune non adeguate allo studio di ripermimetrazione PGRA.

Adeguate: 9) compatibilità idraulica filatura F.lli Grassi (ponte)

Non adeguate: 10a) nuovo edificio industriale via Mistri

10b) verifica ponte San Carlo

10c) compatibilità idraulica Elettronica Scalvina

10d) compatibilità idraulica fabbricato destinazione agricola loc. Castellone

### 3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL TORRENTE VERTOVA NEL CENTRO ABITATO ED EVENTI DI PIENA NOTI.

Il territorio del comune di Vertova, ubicato nella media val Seriana è caratterizzato da due settori con differenti caratteristiche litologiche e morfologiche.

Da una parte il bacino del torrente Vertova quasi completamente impostato in formazioni rocciose triassiche (Dolomia Principale, Calcare di Zorzino, Calcare di Zu, Argillite di Riva di Solto), che costituiscono l'ossatura del territorio e, con la loro giacitura inclinata in alcuni settori a SudOvest e in alcuni altri a Nord-Ovest, ne condizionano l'impronta morfologica prevalente, di tipo strutturale.

Dall'altra il fondovalle del fiume Serio e del tratto terminale del torrente Vertova dove sull'antica eredità strutturale e rocciosa hanno molta evidenza e importanza i segni dell'evoluzione recente (Quaternario), rappresentati dalle linee orizzontali dei tipici terrazzi fluvio-glaciali a quote più elevate e dalle piane alluvionali recenti create dall'azione delle due aste fluviali.

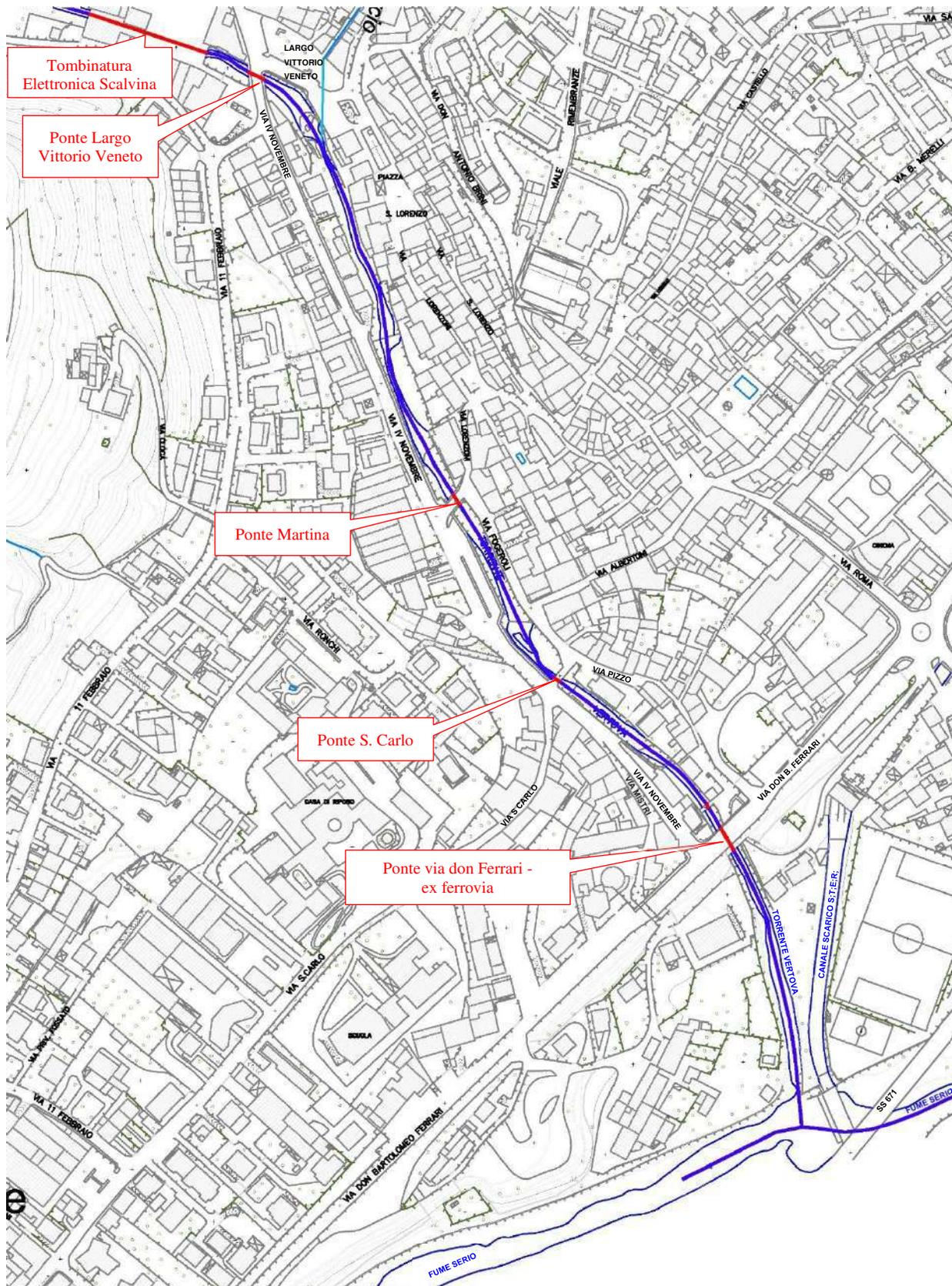
Il fiume Serio, dopo la forra incisa nella Dolomia Principale in corrispondenza del Ponte del Costone, ha creato su entrambe i lati del suo corso estesi terrazzi fluvio-glaciali su cui sorgono attualmente i paesi di Casnigo, in sponda sinistra, e la parte alta di Colzate e Vertova e Fiorano in sponda destra. Il successivo ringiovanimento dell'attività fluviale del Serio ha re-inciso i terrazzi fluvio-glaciali e creato le ampie superfici terrazzate alluvionali collocate a non più di 3÷5 metri di quota dall'attuale alveo del fiume Serio che frequentemente mostra affioramenti rocciosi nel suo letto come presso la rotonda con lo svincolo di uscita per Vertova lungo la strada provinciale della Val Seriana.

Analogamente anche il corso del fiume Vertova ha inciso i terrazzi fluvio-glaciali seriani in direzione ONO-ESE creando una ampia superficie alluvionale su cui sorgono la stessa via IV Novembre e via Mistri sulla sponda destra del Vertova e via Foggeroli e via Pizzo in sponda sinistra.

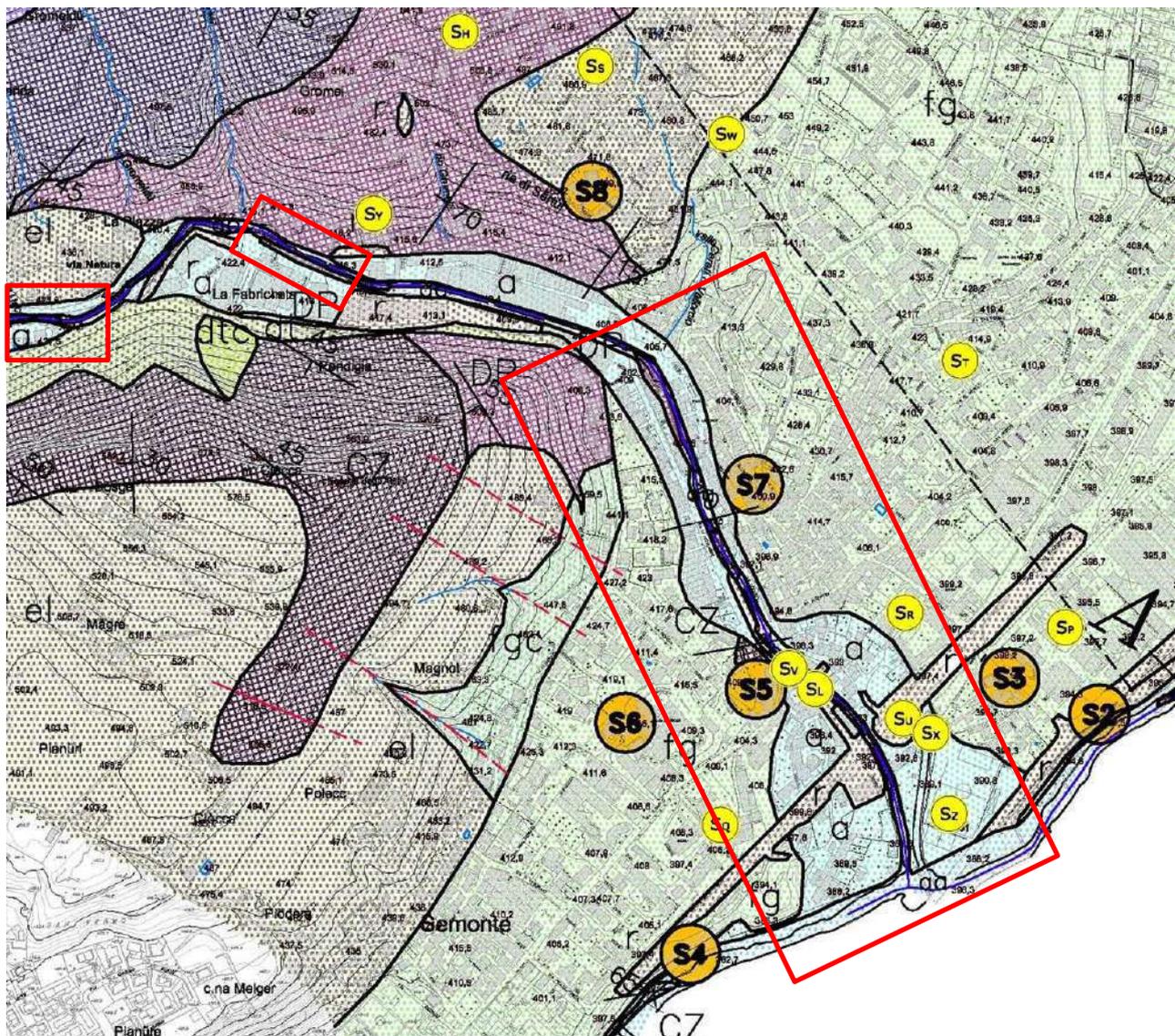
Le stratigrafie dei terreni alluvionali recenti, riprese dalla carta litologica del P.G.T. di Vertova (S1, S2, S3 e S4), qui di seguito riprodotte, integrate da osservazioni su alcuni fronti di scavo presso la nuova rotatoria della strada provinciale e dalle stratigrafie di alcuni pozzi reperite presso l'Archivio Generale della Provincia di Bergamo, confermano che sulla piana fluviale e fluvio-glaciale recente, sotto uno strato superficiale di materiale terroso/detritico di riporto e di terreno naturale limoso con ghiaia, spesso fino a due-tre metri, vi è un potente strato di ghiaia e sabbia con poco limo, localmente cementato, il cui spessore in certi punti può superare i quindici metri.

I terrazzi fluvio-glaciali sulla sponda destra del Serio, ormai completamente coperti e in parte obliterati dall'edificato di Vertova e di Colzate, sono formati da terreni analoghi e presentano una copertura superficiale di terreno d'alterazione più marcatamente argilloso o limoso, con spessore via via crescente (fino a circa tre metri) spostandosi verso i terrazzi più antichi.

Tutto questo poggia sul substrato roccioso, formato dagli strati neri del "Calcare di Zorzino"; questo affiora in diversi punti nell'alveo del Serio, sulla sponda sinistra alla base del terrazzo di Casnigo, presso l'alveo del torrente Vertova in via IV Novembre (stratigrafia S5 e alveo del torrente Vertova a monte del ponte di via Lorenzoni (ponte Martina) della carta litologica del P.R.G. di Vertova del 1996) e si è raggiunto anche in alcuni scavi a monte di via Roma e di via Ferrari, a profondità di circa sei metri dal piano campagna.



Planimetria con viabilità del centro abitato di Vertova con indicazione delle principali indicazioni (strade e ponti) connesse al deflusso del torrente Vertova



	Riporti e terrapieni detritici terrosi.		CALCARE DI ZU: calcari e calcari marnosi da grigio scuri a neri, ben stratificati, con interstrati marnosi, localmente argillitici (Retico Medio).
	Coperture eluvio-colluviali argillose.		ARGILLITICI DI RIVA SOLTÒ: argilliti e marne argillose grigio nerastre finemente laminare, alternate a calcari e calcari marnosi scuri (Retico Inferiore).
	Detriti di folda sciolti; fasce di detriti attivi.		CALCARE DI ZORZINO: calcari marnosi nerastri ben stratificati talora con interstrati marnosi (Norico).
	Detriti di folda cementati o parzialmente cementati.		DOLOMIA PRINCIPALE: dolomie massicce di colore rossato o grigio chiaro, con fratturazione diffusa e fenomeni di dissoluzione carsica (Norico).
	Alluvioni fluviali e torrentizie ghiaiose-sabbiose attuali (aa) nel letto del Serio e del Vertova. Alluvioni recenti (a) l' terrazzo.		strati inclinati
	Depositi fluvioglaciali ghiaiosi terrazzati: Quaternario. Localmente antiche conoidi (cfg).		strati verticali
	Depositi fluvioglaciali cementati: conglomerati in grossi banchi ben cementati, intercalati a sedimenti sabbiosi sciolti.		faglie e/o fratture
			stratigrafie 1996
			stratigrafie attuali

COMUNE DI VERTOVA – “Studio geologico a supporto del PGT.”: carta litologica – Studio Geoter, 2022 con ubicazione dell’area dello studio idraulico (in rosso)

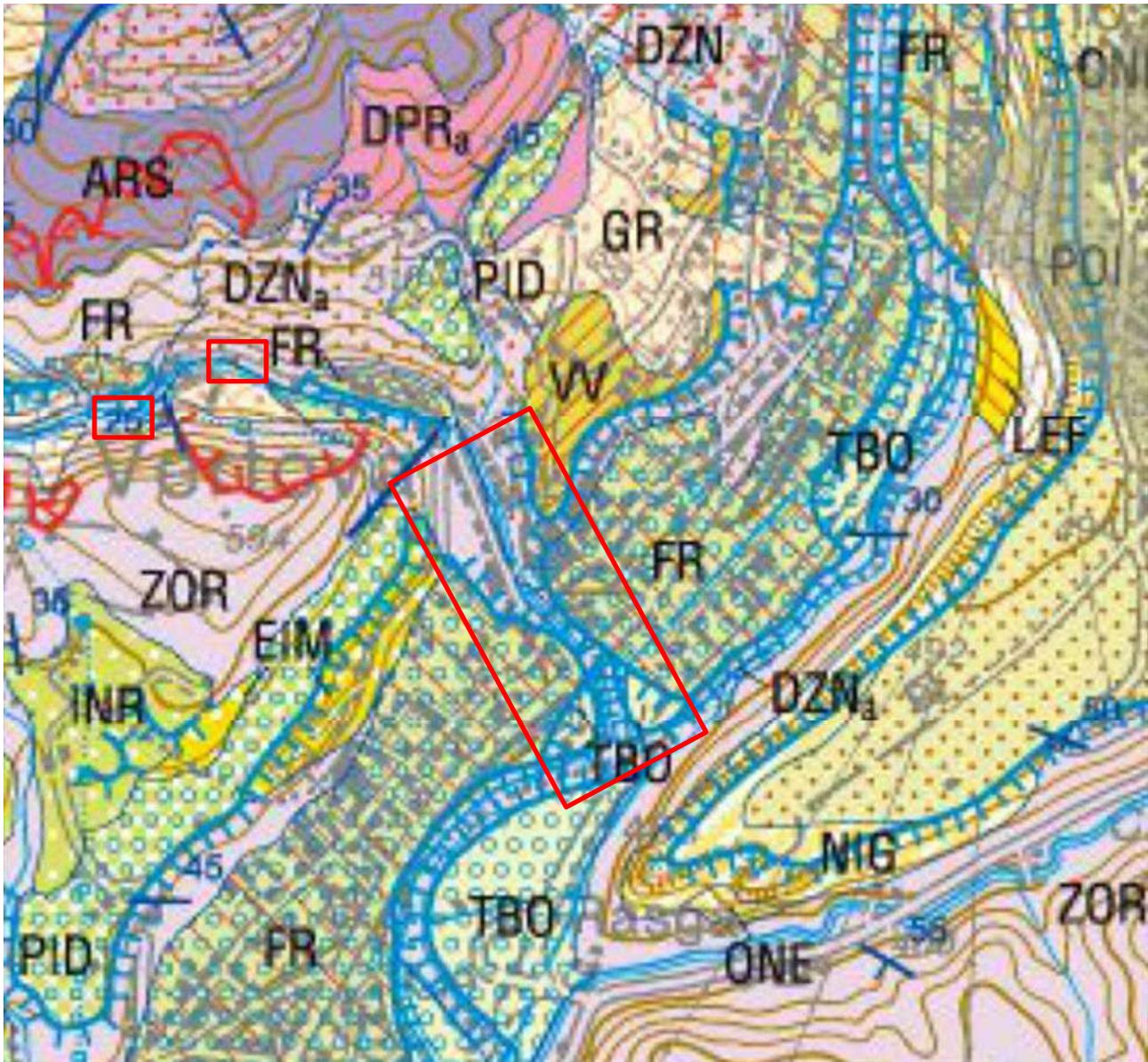


*Affioramenti rocciosi in alveo e sulle sponde del fiume Serio nella parte meridionale di Vertova*



Tratti in roccia dell'alveo del Vertova

- a) in fregio a Largo Vittorio Veneto
- b) da Largo Vittorio Veneto verso SSE
- c) tra le case di via IV Novembre e via Lorenzoni
- d) a monte del ponte Martina
- e) a valle del ponte Martina



**SUCCESSIONE SEDIMENTARIA NEOGENICO-QUATERNARIA  
 UNITÀ NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA**

<div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; background-color: #e0f0e0; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; background-color: #fff9c4; margin-bottom: 5px;"></div>	<p>POI</p> <p>GR</p>	<p><b>SISTEMA DEL PO</b>                  Diamicton e ghiaie con clasti spigolosi (depositi di versante, di frana e di <i>debris-flow</i>); ghiaie e sabbie stratificate (depositi alluvionali); limi laminati, argille, torbe (depositi lacustri e di torbiera); diamicton massivi a blocchi (depositi glaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da alterazione assente e morfologie ben conservate o ancora in evoluzione. <b>PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE</b></p> <p><b>GRUPPO DI PRATO GRANDE</b>                  Diamicton massivi con clasti spigolosi; ammassi rocciosi disarticolati e coperture di blocchi accatastati <i>in situ</i> alla sommità di ammassi disarticolati (depositi di versante e di frana). Superficie limite superiore erosionale, alterazione variabile. <b>PLEISTOCENE</b></p>
---	----------------------	---

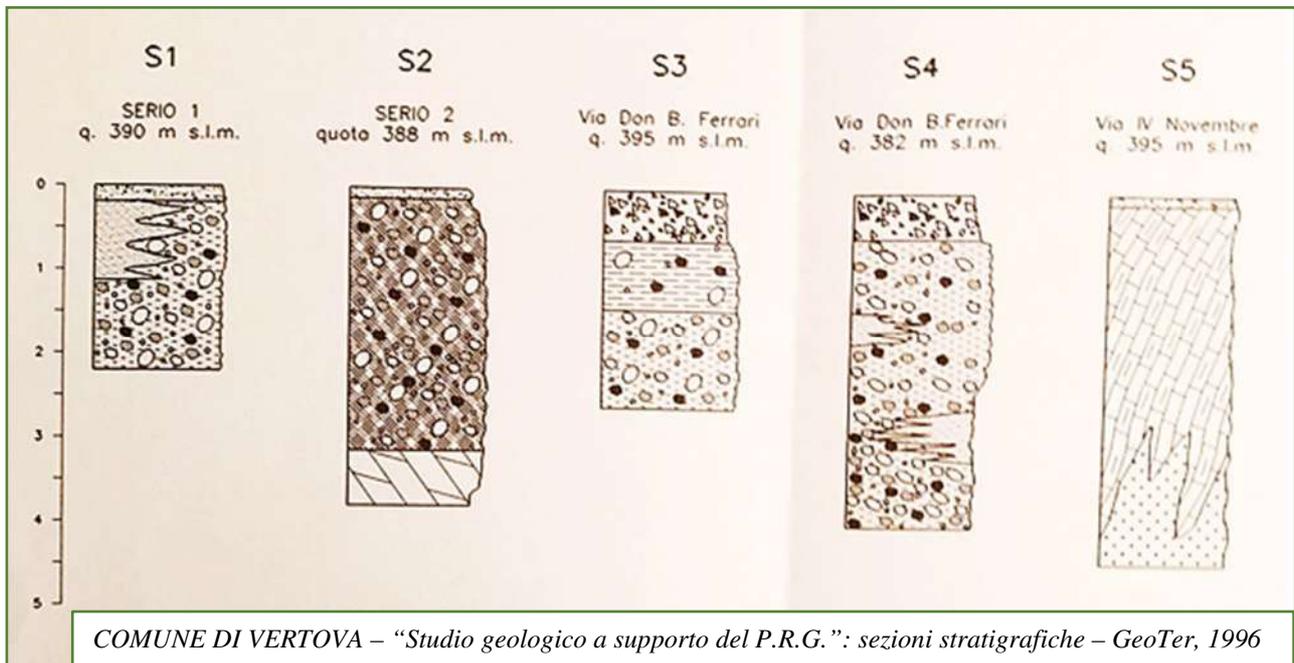
*Estratto Carta geologica CARG foglio Clusone n.118 e relativa legenda (anche alla pagina seguente); in rosso le aree dello studio idraulico di dettaglio*

**BACINO DEL BASSO SERIO**

	TBO	<p><b>SINTEMA DI TORRE BOLDONE</b>          Ghiaie in corpi stratoidi, con clasti arrotondati, ben selezionati (depositi alluvionali). Profilo di alterazione troncato, di spessore superiore a 2 m, colore della matrice 5YR, silicoclasti residuali debolmente alterati; morfologia conservata. <b>PLEISTOCENE MEDIO</b></p>
	FR	<p><b>SUPERSINTEMA DI FIORANO</b>          Ghiaie in corpi stratoidi, con clasti arrotondati, ben selezionati (depositi alluvionali). Profilo di alterazione troncato, decarbonatato sino a 2.5 m, morfologia conservata. <b>PLEISTOCENE MEDIO</b></p>
	VV	<p><b>GRUPPO DI VERTOVA</b>          Conglomerati a supporto clastico e clasti arrotondati; cementazione da buona ad ottima (depositi alluvionali). Diamicton massivo a supporto di matrice pedogenizzato, decarbonatato sino a 10 m, clasti silicei arenizzati, colore 7.5YR-5YR (alterite su depositi alluvionali). <b>PLEISTOCENE MEDIO - OLOCENE</b></p>
	NIG	<p><b>CONGLOMERATO DEL CASTELLO DI CASNIGO</b>          Conglomerati a supporto clastico e arenarie, stratificati; clasti ben selezionati ed arrotondati, carbonatici e silicei (depositi alluvionali); cementazione ottima. <b>PLEISTOCENE MEDIO</b></p>
	PID	<p><b>SINTEMA DI PIODERA</b>          Ghiaie pedogenizzate per spessori superiori ai 10 metri, supporto di matrice argillosa di colore 5YR, clasti a disco (depositi alluvionali). Litologie carbonatiche assenti, vulcaniti acide da arenizzate a argillificate, Verrucano Lombardo arenizzato; patine di ossidi di Fe-Mn. <b>CALABRIANO TERMINALE?</b></p>
	INR	<p><b>FORMAZIONE DI MASSERINI</b>          Diamicton a supporto di matrice argillosa di colore 5YR con sparsi clasti residuali a disco, carbonati assenti, vulcaniti arenizzate, decolorate e con cortex di ossidi di Fe-Mn, Verrucano arenizzato e decolorato (alterite su depositi alluvionali). <b>CALABRIANO</b></p>
	ONE	<p><b>CONGLOMERATO DI VAL BRONESCA</b>          Conglomerati in banchi a supporto clastico, clasti prevalentemente carbonatici, ben selezionati ed arrotondati (depositi alluvionali); cementazione ottima. <b>CALABRIANO</b></p>
	LEF	<p><b>FORMAZIONE DI LEFFE</b>          Limi, limi argillosi, sabbie fini, limi calcarei laminati con livelli ricchi in gasteropodi dulciacquicoli (depositi lacustri); torbe e ligniti in banchi metrici con macrofossili vegetali e resti di mammiferi (depositi palustri e di torbiera). <b>GELASIANO - CALABRIANO</b></p>
	EIM	<p><b>CONGLOMERATO DI SEMONTE</b>          Conglomerati stratificati a supporto di matrice arenacea grossolana o a supporto clastico, arenarie grossolane (depositi alluvionali). Cementazione spinta sino a completa litificazione, alterazione preferenziale dei clasti rispetto alla matrice, sparsi clasti a nucleo disciolto. <b>TERZIARIO</b></p>

**SUCCESSIONE SEDIMENTARIA PERMO - MESOZOICA DELLE ALPI MERIDIONALI**

	ARS	<p><b>ARGILLITE DI RIVA DI SOLTÒ</b>          Argilliti e marne argillose nere, laminate o fogliettate, con intercalazioni o alternanze cicliche di calcilutiti nere in strati sottili con bactrilli; localmente sono presenti <i>slumping</i>. Presenza di biocalcarenti ricche in piccoli bivalvi (tempestiti). Rampa carbonatica distale a sedimentazione prevalentemente argillosa. Spessore massimo fino a circa 350 m (Bracca). <b>NORICO SUPERIORE</b></p>
<b>GRUPPO DELL'ARALTA</b>		
	ZOR	<p><b>CALCARE DI ZORZINO</b>          Calcilutiti grigio-scuere in strati planari di 10-30 cm, con laminiti nere ricche di sostanza organica e calcareniti intra-biostatiche gradate, raramente con laminazioni parallele o <i>ripple</i> da corrente (torbiditi carbonatiche). Alla base sono presenti calcari dolomitici. Sono diffusi <i>slumping</i> e breccie a supporto di matrice (<i>debris flow</i>). Al tetto sono presenti livelli con pesci e frammenti di rettili. Bacino intrapiattaforma. Spessore da nullo fino a 800 m in Val Gandino - Val Borlezza. <b>NORICO MEDIO</b></p>



Sulle recenti mappe ufficiali (cartografia CARG foglio Clusone n.118 scala 1:50.000) l'alveo del Vertova viene indicato per tutta la sua lunghezza all'interno del centro abitato, sino alla foce nel fiume Serio, contraddistinto da alveo e sponde in roccia; ciò è vero, all'interno del paese solo a monte del ponte "Martina" (via Lorenzoni) come effettivamente evidenziano le foto delle pagine precedenti.

A valle di questo ponte gli affioramenti rocciosi in alveo sono limitati, ad alcuni specifici punti come in corrispondenza delle spalle del ponte San Carlo (vedi foto seguenti) e in corrispondenza del piede di alcuni dei salti del torrente dove l'erosione erode le ghiaie alluvionali superficiali sino a raggiungere la roccia calcarea o presso le fondazioni del vecchio ponte ferroviario o nei pressi del salto a valle dello stesso ponte dove si nota un affioramento roccioso o presso la foce del Vertova dove la briglia di ritenuta sul fiume Serio immediatamente a monte della confluenza è fondata su roccia in parte mascherata dalle ghiaie e dai ciottoli alluvionali.



Affioramenti rocciosi sotto la spalla destra del ponte di San Carlo – lato via IV Novembre

Probabilmente è questo il motivo che ha fatto ritenere agli estensori della carta geologica regionale (foglio n.118 Clusone) di inserire tutto l'alveo del torrente Vertova in roccia, ma vi sono altri indizi che indicano la presenza di ghiaie alluvionali che possono raggiungere anche qualche metro di spessore, come i 6,5 m presso l'intervento di messa in sicurezza del muro lungo via IV Novembre effettuato nel 2017.

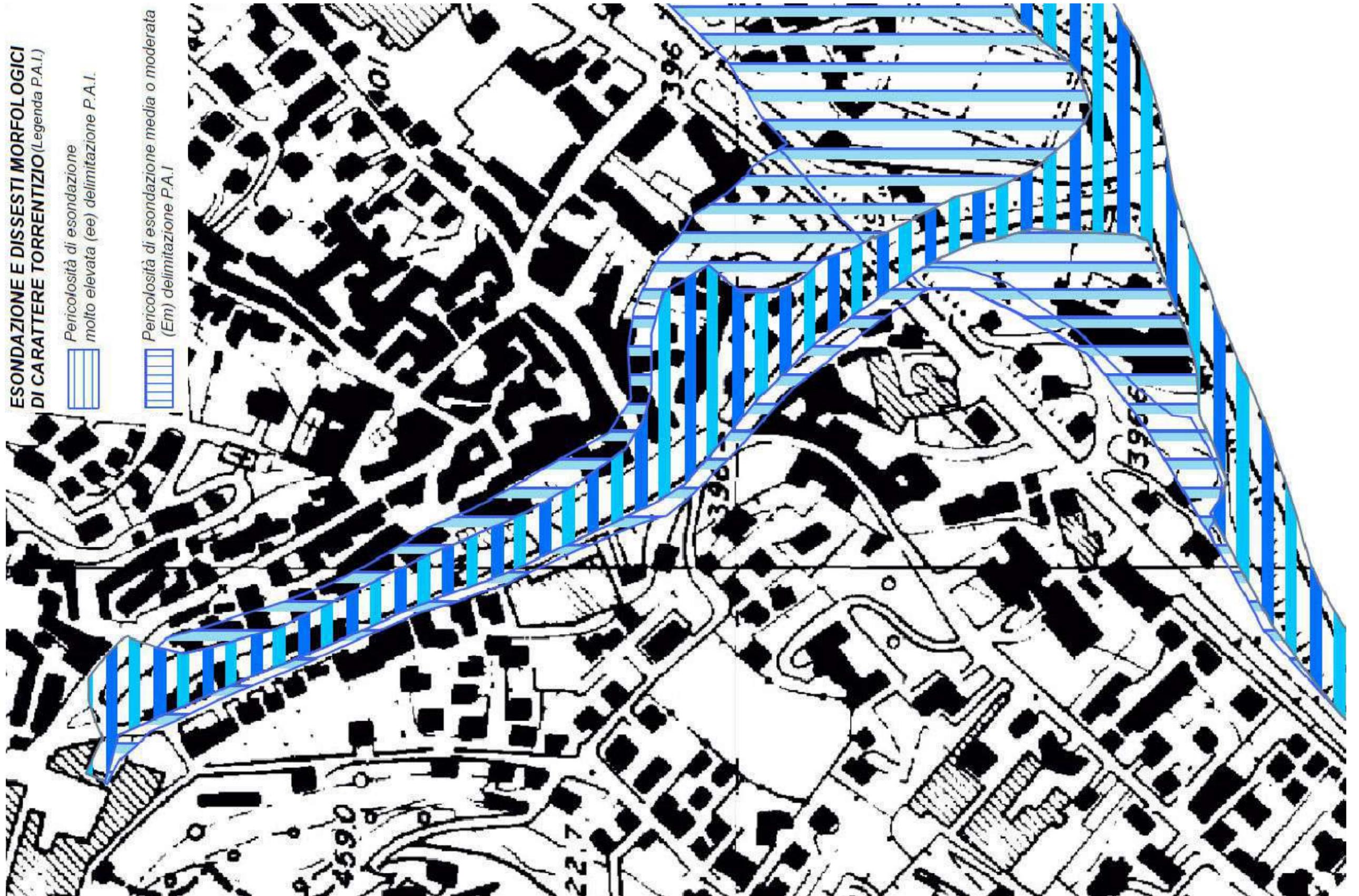
Ciò indica la presenza di un contatto morfologico roccia-terreno irregolare connessa ad antiche erosioni del fiume Serio e del torrente Vertova che permette l'affiorare della roccia in alcuni punti, mentre in altri la stessa roccia è mascherata da terreni alluvionali ghiaioso ciottolosi recenti e/o attuali, anche se di limitato spessore.

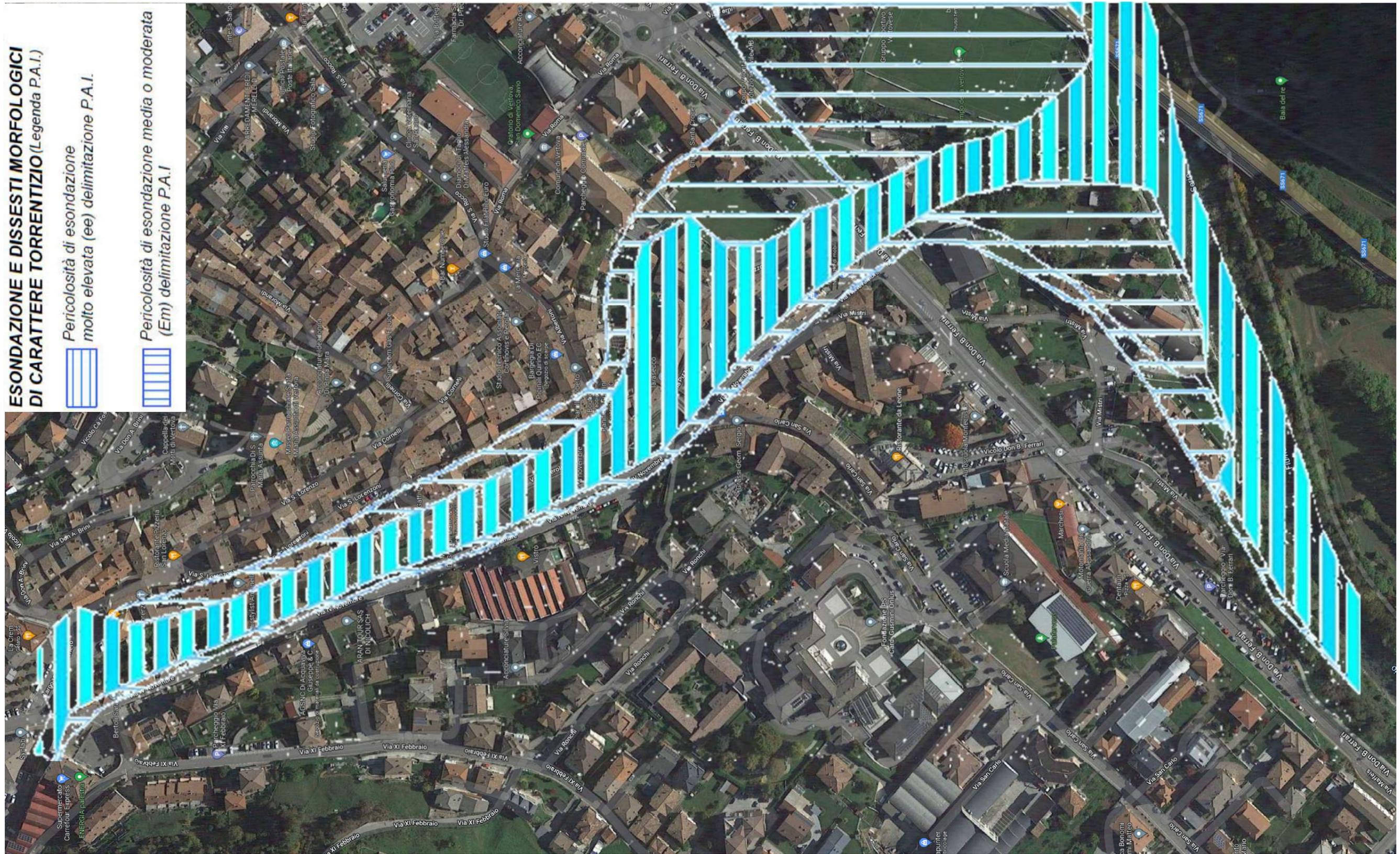
A Ovest il contatto tra il Calcere di Zorzino e la Dolomia Principale è segnato da una faglia subverticale, diretta NNE-SSO, lungo la quale vi sono intrusioni di porfirite, in forma di filoni e dicchi (stratigrafia S5 prima citata). L'assetto strutturale della zona studiata è caratterizzato da strati rocciosi che immergono verso ESE e SSE, con locali variazioni dovute a piccole pieghe o a faglie minori.

Dal punto di vista morfologico questa parte del territorio vertovese è contraddistinta dagli orli di scarpata connessi ai terrazzi fluvio-glaciali e ai cigli di sponda del torrente Vertova contrassegnati per lo meno in tutto il tratto terminale da Largo Vittorio Veneto alla sua foce nel fiume Serio da muri spondali realizzati in varie epoche e con varie modalità costruttive (vedi foto precedenti). L'azione morfologica del torrente Vertova si manifesta con l'erosione dell'alveo in roccia e lo scalzamento al piede delle difese spondali, soprattutto in corrispondenza delle varie soglie/sbarramenti per la regimazione dello stesso e per la derivazione delle acque del torrente. L'altra azione morfologica è connessa alla possibile fuoriuscita delle acque del torrente dall'alveo regimato in tutto il tratto da Largo Vittorio Veneto alla foce nel Serio; le aree di possibile esondazione potrebbero coinvolgere le superfici ai margini delle sponde in corrispondenza della piana alluvionale sopralzata di poco più di un metro a valle del ponte della vecchia ferrovia e in qualche punto anche nel tratto tra il ponte Martina e la zona del ponte San Carlo.

Attualmente si può solo affermare che il PAI-PGRA indica che dal ponte della Martina la zona di pericolosità di esondazione molto elevata (Ee), con la pericolosità massima possibile per questo fenomeno, si propaga al di là dell'alveo in sinistra idrografica lungo via Fogeroli e che una volta raggiunto il ponte San Carlo la zona Ee si amplia comprendendo tutto il settore in sinistra idrografica fino a via Pizzo dove l'acqua potrebbe rientrare in alveo o più facilmente attraversare il sottopasso del terrapieno stradale e ferroviario (ora pista ciclopedonale) per raggiungere le abitazioni di via Pizzo presso Prato del Foj e riconfluire nell'alveo del torrente o al limite nel canale di scarico dell'impianto idroelettrico che deriva il fiume Serio al ponte di Colzate (canale Ge.Te.Ca. poi S.T.E.R.).

Sulla sponda destra del torrente invece non si registrano e non sono note possibilità di esondazione lungo il tratto di via IV Novembre tra Largo Vittorio Veneto e il terrapieno di via don Ferrari; le carte PAI indicano la possibilità di esondazione solo in caso di piene eccezionali (tempo di ritorno 500 anni) con una fascia di esondazione Em. In ogni caso la contropendenza del tratto di via IV Novembre tra via don B. Ferrari e il via Mistri/via S. Carlo permetterebbe o la reimmissione in alveo delle acque esondate o il loro deflusso verso via Mistri e da qui verso la piana alluvionale oltre il sottopasso della stessa via.





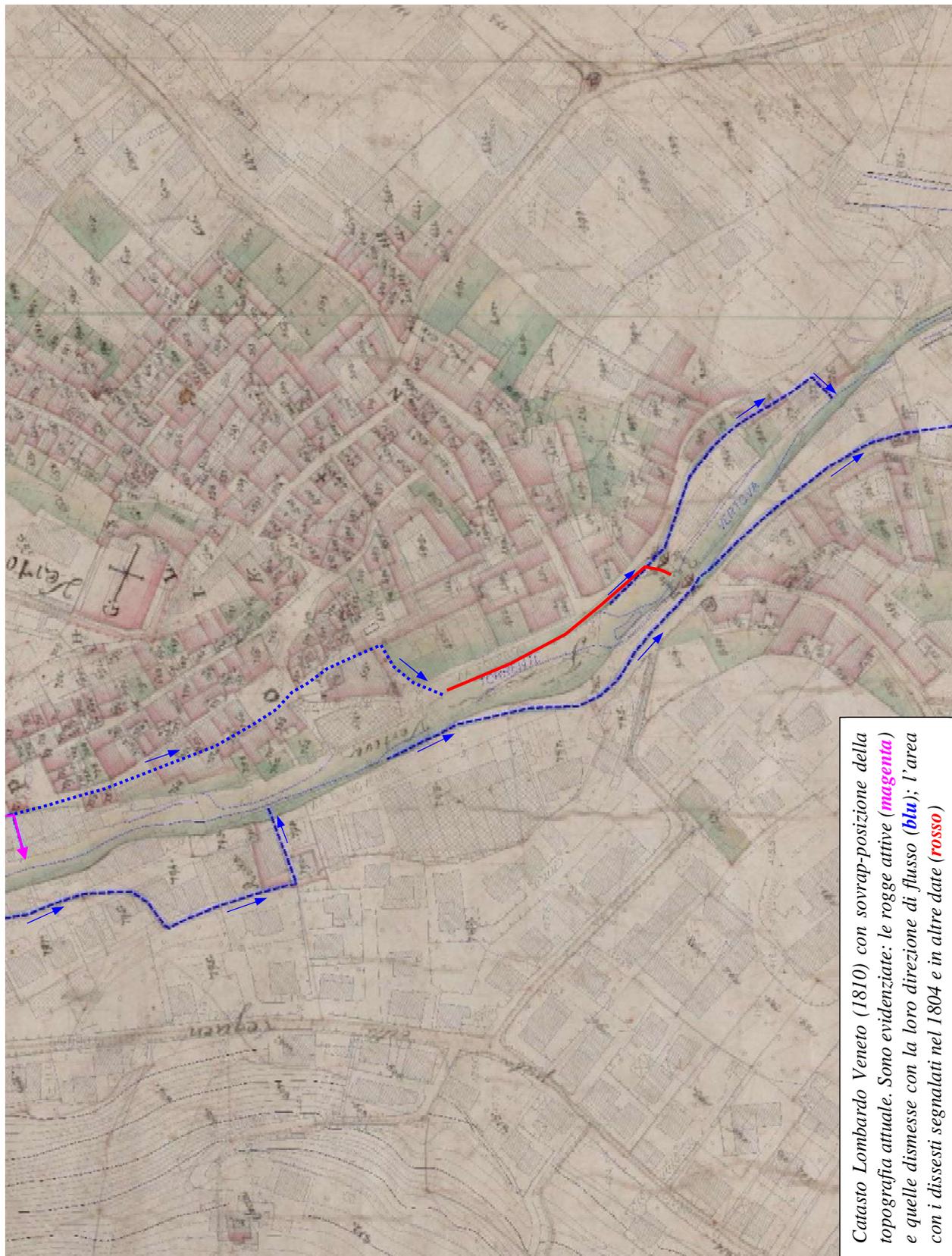
Nel corso dei secoli ed in particolare negli ultimi due secoli le sponde del Vertova sono state interessate da numerosi riporti e livellamenti. Il principale è sicuramente quello realizzato nel 1883-1884 per il transito della ferrovia della val Seriana che ha modificato il paesaggio della parte terminale della valle; il terrapieno alto sino a 4,5 m crea una barriera all'originaria valle aperta verso Est, interrotta dal ponte sul torrente Vertova e dai due sottopassi di via Pizzo (antico vicolo della Soppressa) e via Mistri (antica strada di Ruscarola o del Foletto).

I rimanenti riporti sono disposti longitudinalmente alle sponde e connessi, almeno in parte, all'utilizzo dell'acqua del torrente Vertova nelle numerose derivazioni e rogge che interessano entrambe le sponde. L'acqua delle rogge, derivate per lunghi secoli dal 1300 al 1800 e sino ai giorni nostri, sulle due sponde del Vertova sono state utilizzate come forza motrice per il funzionamento di magli e/o di mulini, come fonte primaria per il lavaggio dei tessuti nell'industria tessile e per l'irrigazione di attività agricole (irrigazione campi). Tale reticolo idrico secondario antropico è stato quasi del tutto dismesso con l'avvento di differenti metodi di fornitura della corrente elettrica per far funzionare i macchinari industriali anche se molte tracce, in particolare le opere di presa sono ancora ben visibili.

Oggi nel territorio vertovese è in funzione solo la “*roggia o seriola degli edifici*” sulla sponda sinistra del Vertova che ha inizio presso il ponte detto “La Zucca” o della “Fabbrichetta” in località Piazza per scorrere poi al limite meridionale di via V Martiri, attraversare l'area industriale di via V Martiri n. 1 (ex Bustese), Largo Vittorio Veneto e scorrere immediatamente a Sud della chiesa di San Lorenzo per poi alimentare il lavatoio comunale e dopo poche decine di metri reimmettersi nel torrente Vertova sotto l'edificio di piazza San Lorenzo civico n.7. Anticamente esso proseguiva dal lavatoio al margine delle abitazioni dei civici dispari di via Lorenzoni (vecchia via Inondacqua inferiore) per raggiungere la Piazzetta e oltrepassati alcuni edifici dirigersi verso lo sbocco nel Vertova poco a valle del ponte Martina dopo aver alimentato altri due Molini come si può ricostruire grazie ad indicazioni di libri storici (M. FERRARI, C. MARCONI, GB. MORONI, F. IRRANCA, L. PERANI IRRANCA E A. MALFERRARI - *La Valle Vertova* – 2002) ed a testimonianze di persone locali.

Riporti paralleli alle sponde sono connessi, oltre che alle rogge, anche ad ampliamenti delle strade una volta percorribili solo da carri per adeguarle al traffico di mezzi pesanti soprattutto lungo via IV Novembre, strada di accesso alla zona industriale ubicata a Ovest del centro abitato di Vertova lungo lo stesso torrente realizzata poco dopo la seconda guerra mondiale (fine anni '40 del secolo scorso), e via Foggeroli (vecchia strada “Sotagera” o “Sottogerra”) che dopo il ponte di San Carlo si allontana dalla sponda divenendo via Pizzo che mantiene tutt'ora le dimensioni di una volta.

Via Foggeroli, a monte del ponte San Carlo sulla sponda sinistra del Vertova ha più volte subito danni dal 1800 alla sua sistemazione attuale, soprattutto con la piena del 1804 dove nei documenti storici (relazione dell'agente Rillosi della Municipalità di Vertova al Prefetto del Serio) viene detto che “*dalle cinque sino alle sette una strabocchevole piena di acqua ha ingrossato sì terribilmente il fiume Vertova che ha menato rovine indicibili. Tra i danni recati trovandosi il ponte sul fiume stesso, che minaccia di cadere e la strada lungo il fiume stesso (via Foggeroli allora strada Sottogere e la parte iniziale di via Pizzo allora vicolo della Soppressa n.d.r.) tutta diroccata*”. In particolare in quell'occasione nella relazione dell'arch. Capitanio che si occupò della ricostruzione del ponte viene detto che “*la punta superiore del pilone di mezzo del ponte è stata tutta spogliata dalle pietre lavorate a scalpello non essendovi rimasto che l'interno imbottimento... ed è smantellato per metri 8 il parapetto sinistro verso la sponda a monte nonché si è asportato per l'estensione di m 14 il muro sostenente la strada che passato il ponte cammina verso monte (tratto iniziale di via Pizzo e poi via Foggeroli n.d.r.) e il restante è quasi tutto smantellato e sconcertato. Al secondo degli archi del ponte di m 10 che unito ad altro di m 20 forma l'intera estensione del ponte medesimo è ora tutto otturato...*” (documenti segnalati nel libro *La Valle Vertova* prima citato).



Anche in un verbale di collaudo per lavori effettuati nel 1887 nella “strada di Sottogerra” (via Foggeroli) viene dichiarato che “*questa strada che corre in fregio alla sponda sinistra della Valle Vertova ove è sostenuta e difesa da muro in calce, ad ogni piena di detta Valle va per un buon tratto soggetta ad inondazione con danno della carriera e disturbo della popolazione che è costretta a lunghi giri quando è impraticabile la strada stessa*” (documento segnalato nel libro *La Valle Vertova* prima citato).

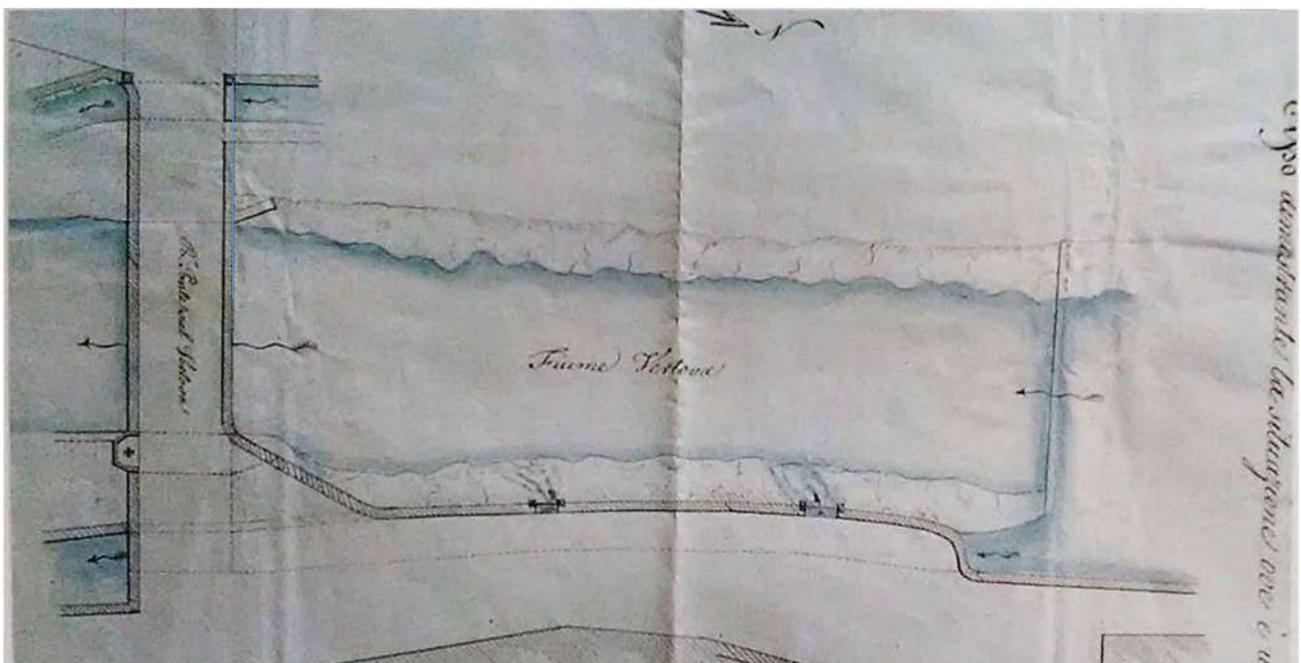
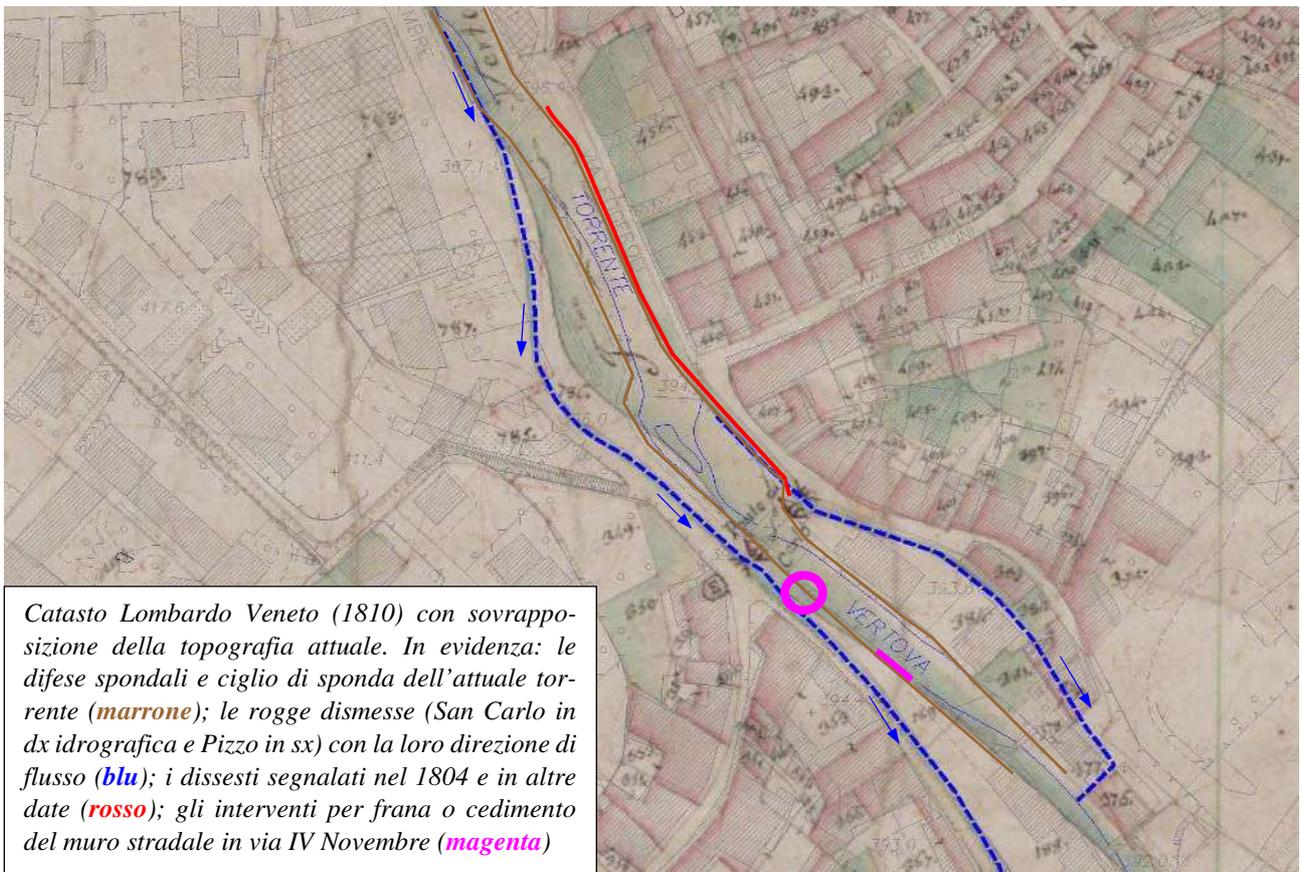
A valle del ponte San Carlo viene invece citata solamente una piena del torrente che ha distrutto il follo Marchesi posto allo sbocco della “roggia del Pizzo” nel torrente (probabilmente nel 1930, da Ferrari B. – Vertova appunti di storia e cronistoria, 1947) presso l’attuale ponte del terrapieno della ex ferrovia.

Sono questi fenomeni che hanno portato ad inserire la sponda sinistra del torrente Vertova di via Foggeroli e il settore compreso tra via Pizzo e lo stesso torrente in zona con pericolosità di esondazione molto elevata per indicazioni storiche, ma non per effettive valutazioni idrauliche di dettaglio come quelle che sono in corso con questo studio idraulico specifico. Non sono noti eventi di esondazione del torrente Vertova nel centro abitato dal 1930 ad oggi.

La sponda destra del torrente Vertova, a valle del ponte San Carlo, è a quote significativamente più elevate rispetto a quella sinistra. Ciò è dovuto alla formazione di un riporto per la costruzione della strada di accesso alla strada provinciale realizzata a fianco della linea ferroviaria in via don B. Ferrari alla fine degli anni '40 del secolo scorso; il riporto come si osserva dalla pendenza della strada è compreso per lo meno tra via don Ferrari e il tratto tra via Mistri e via San Carlo e raggiunge spessori considerevoli che hanno rialzato la sponda del Vertova di almeno due metri in questo settore; all’incrocio via San Carlo via IV Novembre il riporto è di almeno 0,5 m considerando la quota più bassa dell’edificio all’angolo SE dell’incrocio.

Altro riporto riguarda sicuramente il tratto tra il ponte Martina e via Mistri per la copertura della vecchia roggia San Carlo che aveva origine nei pressi del ponte Martina, dove si vede ancora l’opera di derivazione con scarico presso lo stesso ponte (anche lavatoio). La roggia correva esattamente in corrispondenza del margine settentrionale dell’attuale via IV Novembre allora esistente solo per circa duecento metri a monte del ponte San Carlo fino alla filatura Bulletti di allora (attuale via IV Novembre n. 45). La strada transitava parallela alla stessa roggia collegandosi con la strada dei Ronchi (ora strada pedonale sino a via dei Ronchi a quota più elevata) in corrispondenza dell’attuale piccolo parcheggio a Sud della strada come si nota dalla sovrapposizione della mappa del catasto Lombardo Veneto (1810) con la situazione attuale, parcheggio dove la vecchia roggia faceva una curva accentuata per poi portarsi parallela al torrente Vertova sino a poco oltre il ponte San Carlo per poi formare il confine settentrionale di via Mistri (antica strada di Ruscarola o del Folletto).

La vecchia roggia passava anche sotto l’allora ponte San Carlo in corrispondenza probabilmente di una terza arcata o dell’appoggio creato per poter permettere il transito in sotterraneo della roggia stessa in corrispondenza dell’antico portico della chiesa di S. Bernardino al ponte e di S. Carlo, sita dove ora è il colorificio in via IV Novembre al civico n.11 che riporta una rappresentazione dell’antica chiesa. Un disegno del ponte San Carlo del 1835 e la mappa del Catasto Lombardo Veneto del 1810 riportano la presenza di questo edificio liturgico soppresso poi verso la metà del 1800, come anche altre edicole sul ponte stesso e soprattutto un accesso ai terreni presenti tra la roggia di San Carlo o di Balbino e la sponda del torrente che indica chiaramente come ci sia stato un allargamento della sede stradale verso il torrente in questo settore.



Immediatamente a valle del ponte San Carlo la roggia transitava a circa due metri dalla sponda del torrente proprio in corrispondenza dell'attuale soglia a valle del ponte, dove ora transita l'attraversamento della fognatura comunale dalla sponda destra a quella sinistra protetta da un tratto di mantellata con ciottoli immersi nel calcestruzzo e muro come si osserva nelle foto seguenti.



*Attraversamento della fognatura dalla sponda destra (foto a sinistra) a quella sinistra (foto a destra) immediatamente a monte della soglia del ponte San Carlo; oltre alla soglia è evidente il tratto di mantellata a monte della soglia realizzato a protezione dell'attraversamento della tubazione. La fognatura proviene da via IV Novembre e dopo l'attraversamento rimane fino agli edifici di Prato del Foj al piede della sponda sinistra dell'alveo del Rogno.*

La roggia è stata eliminata e parzialmente tombata per la realizzazione dell'ampliamento di via IV Novembre; la sponda destra del torrente Vertova, dopo gli interventi di fine ottocento a valle del ponte San Carlo è invece stata rettificata ed interessata da difese spondali dopo gli anni '20 del secolo scorso.

L'area del grosso parcheggio di via IV Novembre realizzato all'inizio degli anni '80 e che precedentemente era utilizzato come campo ad orto, prima degli anni '20 era dotato di una tipica sponda con inclinazione di circa 45 gradi tra l'alveo e il ciglio di sponda mentre successivamente alle piene della fine degli anni '20 sono state realizzate le difese spondali con muri analoghi a quelli attuali, sistemate anche a metà degli anni '60 (confronta foto storiche e attuali).

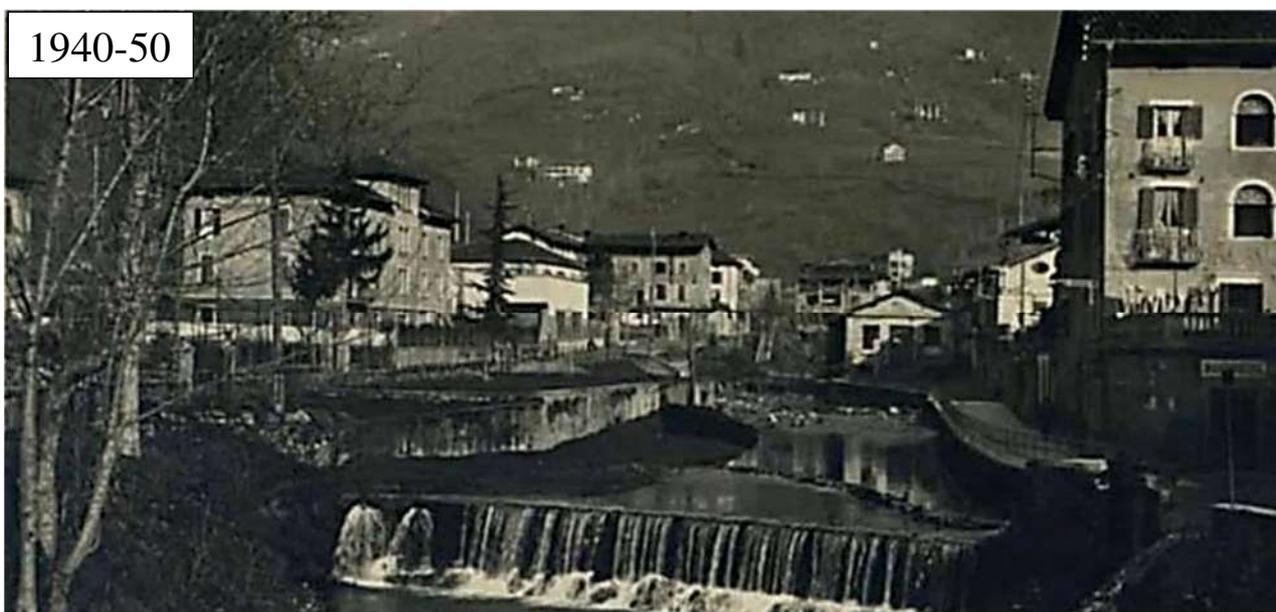
Della sponda sinistra del ponte San Carlo non si hanno molte informazioni anche se grazie alle foto attuali e al confronto con una foto storica degli anni 50 del secolo scorso che permette di esaminare la sponda immediatamente a valle del ponte stesso sino alla soglia si può affermare che la luce del secondo arco è praticamente quasi completamente ostruita tanto da creare fenomeni di mulinello prima del ponte come asserito da alcune persone del luogo senza che l'acqua attraversi l'arcata. La piena del 1804 aveva già praticamente ostruito questa arcata. A valle il confronto delle foto delle pagine seguenti permette di vedere che vi è uno spazio di circa m 4 in cui può defluire l'acqua che dovesse oltrepassare l'arcata di minori dimensioni del ponte.

La situazione delle opere di difesa (muri spondali) non è sostanzialmente cambiata negli ultimi 70 anni anche se si nota che il muro più alto dirimpetto al ponte è stato prolungato verso Est lungo la sponda sul muro esistente per circa 3 metri con la costruzione dell'edificio di via Pizzo n.4.

1920



1940-50



2020

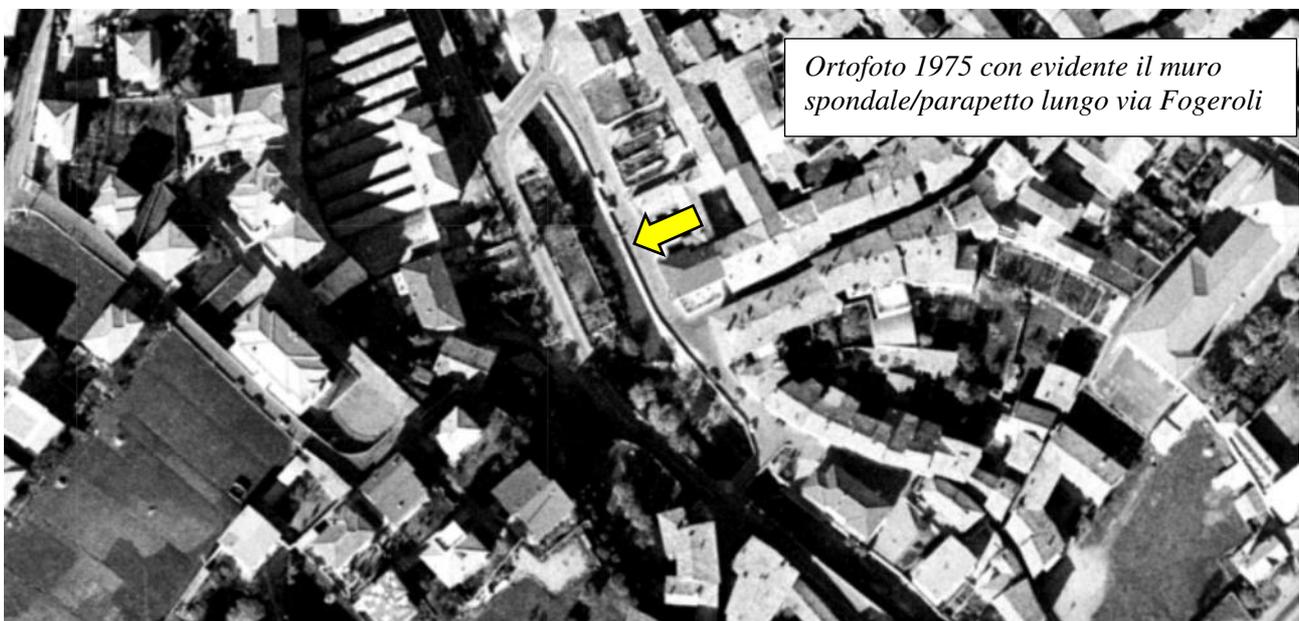


*Nella pagina precedente: confronto tra una foto degli anni 20 del secolo scorso (in alto, una degli anni '40 (al centro) ed una attuale (2020).*

*Nonostante la scarsa qualità delle immagini del secolo scorso si osserva in entrambe la traversa di derivazione della roggia Pizzo con il materiale in alveo che convoglia l'acqua del torrente verso la roggia, mentre nel 2020 il muro che deviava l'acqua nel canale in sotterraneo risulta demolita e l'ingresso del canale bloccato. Sulla stessa sponda (sinistra) si nota che via Foggeroli (ex via Sottogera) negli anni venti e negli anni 40-50 aveva le medesime dimensioni con parapetti inesistenti o costituiti da ringhiere che non avevano nessun effetto nel caso di eventi di piena, mentre negli anni '60 con la costruzione del nuovo ponte del Martina e la dismissione delle opere di presa della roggia Pizzo venne ampliata via Foggeroli occupando parte dell'alveo e costruendo un muro spondale che impedisse la fuoriuscita delle acque di piena da quel lato. Tale muro è visibile anche nelle ortofoto del 1975 (vedi sotto) così come anche nelle planimetrie della comunità montana dei medesimi anni; tra l'altro si nota soprattutto l'allargamento della sede stradale.*

*L'analisi sulle tre immagini della sponda destra del torrente Vertova a monte del ponte San Carlo permette invece di osservare le modifiche intercorse negli anni. Negli anni 20 era ancora naturale con una pendenza di circa 40° che dalla piana alluvionale in destra idrografica si raccordava all'alveo del torrente. Negli anni '40-50 è con la prima sistemazione dell'alveo è stata sulla sponda di via Foggeroli è stata anche realizzato il muro di difesa spondale in destra idrografica con la formazione di un orto la cui superficie è pianeggiante mentre la difesa spondale aumentava di altezza verso Est. Infine, alla fine degli anni '70 è stata realizzato il parcheggio al posto della superficie ad orto.*

*Negli anni '20 non si nota nemmeno via IV Novembre anche se la siepe maschera la zona, ma si sa che la strada venne realizzata più tardi e ampliata negli anni '60 con la costruzione del ponte Martina.*



*Ortofoto 1975 con evidente il muro spondale/parapetto lungo via Foggeroli*

*Nella pagina seguente il confronto tra una foto estratta dal sito Vivere Bergamo (probabilmente degli anni '40-'50) e quella attuale delle sponde del Vertova a valle del ponte San Carlo con il ponte stesso.*

*Le opere di difesa spondali ed il ponte hanno caratteristiche simili anche se negli anni '60 è stato costruito l'edificio in sinistra idrografica in via Pizzo n.4 con la formazione di un riporto per livellamento nel settore presso il muro dirimpetto al ponte, muro che è stato ricostruito con medesime caratteristiche allungandolo di circa 3 m verso Est lungo la sponda a protezione del cortile interno dalle piene. Il riporto di circa una cinquantina di centimetri ha creato il dislivello per accedere con uno scivolo pedonale e carrabile ai box a quota del terreno preesistente come si vede dalle foto di Google Maps o di Street View del cortile.*

1940-50



2020





*Sponda sinistra del torrente Vertova in corrispondenza della seconda arcata del ponte San Carlo e del tratto immediatamente a valle: A) II arcata da monte; B) particolare sotto la II arcata da monte; C) II arcata da via Pizzo; D) II arcata e tratto tra il ponte e il muro di recinzione di via Pizzo n.4; E) idem visto dalla sponda opposta; F) difese spondali a valle del ponte presso la soglia; G) interno del cortile di via Pizzo n.4 verso il ponte San Carlo.*

Di conseguenza tutta la fascia limitrofa al torrente su entrambe le sponde è formata da riporti di materiale grossolano ghiaioso ciottoloso in matrice sabbioso-limosa sopra terreni naturali di analoga natura appartenenti alle alluvioni antiche del Vertova, lo spessore di questo materiale è superiore sulla sponda destra.

Questo aspetto è stato riconosciuto anche durante l'evento franoso che ha interessato la sponda destra in via IV Novembre nel 2017 dove si è potuta riscontrare la presenza di terreni ghiaioso ciottolosi in matrice sabbiosa di riporto senza alcuna embricazione e dove è evidente il sopralzo di via IV Novembre per accedere al terrapieno della strada provinciale (via don B. Ferrari). Infatti, dall'incrocio con via San Carlo, presso lo stesso ponte di via San Carlo si osserva una leggera salita di via IV Novembre in contrasto con la leggera discesa di via Mistri che rappresenta la quota originaria o simile a quella originaria del terreno dopo un centinaio di metri mentre nel primo tratto (vedasi i cortili interni di via Mistri 2) o di via IV Novembre (civico 9 e bar la Tavernetta sull'angolo di via San Carlo) indicano un innalzamento variabile da 1 a 2,5 m sull'originario piano campagna.



*Materiale di riporto presso la frana del muro spondale di via IV Novembre e identificazione del riporto sulla stessa via*



Le sponde ritornano alla loro altezza originaria sull'alveo con un'altezza di poco più di un metro una cinquantina di metri a monte del ponte della strada provinciale dove su entrambe le sponde sono presenti edifici che potrebbero avere problemi in caso di esondazione, uno degli edifici in sponda destra idrografica (via IV Novembre) ha anche accesso carrale da via Pizzo.

In questo settore è rilevante, come già detto, il terrapieno realizzato a fine '800 per permettere il transito della ferrovia e della strada adiacente (via Don B. Ferrari) che oltre al ponte sul torrente Vertova presenta due sottopassi per la viabilità di via Mistri in destra idrografica e di via Pizzo in sinistra idrografica che fungono anche da vie di transito per eventuali deflussi di piena, soprattutto il sottopasso di via Pizzo che si trova in adiacenza al ponte sul Vertova con sponda di poco rialzata sul torrente.

Qui si trovano oltre alle abitazioni a Nord di via IV Novembre e a S di via Pizzo (a monte del ponte) immediatamente a lato del torrente anche gli edifici collocati a Nord della strada che essendo posti in una depressione racchiusa dal terrapieno della ex provinciale e della ferrovia possono essere soggetti ad esondazione come anche gli edifici di prato del Foj a valle del terrapieno; questi ultimi che sono stati interessati dall'esondazione del 1930. Da qui sino alla foce la sponda destra risulta più bassa di quella sinistra per la presenza del riporto connesso allo scavo dello scarico del canale idroelettrico.



Sponde, manufatti e strade presso il ponte di via D. Ferrari: a) gli edifici sulle sponde con il passaggio carrabile di via Pizzo; b) la zona depressa a Nord di via Pizzo; c) il ponte e il sottopasso di via Pizzo; d) l'area di prato del Foj



e) torrente Vertova a valle della soglia di prato del Foj dove la fognatura viene convogliata in destra idrografica verso il depuratore con i riporti del canale idroelettrico che innalzano la sponda sinistra; f) foce del torrente nel Serio con dove continua la differenza di quota fra le due sponde e con i muri spondali in destra idrografica anche lungo il Serio

Per quanto riguarda il tratto compreso tra i due ponti (della Fabbrichetta e Mistri) di cui viene fornita una valutazione idraulica il fondo è prevalentemente roccioso come nella parte presso Largo Vittorio Veneto con la presenza di una soglia da cui viene derivata la roggia degli edifici presso il ponte della Fabbrichetta e con l'immissione della valle degli Uccelli poco a Nord del ponte Mistri. Le sponde sono caratterizzate da muri continui che delimitano aree con una limitatissima piana alluvionale su cui sono impostate da una parte la strada della val Vertova (via 5 Martiri) e dall'altra zone edificate con attività industriali presso il ponte della Fabbrichetta e con una zona residenziale presso il ponte Mistri e gli edifici oltre via 5 Martiri hanno già fondazioni appoggiate in roccia che affiora anche presso la stessa strada.

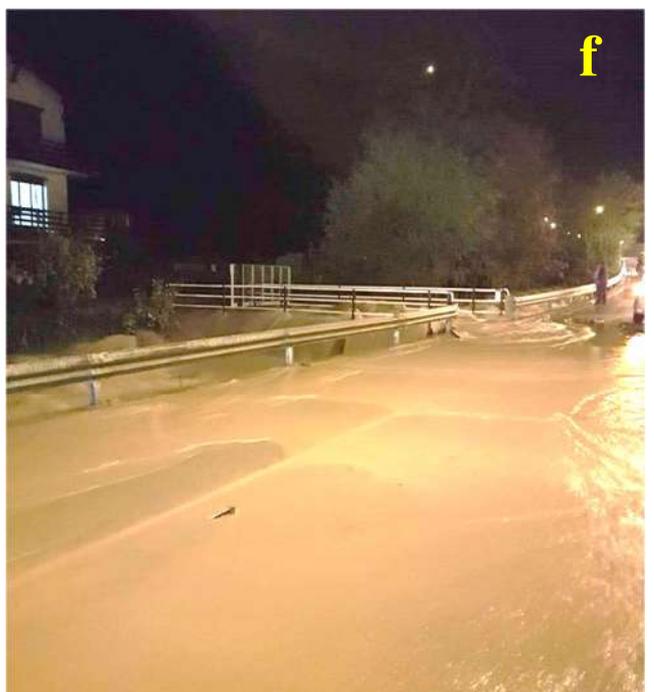
Il ponte della Fabbrichetta oltre al salto immediatamente a valle per la derivazione della roggia degli edifici è caratterizzato da sedimenti in sponda sinistra presso lo sbocco di un impluvio minore (rio Boisi) che parzialmente occludono la sponda.

Il ponte Mistri in particolare è stato più volte oggetto di sopralzo da parte dell'onda di piena come avvenuto anche a maggio 2018. Non vi sono notizie storiche sull'altezza massima di scavalcamento del ponte; nel 2018 fu di pochi centimetri rientrando in alveo poche decine di metri a valle e la documentazione fotografica indica che vi è stato trasporto di materiale in sospensione con materiale fangoso.



*Ponte della Fabbrichetta: a) visto da valle con la "rosta" (derivazione) della roggia degli edifici; b) vista da monte con il materiale sulla sponda sinistra alla foce del rio Boisi; c) sponda sinistra con l'immissione del rio Boisi; d) alveo a monte del ponte visto dal ponte stesso.*





Ponte Mistri: a e b) visto da valle con la fognatura al piede del muro spondale in sinistra idrografica e il fondo roccioso; c) vista dell'alveo verso monte con l'ingresso della valle degli Uccelli; d) l'ingresso della valle degli Uccelli visto da monte con l'area di esondazione in dx; e ed f) esondazione presso il ponte nella notte del 28 maggio 2018

#### 4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE VERTOVA E DELL'ASTA PRINCIPALE: TRASPORTO SOLIDO E COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

La superficie del bacino idrografico del torrente Vertova è caratterizzata da diffusi affioramenti di rocce della serie Norica caratterizzati soprattutto dalla Dolomia Principale e dalle Dolomie Zonate che da sole rappresentano oltre l'80% delle rocce presenti nell'area.

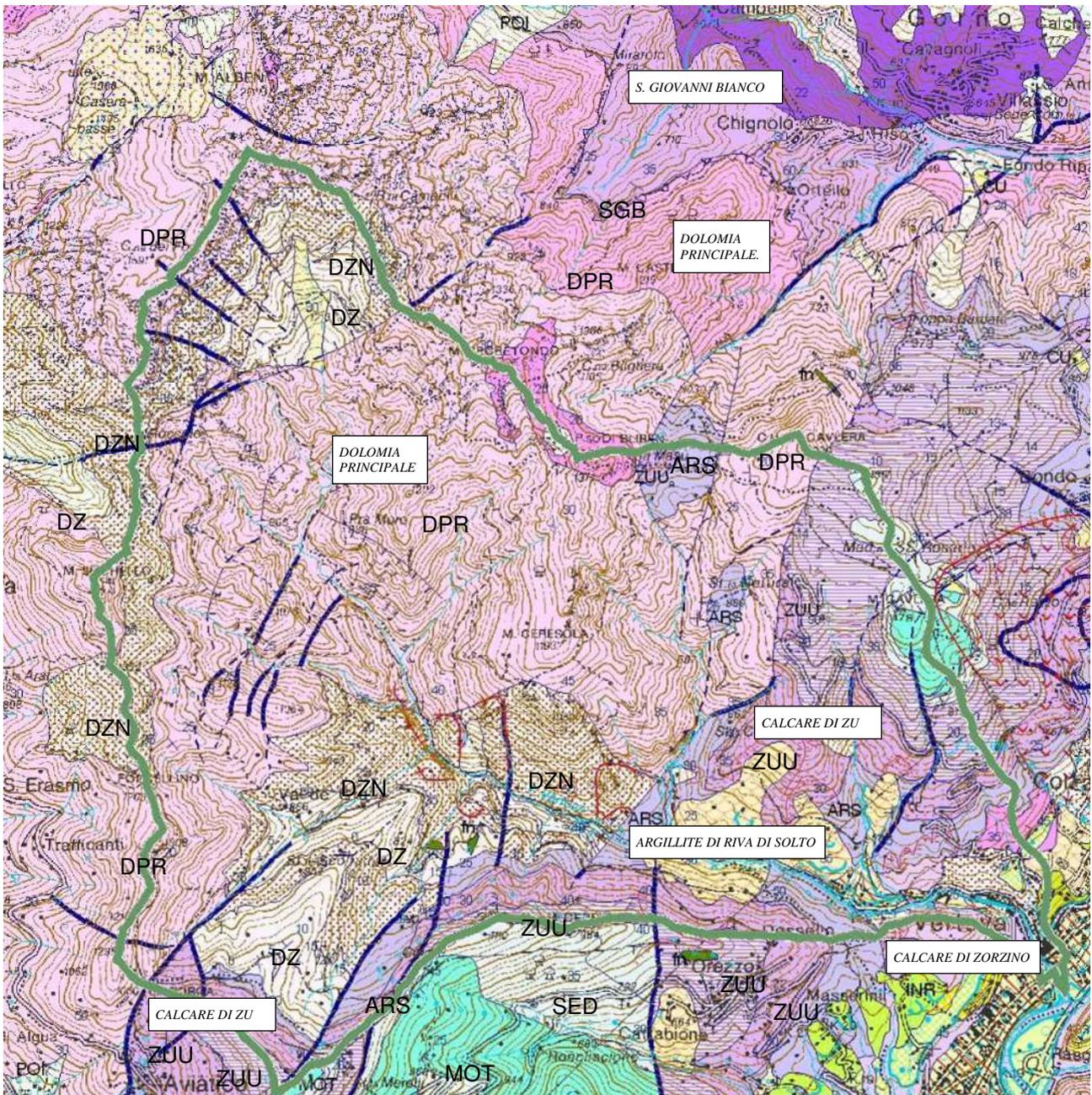
In particolare, le Dolomie Zonate caratterizzate da doloareniti ben stratificate e da brecce carbonatiche interessano la parte a quote più elevate del bacino della valle Vertova a Sud della cima del monte Alben e gran parte dei bacini della Val da Gru e della valle Piana. La Dolomia Principale caratterizzata in prevalenza da banchi dolomitici interessa tutti e due i medi e alti versanti della valle Principali sino al monte Ceresola e alla parte medio-alta del bacino del torrente Lacnè a Est e sino al Forcellino a Ovest.

Nella parte meridionale del bacino presso il crinale tra il monte Cedrina e il monte Poieto sono presenti invece le rocce appartenenti alla successione Norica bacinale contraddistinte dall'Argillite di Riva di Solto e dal Calcare di Zu, di cui la prima costituisce un limite impermeabile date le sue caratteristiche litologiche; queste rocce si spingono sino al limite orientale del bacino presso la zona della sezione di chiusura del bacino dove nell'ultimo tratto compare la formazione del Calcare di Zorzino. In minor misura presso le vette del crinale meridionale sono presenti le formazioni giurassiche selcifere del Calcare di Sedrina e del Calcare di Moltrasio come anche presso il monte Cavlera. In corrispondenza del limite tra Dolomia Principale e Argillite di Zu si manifestano le sorgenti Go-Merlezza e le sorgenti della valle del Belò o di Lacnè.

Scarsissime sono le formazioni quaternarie limitate a detriti di falda nella parte superiore del bacino del Vertova, dove sono presenti anche limitati affioramenti di terreni glaciali di una piccola conca isolata alla testata della valle omonima. Affioramenti connessi ad antichi corpi franosi impostati su rocce argillitiche o argillitico-marnose si trovano tra la valle di Lacnè la Val Masna e terreni fluvioglaciali e/o riguardano parte del centro abitato di Vertova peraltro fortemente urbanizzato.

La limitata presenza di terreni e la generale compattezza dell'ammasso roccioso fa sì che nell'alveo del torrente siano diffuse forre in roccia o tratti con diffusi affioramenti rocciosi dove sono presenti cascate di piccole dimensioni e numerose pozze e marmitte visibili praticamente fino all'inizio della zona industriale a Ovest del centro abitato di Vertova; il letto del torrente è ancora prevalentemente in roccia fino al ponte San Carlo anche se le regimazioni con soglie per limitare l'erosione del torrente in caso di piena hanno permesso l'accumulo di esigui corpi alluvionali ghiaioso ciottolosi a monte delle opere trasversali. Limitati accumuli di alluvioni detritiche si trovano dove l'alveo è più pianeggiante e dove hanno inizio modesti terrazzamenti alluvionali lungo le due sponde come presso Roset o presso la strada per Pometo. Solo nei tratti in cui l'alveo incide il substrato argillitico è più frequente la disgregazione della roccia in piccoli frammenti scheggiosi.

In tali condizioni lito-strutturali i torrenti tributari del torrente Vertova sono caratterizzati da trasporto solido limitato, che in genere si deposita nella parte terminale degli stessi reticoli idrici o presso la confluenza con il torrente Vertova. Tra l'altro i torrenti in destra idrografica sono caratterizzati da deflussi idrici con associato materiale fine in sospensione che può raggiungere il fondovalle ed essere trasportato fino al fiume Serio, ciò a causa della loro litologia in parte marnosa; tuttavia, per un ampio settore tra la val da Gru e il monte Clocca, il reticolo è quasi inesistente.



Estratto della carta geologica CARG Foglio n.77 Clusone con ubicazione del bacino del torrente Vertova chiuso in corrispondenza della confluenza con fiume Serio ( ——— ): SGB = Formazione di San Giovanni Bianco; DPR<sub>a</sub> = Dolomia Principale- facies piattaforma marginale; DPR<sub>b</sub> Dolomia principale – dolomie stratificate; DPR = Dolomia Principale; ARS = Argillite di Riva di Soltò; DZN = Dolomie Zonate – torbiditi calcaree; DZN<sub>a</sub> = Dolomie Zonate – breccie di pendio; ZUU<sub>a</sub> = Calcarea di Zu – litozona inferiore; ZUU<sub>b</sub> = Calcarea di Zu – litozona superiore; SED = Calcarea di Sedrina; MOT = Calcarea di Moltrasio; fn = filoni andesitici. **Linee blu** = faglie. SU = Supersintema della Selva di Clusone (Quaternario).

Ciò comporta che vi sia un limitato trasporto solido in corrispondenza dell'asta del torrente principale (torrente Vertova) caratterizzato invece da deflussi di piena con trasporto di fondo di materiale anche ghiaioso ciottoloso e materiale fine in sospensione. Oltre al trasporto di detriti è necessario considerare che durante gli eventi di piena vi sono spesso sradicamenti di alberi e arbusti lungo le sponde che possono poi ostruire alcuni attraversamenti impedendo il corretto deflusso delle acque torrentizie. Questo rende necessaria la periodica manutenzione dell'alveo e delle sponde con il taglio della vegetazione.



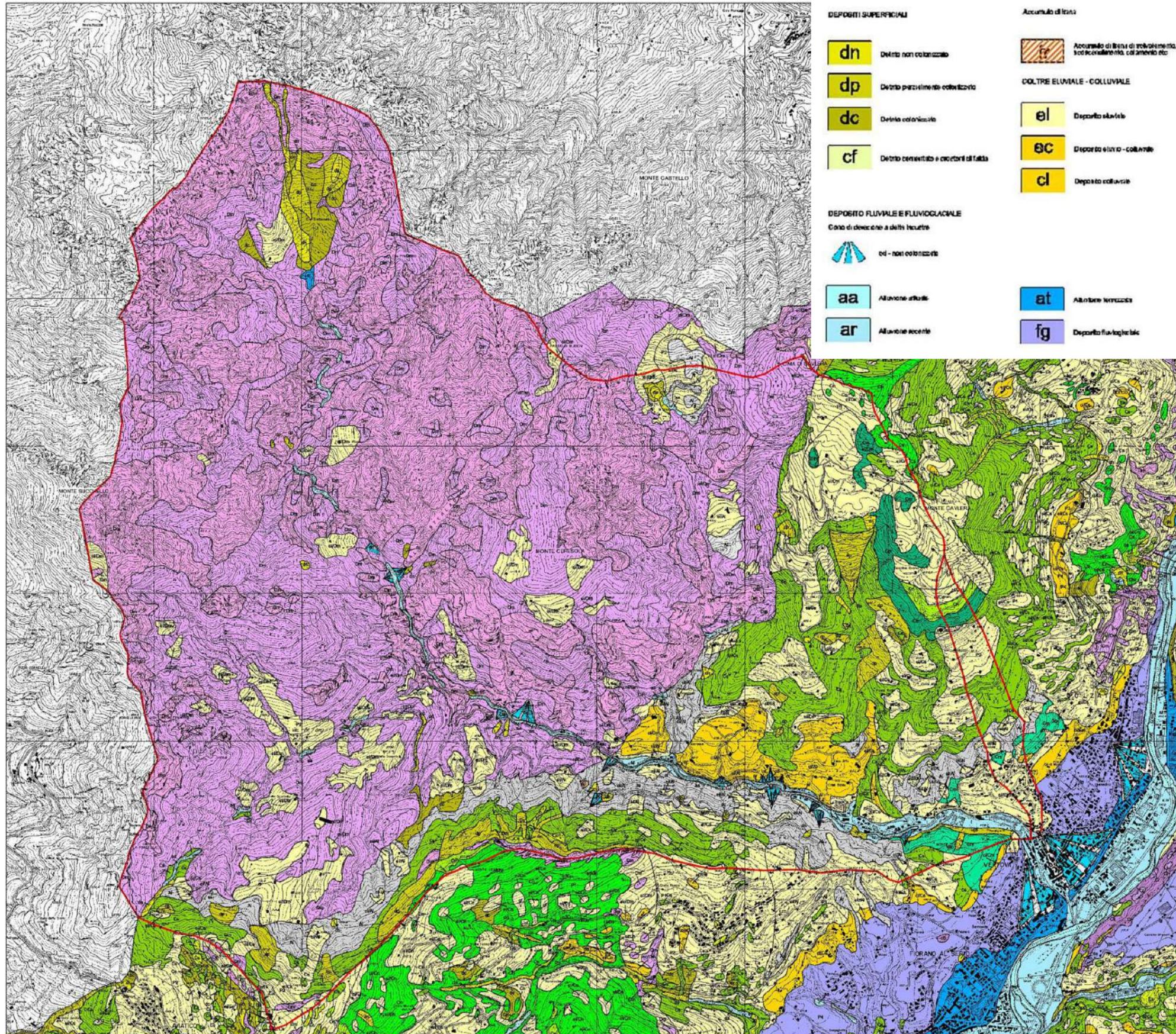
*Forra in roccia in Val Vertova con cascate presso uno dei guadi della strada di servizio agli acquedotti*



*Torrente Vertova con a lato terrazzi alluvionali a Roset-Lacnè (sinistra) e lungo la strada per Pometo (destra)*

Per tale motivo le elaborazioni effettuate con le usuali formule di portata di piena (come la formula razionale) basate su estrapolazioni da dati di deflussi di fiumi e torrenti contraddistinti da trasporto in sospensione prendono già in considerazione il trasporto di fondo e in sospensione e non necessitano di valutazioni specifiche inerenti il trasporto in massa, come invece accade per i torrenti con maggior pendenza; a tale proposito si tenga conto che l'asta del torrente Vertova in corrispondenza del centro abitato ha una pendenza estremamente ridotta ( $0,1 \div 0,2\%$ ) come risulta dai rilievi anche grazie alla presenza di salti di fondo ed in tali condizioni non si hanno fenomeni di trasporto in massa, ma di deposito in alveo (vedi barra presso il ponte di Largo Vittorio Veneto, a monte del ponte San Carlo o presso alcune delle soglie presenti nel centro abitato) o tutt'al più di trasporto di fondo.

La presenza nei tratti a monte della sezione di chiusura al ponte di Largo Vittorio Veneto di numerosi tratti con alveo in roccia o con depositi di ghiaia e ciottoli inferiori a un metro di spessore concentrati soprattutto in pozze, allargamenti della sezione d'alveo o presso soglie e traverse conferma queste indicazioni, come anche le descrizioni presenti nello studio *Nuovo Modulo s.r.l. – STUDIO GEOLOGICO E IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE – STUDIO GEA, 2005* le cui tavole geologica, geomorfologica, idrogeologica e di uso del suolo allegare e le loro descrizioni possono essere utilizzate come rappresentative anche per questo studio di dettaglio (vedi allegato 1 e immagini alle pagine seguenti).

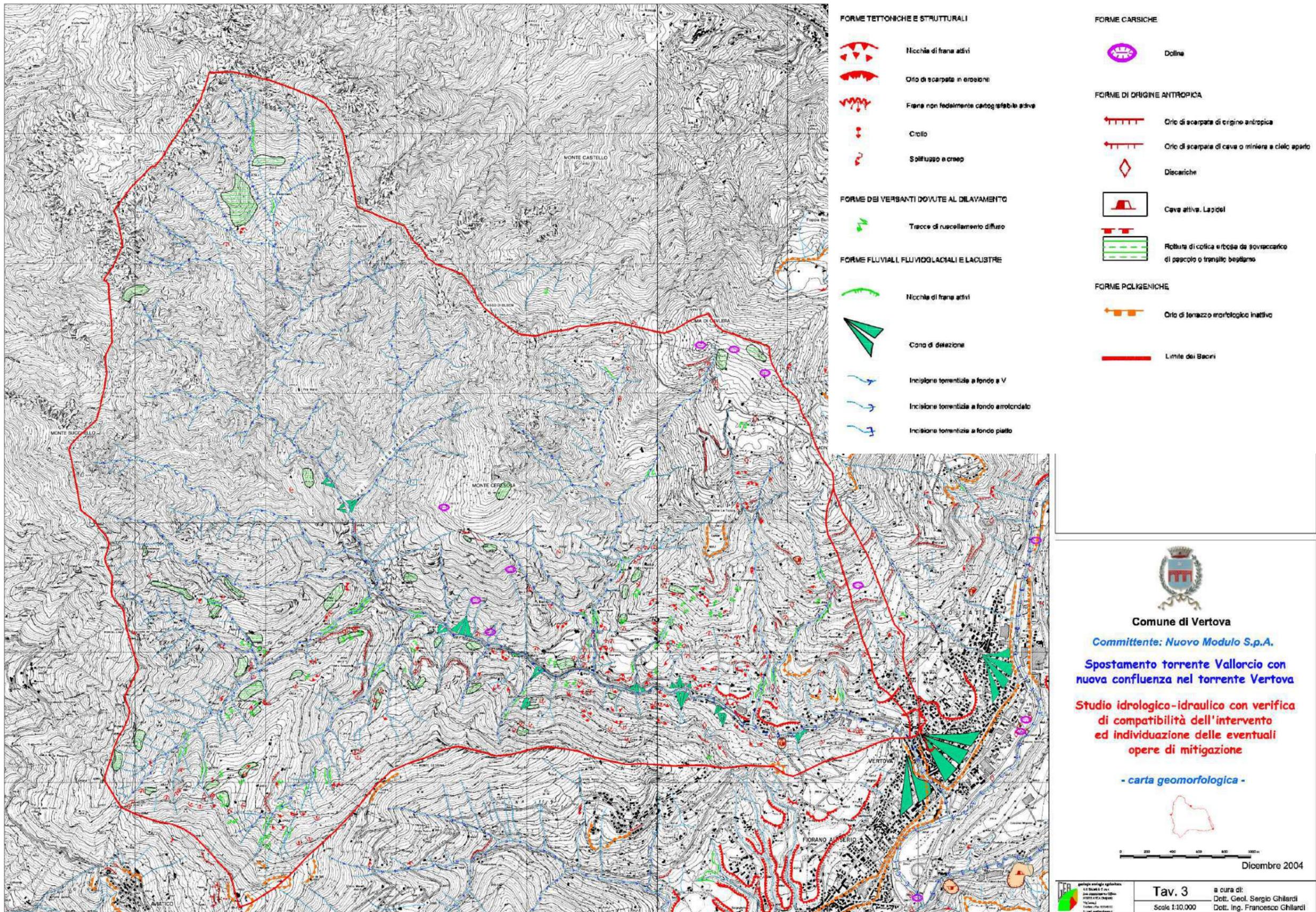


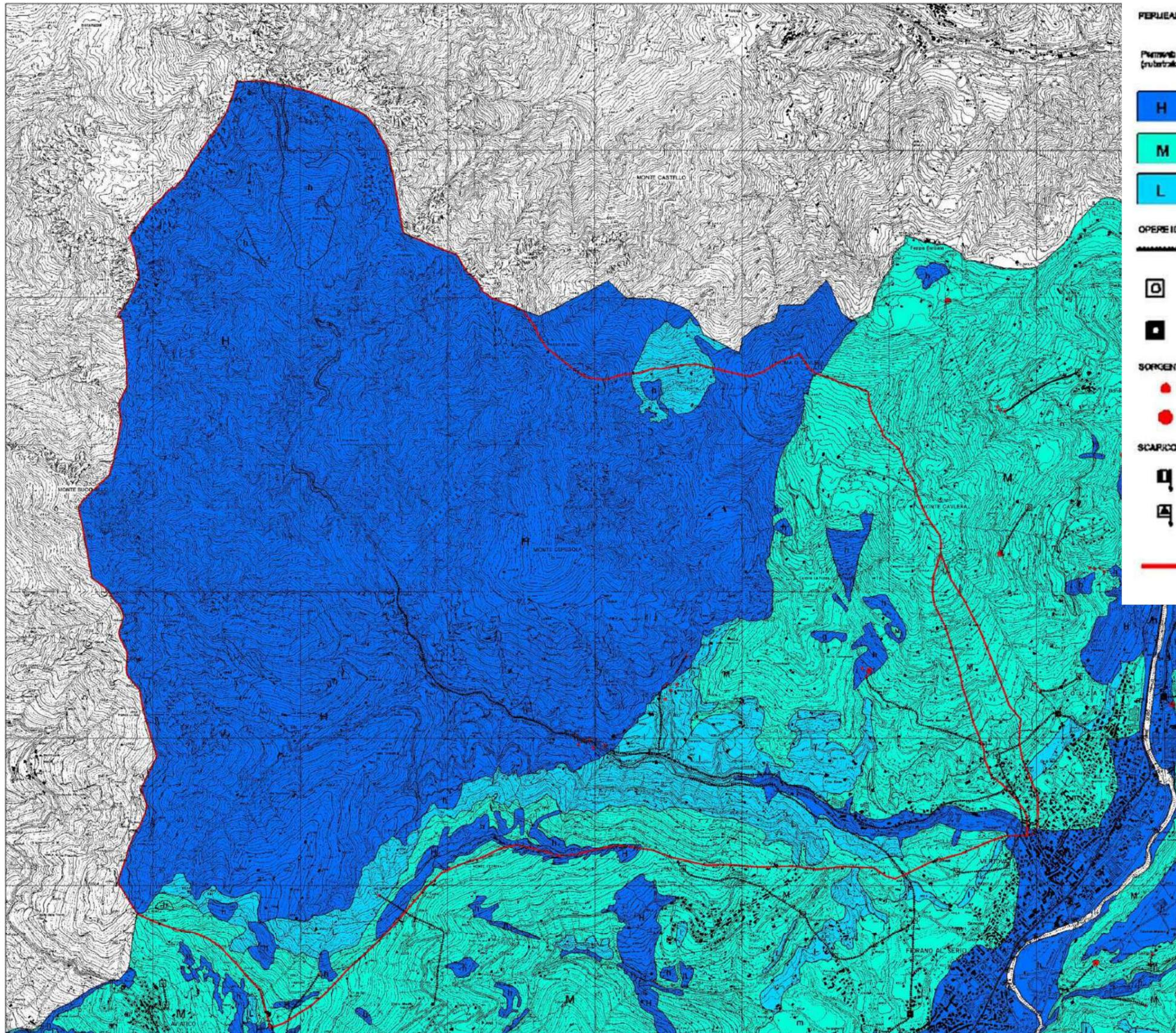
DEPOSITI SUPERFICIALI		Accumulo di lava	
dn	Detrito non colonizzato	el	Accumulo di lava di rovolamento, sovraccarico, colamento etc.
dp	Detrito parzialmente colonizzato	COLTRE ELUVIALE - COLLUVIALE	
dc	Detrito colonizzato	el	Deposito eluviale
cf	Detrito cementato e cicatrici di falda	ec	Deposito eluvio-colluviale
DEPOSITO FLUVIALE E FLUVIOGLACIALE		cl	Deposito colluviale
Cano di deviazione a delle lacune		ROCCHE SEDIMENTARIE	
el	el - non colonizzato	Conglomerato	
aa	Alluvione attuale	Ci	a Conglomerato integrabile di versanti
ar	Alluvione recente	Cb	a Conglomerato lo lavare
at	Alluvione recente	Rocce sedimentarie carbonifere, sabbie e siltitiche	
fg	Deposito fluvio-glaciale	Cm	a Calcare massiccio e stratificato in grossi blocchi

LEGENDA	
SUBSTRATO LAPIDEO	
a	- affiorante
b	- affiorante in modo discontinuo
ROCCHE SEDIMENTARIE	
Conglomerato	
Ci	a Conglomerato integrabile di versanti
Cb	a Conglomerato lo lavare
Rocce sedimentarie carbonifere, sabbie e siltitiche	
Cm	a Calcare massiccio e stratificato in grossi blocchi
Cs	a Calcare mediamente e sottilmente stratificato, non calcareo
Cn	a Calcare calcareo
Dm	a Dolomia arenacea o stratificata

  
**Comune di Vertova**  
 Committente: Nuovo Modulo S.p.A.  
**Spostamento torrente Vallorcio con nuova confluenza nel torrente Vertova**  
**Studio idrologico-idraulico con verifica di compatibilità dell'intervento ed individuazione delle eventuali opere di mitigazione**  
 - carta litologica -  
  
 Dicembre 2004

Tav. 2  
 Scala 1:10,000  
 a cura di:  
 Dott. Geol. Sergio Ghilardi  
 Dott. Ing. Francesco Ghilardi





**PERMEABILITA'**

<b>Permeabilità delle rocce caverne (substrato ipideo)</b>	<b>Permeabilità delle rocce incrostate (sopporti superficiali)</b>
<b>H</b> di elevata a media	<b>h</b> di elevata a media
<b>M</b> da media a ridotta	<b>m</b> da media a ridotta
<b>L</b> da ridotta a molto ridotta	<b>l</b> da ridotta a molto ridotta

**OPERE IDRAULICHE**

- Acqua dalla sottorete
- Serbatoio di accumulo per acquedotti con capacità < 100 IAC
- Serbatoio di accumulo per acquedotti con capacità > 100 IAC

**SORGENTI CAPTATE DA CONSORZI ACQUEDOTTISTICI**

- Portata media < 5 lit/sec.
- Portata media 5 - 25 lit/sec.

**SCARICO IN CORSO D'ACQUA O IN LAGO**

- Industriale
- pubblica fognaria

**— Limite dei Bacini**

**Comune di Vertova**

*Committente: Nuovo Modulo S.p.A.*

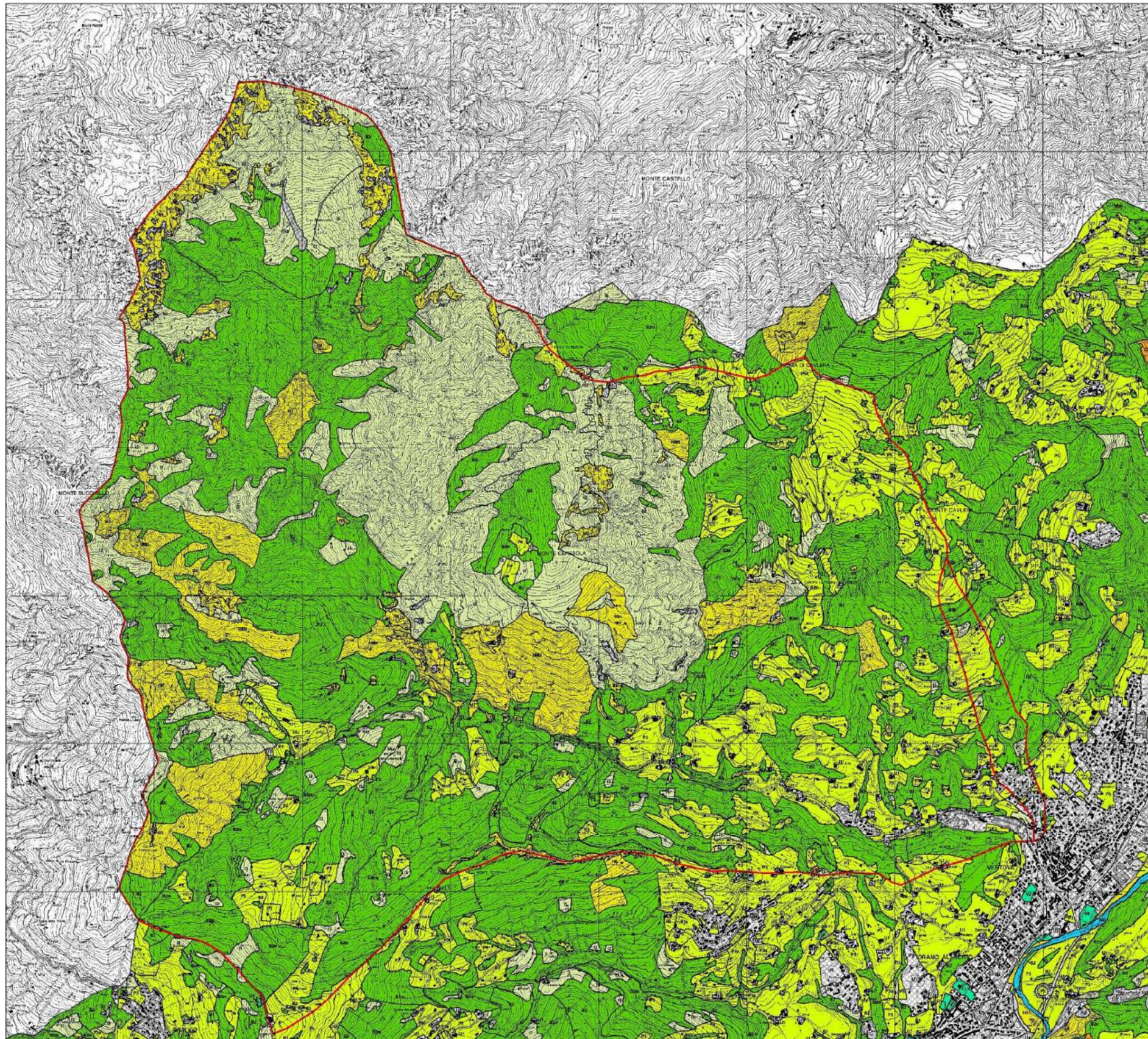
**Spostamento torrente Vallorcio con nuova confluenza nel torrente Vertova**

**Studio idrologico-idraulico con verifica di compatibilità dell'intervento ed individuazione delle eventuali opere di mitigazione**

*- carta idrologica con indicazioni della permeabilità -*

Dicembre 2004

	<b>Tav. 4</b>	a cura di: Dot. Geol. Sergio Ghilardi Dot. Ing. Francesco Ghilardi
Studio Geoter S.A.I. Progetti Via S. Giovanni 10 20139 Milano (MI) Tel. 02 57491111 E-mail: info@geoter.it	Scale 1:10.000	



- LEGNOSI AGRARI**
- L** 6 Coltivati da frutto  
 7 - altre specie che evidenziano abbandono di coltura in atto
- PRATI E PASCOLI**
- P** 3 Prati permanenti asciutti (1-2)  
 4 Prati permanenti (1-2)  
 6 Prati (1-2)
- SCOSCI**
- G** 2 Cespugli di heliolepis (1)  
 7a - in ambiente macerale e composto  
 (4) c - presenza di individui derivati da riproduzione vegetativa per condimento  
 7 Rimboscimenti recenti
- VEGETAZIONE NATURALE**
- N** 3 Vegetazione rupestre e degli arbusti in evoluzione mediterranea  
 4 Praterie del piano alpino su suoli calcarei (0)  
 8 Boscaglie, cespuglieti ed arbusteti a prevalenza di straggole (0)  
 (0) A - nel piano alpino  
 U - nel piano montano  
 S - nel piano submontano
- VEGETAZIONE INCOLTA**
- I** 1 Associazioni erbacee derivate dall'abbandono di S.A.U. (superfici agricole usate)  
 2 Associazioni erbacee e leguminose derivate dall'abbandono di S.A.U. (superfici agricole usate)  
 3 Vegetazione in avanzata evoluzione verso torrette forestali
- ALTRI URBANIZZATI**
- U** 1 Aree edificati residenziali  
 2 Aree edificati a funzione abitativa di minore produttività  
 3 Aree edificati a funzione produttiva  
 4 Aree edificati a funzione di servizio  
 5 Infrastrutture
- VERDE URBANO**
- V** 1 Orti  
 2 Partecipazioni ad aree residenziali  
 4 Impianti di area verde sportiva rilevanti
- AREE VERDI**
- R** 1 Affollamenti folti a cespugli di vegetazione  
 2 - vegetali di transo o arborescenti  
 3 - Aree incolte  
 4 Aree degradate rispetto ad un foresto
- AREE CRICHE**
- A** 2 Laghi, bacini, specchi d'acqua  
 3 Aree torbide (0)



**Comune di Vertova**

Committente: **Nuovo Modulo S.p.A.**

**Spostamento torrente Vallorcio con nuova confluenza nel torrente Vertova**

**Studio idrologico-idraulico con verifica di compatibilità dell'intervento ed individuazione delle eventuali opere di mitigazione**

- carta dell'uso del suolo ad orientamento vegetazionale -



Dicembre 2004

	<p><b>Tav. 5</b></p> <p>Scala 1:10.000</p>	<p>a cura di:                  Dott. Geol. Sergio Ghilardi                  Dott. Ing. Francesco Ghilardi</p>
---	--	---

Questo studio, oltre a non evidenziare situazioni di elevato trasporto di materiale nel torrente Vertova, mette in luce l'inadeguatezza di alcuni dei ponti presenti lungo il corso ed in particolare del ponte Mistri e del ponte della Fabbrichetta o la riduzione della sezione di deflusso che permette il deposito di materiale soprattutto per la presenza di spalle dei ponti o di pile di sostegno in alveo, mentre invece assegna al piccolo bacino dell'opera di presa del canale di derivazione della Microidroelettrica, un centinaio di metri a valle della confluenza Lacnè-Vertova, una minima capacità di invaso con laminazione e raccolta del trasporto solido (vedi allegato 1 pag. 49-62).

Anche l'utilizzo del Sistema Informativo Bacini e Corsi d'Acqua (SIBCA) di Regione Lombardia fornisce in merito alle possibilità di trasporto del torrente Vertova alcune indicazioni. L'indice di franosità di tutto il bacino pari a 1,197 delinea la commistione tra dissesti lungo i tributari secondari che raggiungono l'alveo e che quindi possono facilmente determinare un apporto al trasporto solido e dissesti sul versante non correlati al reticolo idrografico. Anche considerando solo i tributari principali il valore non si modifica sostanzialmente (IF = 1,3325) favorendo uno spostamento verso il campo dei dissesti che non interessa il reticolo idrografico o che non è correlato ad esso.

DATI ELABORATI DA SIBCA	Nome bacino	codice CT10	portata TR50 (mc/s)	portata TR100 (mc/s)	portata Iskowski (mc/s)	coeff. deflusso	indice franosità	densità drenaggio (l/Km)	lunghezza totale idrografia (Km)	distanza max reticolo coprente (Km)	Area planimetrica (km2)	indice Melton	Coeff. Deflusso da media pesata
Vertova alto	S126	47947	57.88	63.53	32.38	0.6704	1.4002	3.46	25.13	4.64	7.27	0.4877	0.26808
1dx Val Betta	S127	48209	12.08	13.25	3.30	0.5043	0.5960	2.74	2.97	2.73	1.08	0.9089	0.03008
3dx Val da Gru	S128	49188	13.70	15.05	8.56	0.2513	1.0108	2.38	5.71	2.91	2.40	0.4531	0.03322
3dx Valle Ronco Lungo	S129	49212	11.84	13.02	8.49	0.1894	2.4919	2.05	3.84	2.86	1.87	0.6018	0.01947
1sx Val Chignola-Lacnè	S130	49448	32.51	35.71	13.40	0.4466	0.8640	3.12	11.72	3.65	3.76	0.4560	0.0924
2sx Valle Masna	S131	50029	14.01	15.41	6.07	0.2289	1.6324	2.96	5.30	3.30	1.79	0.6495	0.02257
TOTALE VALLI											18.18		<b>0.46581</b>
<b>MEDIA VALLI VERTOVA</b>						0.3818	1.3325	2.7822	9.1105	3.3473	3.0302	0.5928	
VALLE VERTOVA	Torrente Vertova	50870	90.06	98.57	96.52	<b>0.4320</b>	1.197	3.000	72.238	10.707	24.082	0.30959	

#### 4.1 COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Sempre in relazione al limitato trasporto solido occorre anche considerare l'elevata infiltrazione nel sottosuolo delle precipitazioni a causa di aree fratturate in roccia e alla presenza di zone carsiche che determinano una riduzione del coefficiente di deflusso. Grazie a SIBCA è possibile valutare un coefficiente di deflusso (C) per il torrente Vertova di 0,432, valore in linea anche se di poco inferiore rispetto al coefficiente normalmente utilizzato per i calcoli delle portate di piena (C = 0,5), ma che è da considerare estremamente conservativo date le caratteristiche di elevata permeabilità di una buona parte del bacino idrografico. Anche considerando il valore medio pesato delle aste tributarie afferenti al torrente Vertova descritte da SIBCA si ottiene un valore C = 0,466, sicuramente elevato nonostante e la maggior parte delle rocce impermeabili e delle parti urbanizzate siano concentrate nella parte inferiore del bacino e non considerate in questa valutazione del coefficiente.

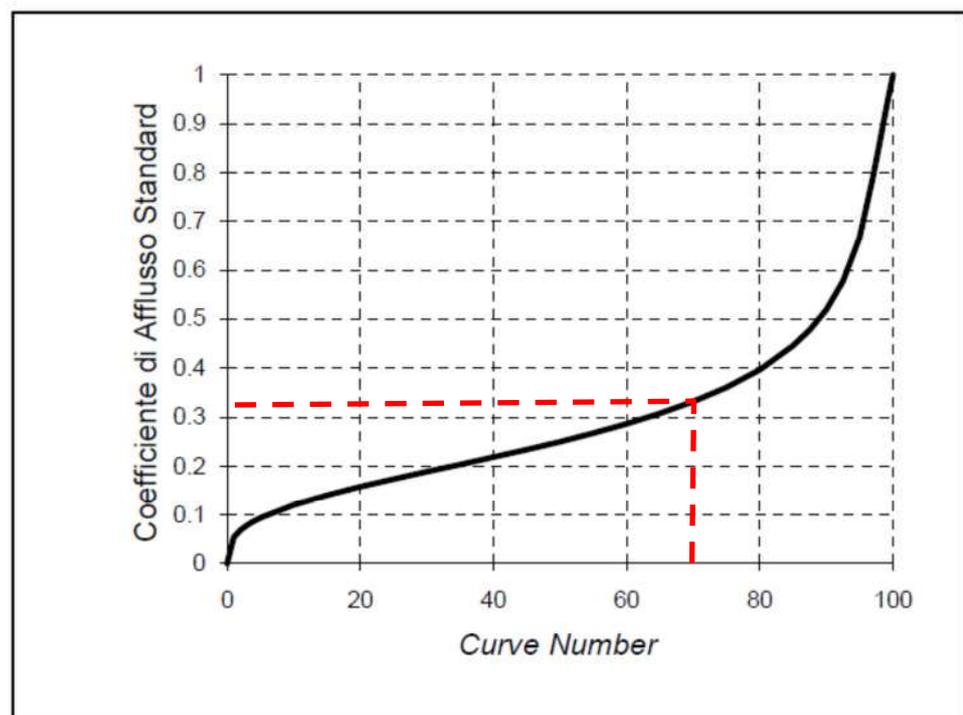
Lo studio prima citato (GEA, 2005) aveva determinato, attraverso il metodo del Curve Number (CN) all'interno della classificazione SCS-CN (Soil Conservation Service - Curve Number) un valore CN pari a 70,4 (vedi pag. 102-106 dell'allegato 1) permettendo di assegnare un coefficiente di deflusso per il torrente Vertova C = 0,44 anche se nelle successive elaborazioni venne utilizzato C = 0,6 ritenuto più cautelativo, ma senza alcuna considerazione scientifica che lo giustificasse.

Il coefficiente determinato da SIBCA, in prima battuta è allora da ritenersi il più corretto ( $C = 0,432$ ) se non venisse effettuata una ulteriore valutazione del CN poiché tutti i coefficienti di deflusso così calcolati fanno riferimento a parametri estremamente elevati per le rocce qui presenti non tenendo conto delle loro caratteristiche di fratturazione e/o di carsismo, ma solo delle loro caratteristiche di scarsa permeabilità primaria che favoriscono il deflusso superficiale; infatti, per le rocce fortemente fratturate della val Vertova ed in particolare per la Dolomia Principale e per le Dolomie Zonate occorrerebbe valutare un coefficiente moltiplicativo significativamente inferiore.

Nella classificazione dei valori di curve number all'interno della classificazione SCS-CN, ampiamente utilizzata in letteratura, le rocce carsiche fratturate o caratterizzate da carsismo come il caso della Dolomia Principale in Val Vertova appartengono ai tipi di suolo con minor capacità di deflusso superficiale (tipi A e B) e con valori di curve number inferiori nel caso di boschi di latifoglie e/o di conifere, come quelli diffusi nel bacino del torrente Vertova ( $CN = 39\div 51$ ), rispetto a rocce denudate non coperte da vegetazione assimilabili alle aree estrattive ( $CN = 89\div 92$ ).

Anche utilizzando il valore di CN ottenuto rapportandolo ad una pioggia standard di 45 mm (vedi R.Rosso – Consulenza tecnico scientifica nell'ambito del progetto SHAKEUP-2 Caratterizzazione idrologica dell'indice di piena in Lombardia – Mappatura dell'indice di assorbimento e del massimo volume specifico di ritenzione potenziale del terreno – Relazione Finale – 2004 per ARPA LOMBARDIA) si otterrebbe dall'abaco di correlazione CN-coefficiente di deflusso un valori di 0,32-0,33 nettamente inferiore a quelli considerati.

**Figura 5.2.6**  
Abaco per la  
valutazione del  
coefficiente di afflusso  
standard,  $\Phi_s$ , in  
funzione del parametro  
CN del metodo SCS-  
CN.



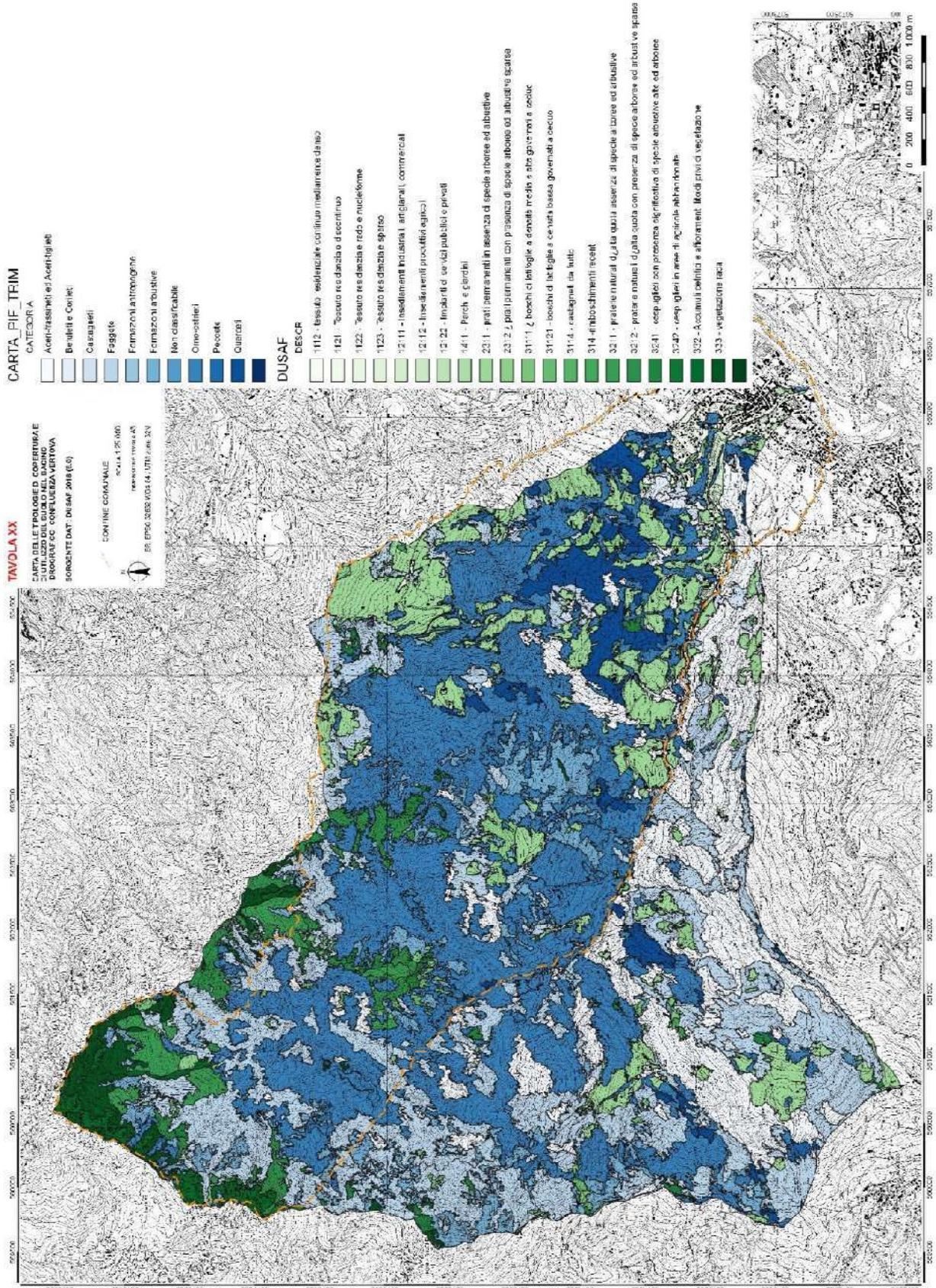
In tal caso una valutazione attraverso la procedura di Iskowski con coefficienti di deflusso assegnati unicamente in funzione della tipologia di uso del suolo, anche se più conservativa rispetto all' utilizzo del metodo SCS-CN, risulta più consona al bacino idrografico del Vertova.

Dalla cartografia vigente dell'uso del suolo ed in particolare dalla carta del Piano di Indirizzo Forestale della valle Seriana recentemente pubblicata associata a carta DUSAF dell'uso del suolo per le aree non ricoperte dalla prima cartografia (vedi immagine pagina seguente) si ottiene un coefficiente di deflusso  $C = 0,370$  confermando quanto indicato in precedenza e definendo un coefficiente già inferiore rispetto a quello fornito da SIBCA o calcolato con la procedura SCS-CN da parte dello studio GEA.

Per tale motivo nella valutazione delle portate si è proceduto alla determinazione dei valori ottenuti con entrambe le metodologie di calcolo del coefficiente di deflusso mantenendo il valore specifico per il bacino del torrente Vertova alla confluenza con il fiume Serio calcolato con la procedura di Iskowski ( $C = 0,37$ ) ed il valore definito da SIBCA ( $C = 0,432$ ), anche se si predilige il primo dei due valori ottenuti per la determinazione delle portate di piena.

AREA TOTALE (Kmq)	23.920		
TIPO	%	TIPO	%
Orno-ostrieti	31.667	12111 - Insediamenti industriali, artigianali e commerciali	0.343
Faggete	22.83	1122 - Tessuto residenziale rado e nucleiforme	0.284
Aceri-frassineti ed Aceri-tiglieti	12.617	1112 - tessuto residenziale continuo mediamente denso	0.243
2311 - prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	9.353	Formazioni antropogene	0.212
Formazioni arbustive	6.508	1123 - Tessuto residenziale sparso	0.148
Querceti	3.497	Peccete	0.131
3212 - praterie naturali d'alta quota con presenza di specie arboree ed arbustive rare	1.961	31121 - boschi di latifoglie a densità bassa governati a ceduo	0.113
333 - vegetazione rada	1.757	Non classificabile	0.103
31111 boschi di latifoglie a densità media e alta governati a ceduo	1.586	12122 - Impianti di servizi pubblici e privati	0.052
3211 - praterie naturali d'alta quota assenza di specie arboree ed arbustive	1.436	314 -rimboschimenti recenti	0.04
332 - Accumuli detritici e affioramenti	1.105	1411 - Parchi e giardini	0.022
2312 prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive	1.097	3242 - cespuglieti in aree agricole abbandonate	0.011
3241 - cespuglieti con presenza significativa di specie arbustive alte ed arboree	0.876	12112 - Insediamenti produttivi agricoli	0.009
1121 - Tessuto residenziale discontinuo	0.769	3114 - castagneti da frutto	0.006
Castagneti	0.62	altro	0.154

TIPOLOGIA	COEFFICIENTE DEFLUSSO C	BACINO VERTOVA VIA IV NOVEMBRE	
		AREE PARZIALI	
bosco	0.25	17.270	4.31756
prato - pascolo	0.56	4.150	2.324067
urbanizzato1/colture agrarie	0.7	0.622	0.435344
urbanizzato2 o rocce	0.95	1.878	1.783834
AREA TOTALE		23.920	
COEFF. DI DEFLUSSO			0.370



## 5. STUDIO IDROLOGICO

La realizzazione dello studio idraulico per la valutazione delle aree PAI-PGRA inserite in classe di rischio R4 per il torrente Vertova nell'ambito del centro storico comunale deve soddisfare i criteri di Regione Lombardia per questo tipo di analisi ed in particolare l'allegato 4 della d.g.r. 2616/2011.

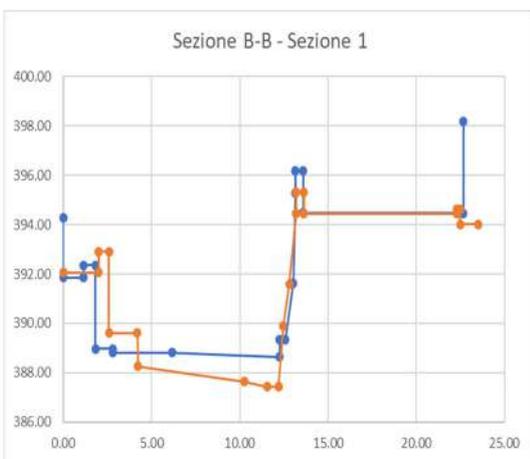
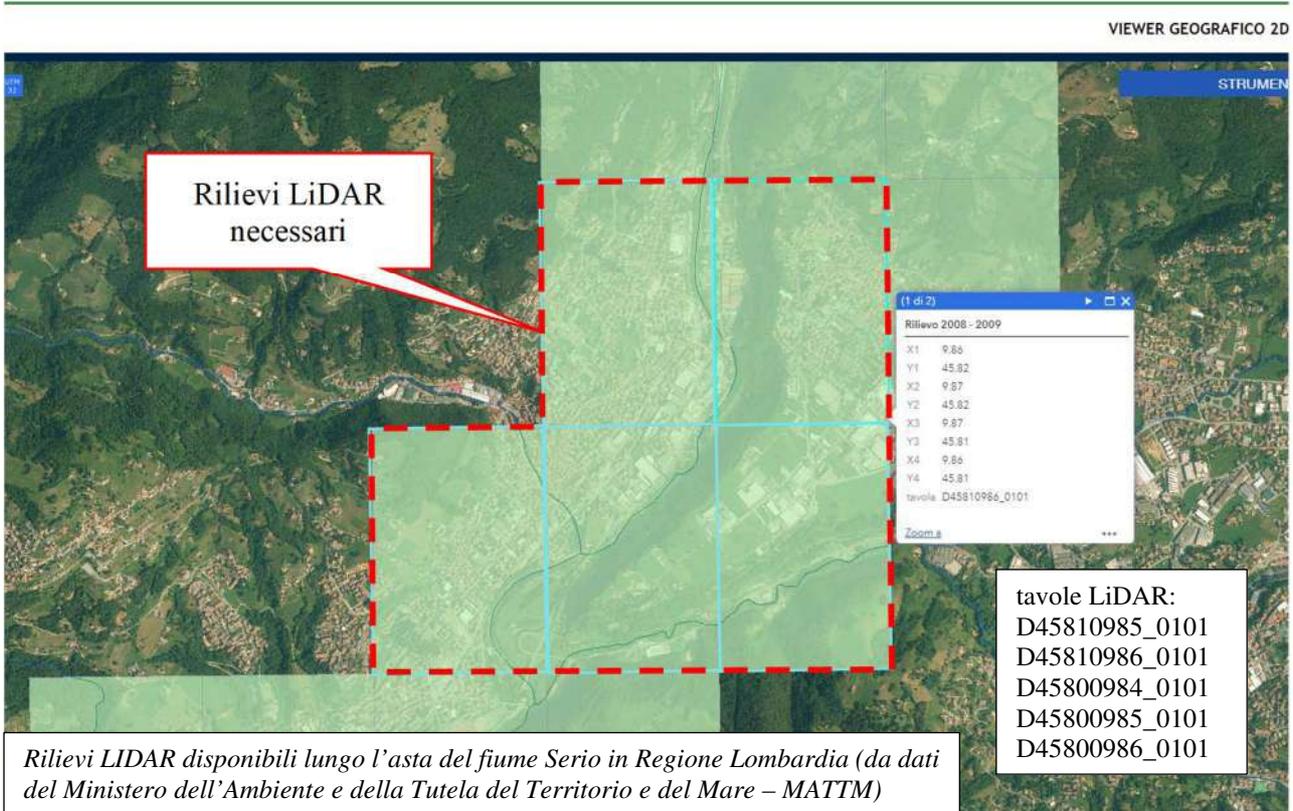
Lo studio idraulico prevede in particolare 3 fasi:

- l'analisi dal punto di vista geologico del territorio con la valutazione del possibile trasporto in massa di materiale, come anche la definizione di alcuni parametri dell'alveo (fondo in roccia o in ghiaia, sponde con muri o sponde naturali, etc.) con la definizione del coefficiente di deflusso (fase già presentata nelle pagine precedenti) calcolato con il metodo percentuale, ma controllato anche attraverso il metodo SCS-CN;
- lo studio idrologico dell'area che comprende la definizione delle curve di possibilità climatica e tutti i parametri necessari alla schematizzazione della massima piena con assegnato tempo di ritorno e alla definizione dell'onda di piena;
- la modellazione idraulica di come avviene il deflusso dell'onda di piena all'interno dell'alveo fluviale e dei suoi immediati intorni al fine di valutare le possibili zone di esondazione con il loro grado di pericolosità.

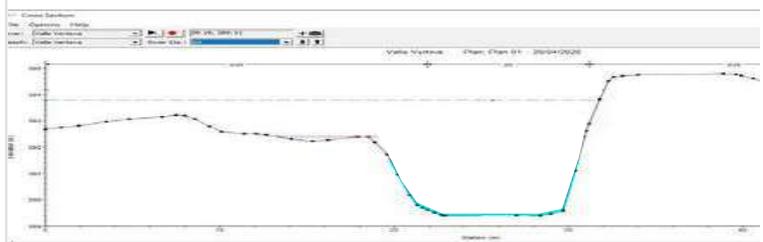
La verifica idraulica, quindi, ha origine da un dettagliato studio del bacino idrografico sotteso alla sezione dell'intervento che deve portare alla valutazione della portata di massima piena secolare facendo riferimento a quanto previsto nella "DIRETTIVA SULLA PIENA DI PROGETTO DA ASSUMERE PER LE PROGETTAZIONI E LE VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA" emanata dall'Autorità di Bacino del Po. Tale studio era stato parzialmente realizzato già per l'intervento di messa in sicurezza del muro spondale di via IV Novembre nel 2017 (*Comune di Vertova - INDAGINE GEOLOGICA SULLA RICOSTRUZIONE DI UN TRATTO DI MURO DI VIA IV NOVEMBRE IN VERTOVA - STUDIO GEOTER, 2017*) dove però le sponde avevano altezze tali che l'intervento minimale di restringimento della sezione di deflusso per la realizzazione del muro di sostegno non avrebbe determinato alcun problema al deflusso stesso. In occasione di ulteriori interventi sul torrente Vertova sono stati poi affinate metodologie più dettagliate, sempre più allineate alla metodologia proposta dall'allegato 4 della dgr prima richiamata. L'ultimo tra questi lavori da cui si riprende per lo meno tutto lo studio idrologico con limitate modifiche è quello realizzato nel 2020 per la messa in sicurezza del muro spondale di via IV Novembre soggetto a cedimento sempre in sponda destra vicino al ponte San Carlo (*Comune di Vertova - MESSA IN SICUREZZA MURO VIA IV NOVEMBRE - RELAZIONE GEOLOGICA CON MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO E SISMICO E VERIFICHE IDRAULICHE - STUDIO GEOTER E SAI PROGETTI, 2020*).

Per la verifica idraulica del torrente Vertova nel centro abitato, come richiamato in premessa, è invece stata utilizzata una modellazione bidimensionale con software HEC-RAS, effettuata dall'ing. Matteo Locatelli e dall'ing. Ezio Zucchelli, supportata da uno specifico rilievo con drone appoggiato anche a target di identificazione effettuato dal geom. Matteo Grassi di Vilminore di Scalve su apposito incarico del comune di Vertova per questo tratto del torrente Vertova e di un suo significativo intorno.

Non è stato infatti possibile utilizzare il modello LIDAR (Light Detection And Ranging o anche per Laser Imaging Detection And Ranging) effettuato specificatamente per il fiume Serio e fornito al comune da Regione Lombardia mediante apposita richiesta. Le aree del rilievo LIDAR, si ampliavano anche a zone limitrofe comprendendo tutta l'area di studio, ma con una scarsissima affidabilità per la rappresentazione topografica fornita. Infatti, già ad un primo esame è emerso come non venissero interpretate e rappresentate correttamente né le inclinazioni delle sponde, né la presenza di manufatti come i muri spondali presenti all'interno del centro abitato di Vertova.

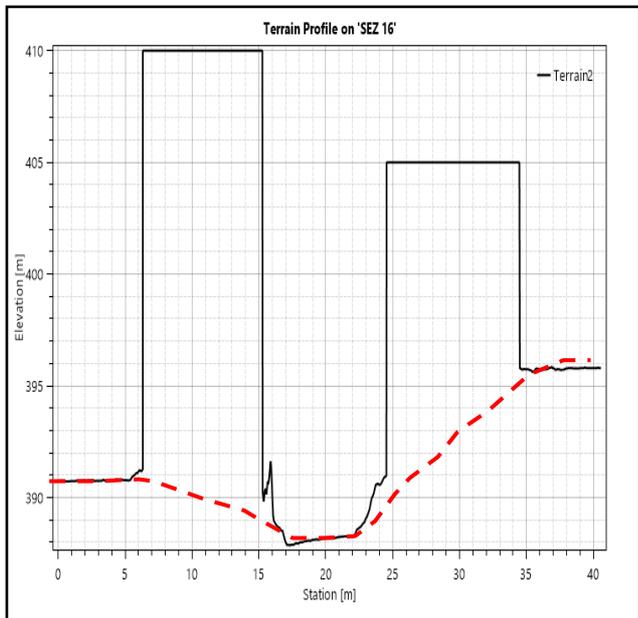


*Confronto tra sezioni rilevate topograficamente a distanza di pochi metri l'una dall'altra e sezione estratta dal rilievo LIDAR nel medesimo punto; si nota la grande differenza di precisione.*

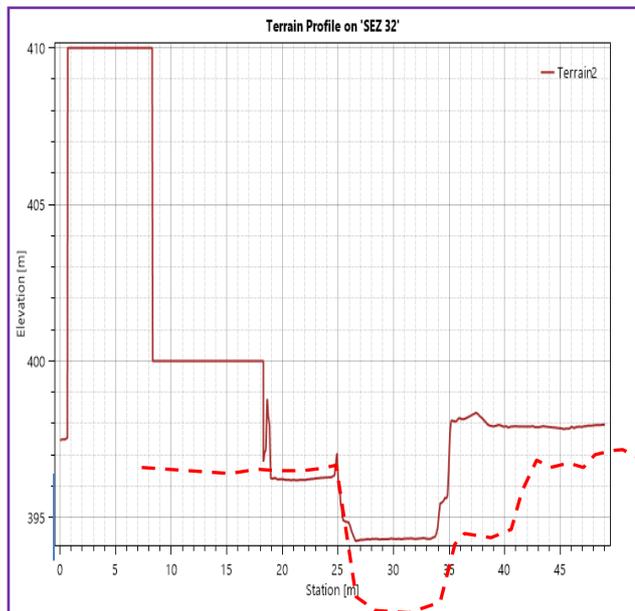


Sempre in riferimento alla scarsa accuratezza di questi rilievi LIDAR per il dettaglio richiesto nello studio idraulico del torrente Vertova si riportano alcuni esempi di confronto tra sezioni ottenute dal rilievo LIDAR del MATTM fornito da Regione Lombardia (risoluzione del rilievo di 1 un metro, ma stima dei punti restituiti con un'accuratezza di circa 30 cm in planimetria e 15 cm in altezza) e dal rilievo con drone fatto eseguire appositamente dal comune sulla base delle specifiche richieste da Studio Geoter e da SAI Progetti (risoluzione del rilievo 7 cm) per ottenere anche i dati di muri spondali o rilievi minori nell'alveo (per una miglior comprensione sono state modificate le figure nella scala in altezze per renderle comparabili sovrapponendo il profilo LIDAR MATTM a quello del rilievo con drone effettivamente utilizzato per le verifiche da cui si nota oltre alla differenza del profilo anche una sensibile differenza di quote).

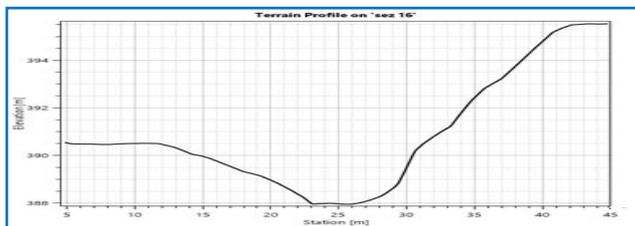
Sezione 16 volo attuale drone  
 (linea rossa = rilievo Lidar MATTM)



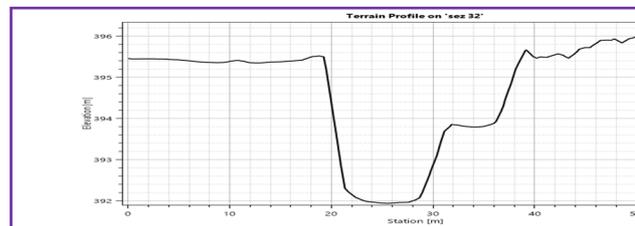
Sezione 32 volo attuale drone  
 (linea rossa = rilievo Lidar MATTM)



Sezione 16 volo LIDAR MATTM



Sezione 32 volo LIDAR MATTM



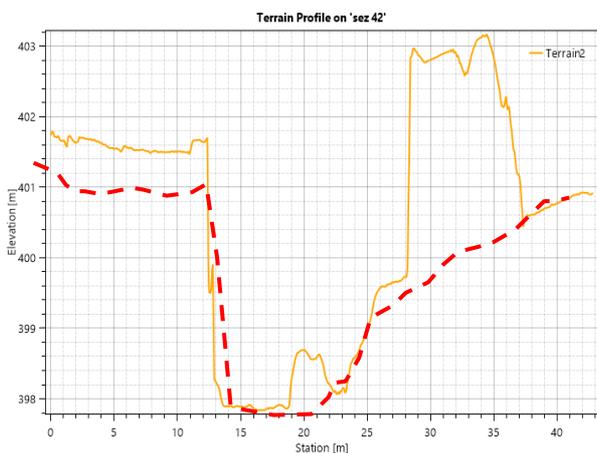
Sezione 16 fotografia e indicazione profilo



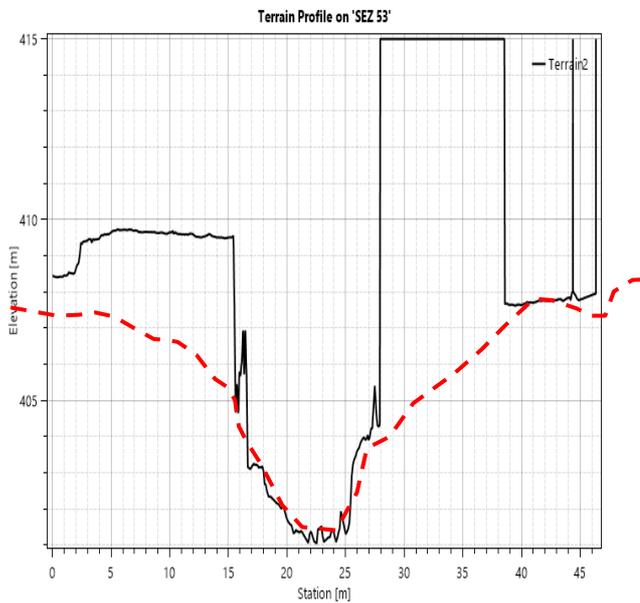
Sezione 32 fotografia e indicazione profilo



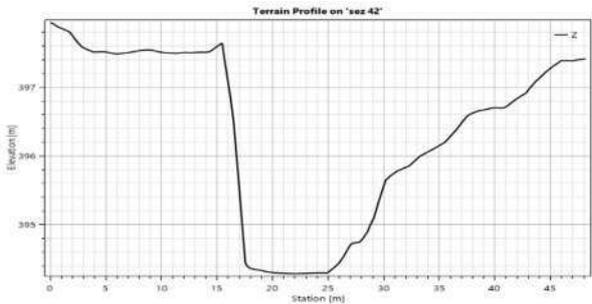
Sezione 42 volo attuale drone



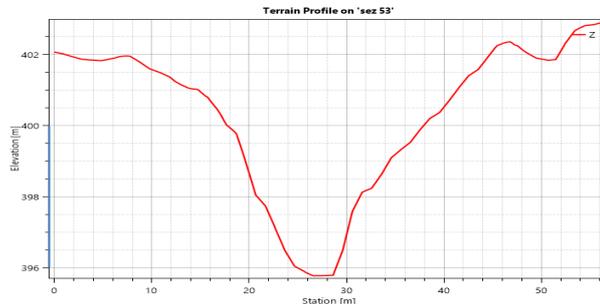
Sezione 53 volo attuale drone



Sezione 42 volo LIDAR MATTM



Sezione 53 volo LIDAR MATTM



Sezione 42 fotografia e indicazione profilo

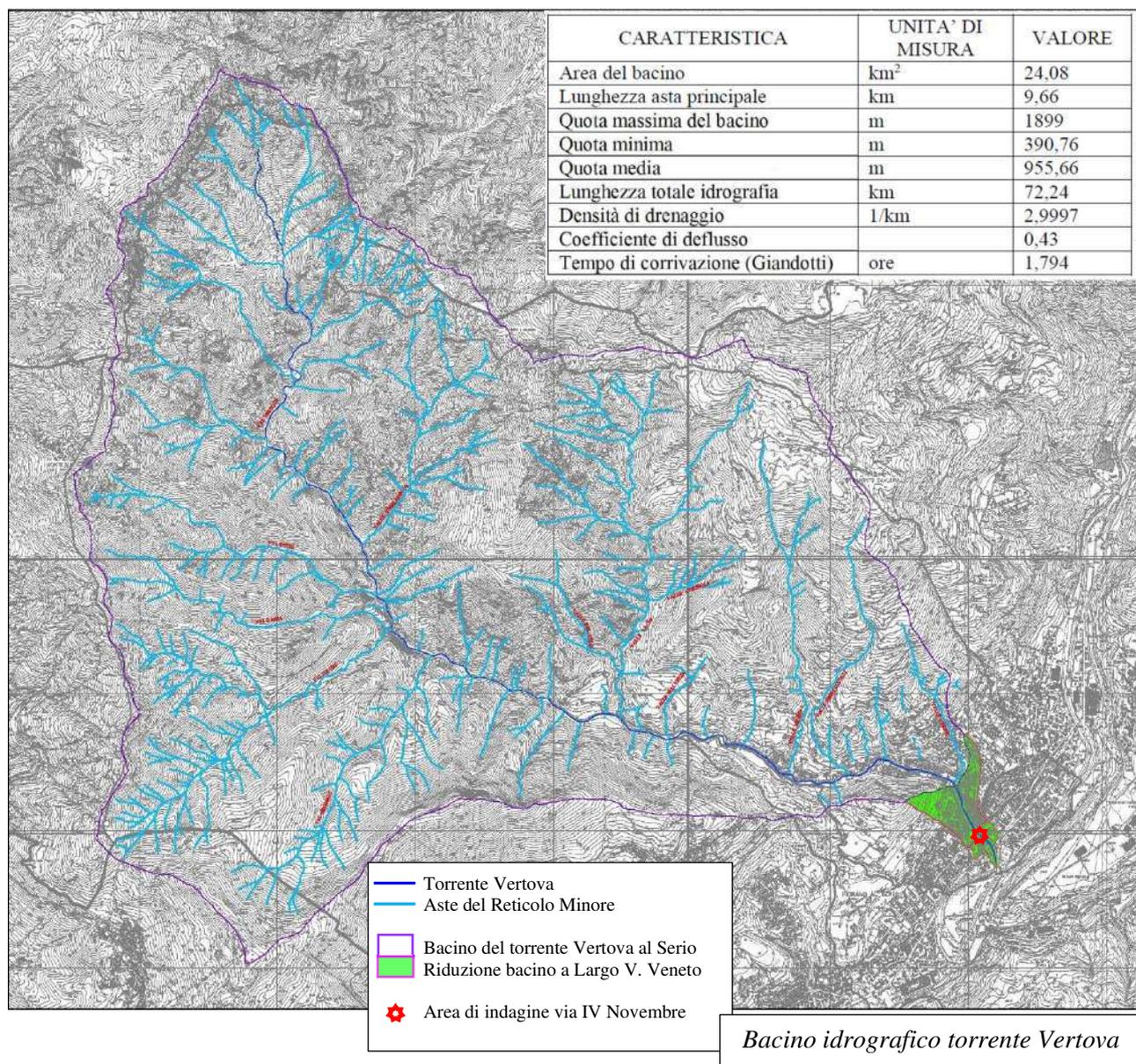


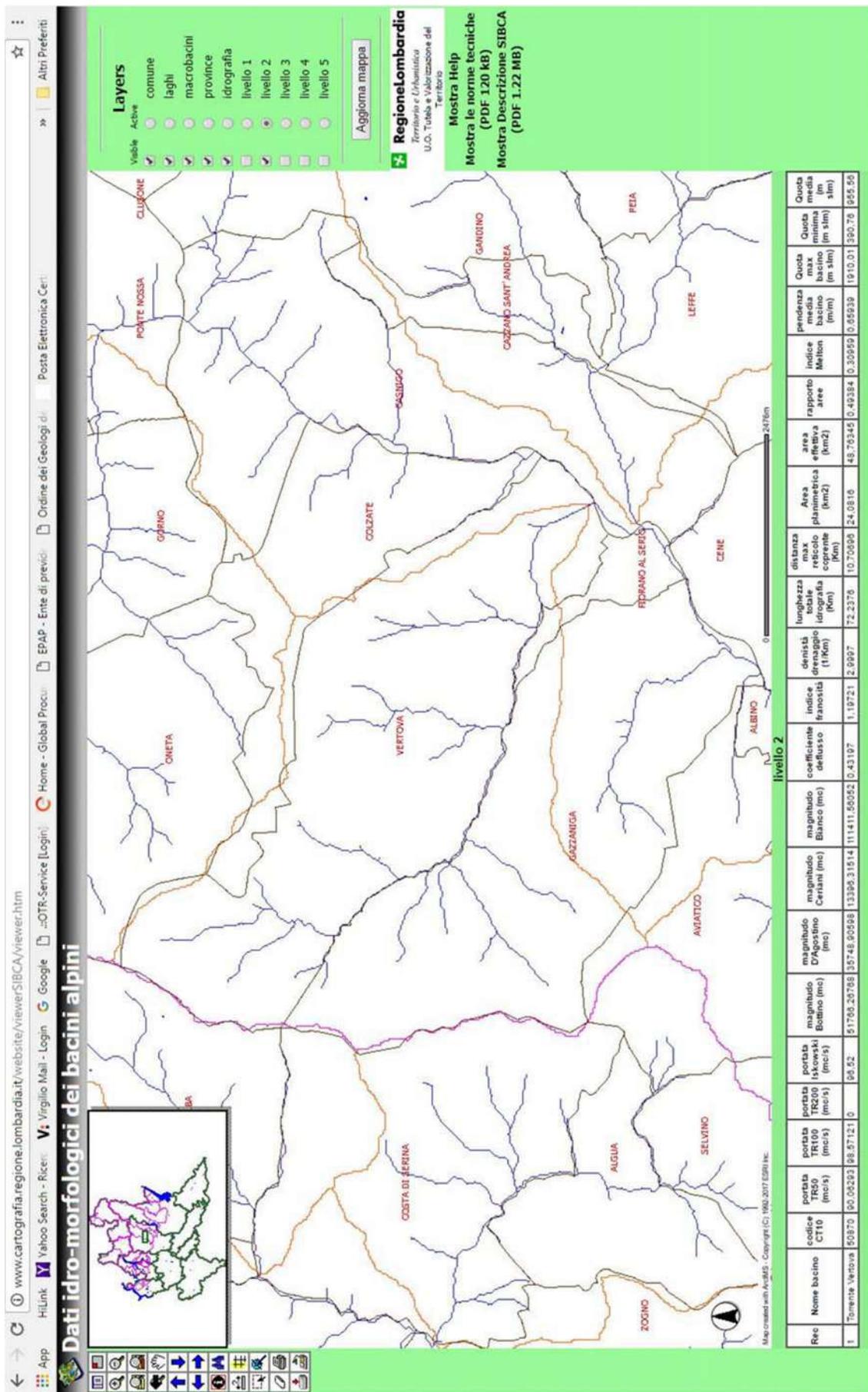
Sezione 53 fotografia e indicazione profilo



### 5.1 BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE VERTOVA

Le caratteristiche del bacino sotteso vengono prese in considerazione a favore di sicurezza considerando l'intero bacino del torrente Vertova e non il bacino sotteso al ponte di Largo Vittorio veneto, così come quella in corrispondenza del ponte San Carlo e di via IV Novembre a cui si riferisce lo studio originario; la differenza di calcolo è minimale poiché la sezione di chiusura in corrispondenza del ponte San Carlo si trova praticamente quasi al limite dell'asta del torrente Vertova (diminuzione di superficie pari allo 0,15%), mentre per la chiusura presso il ponte di Largo Vittorio Veneto o meglio alla confluenza con il Vallorcio è altrettanto limitata (diminuzione di superficie pari allo 0,85%. Questa semplificazione permette di confrontare direttamente i dati ottenuti da questo studio con quelli già disponibili presso il servizio SIBCA del Geoportale di Regione Lombardia dal quale si estraggono i seguenti dati significativi tra cui occorre segnalare, perché utili alla definizione della portata di massima piena il *tempo di corrivazione* calcolato secondo la formula di Giandotti usualmente utilizzata in ambito idraulico e il *coefficiente di deflusso* determinato in funzione delle caratteristiche di uso del suolo e della permeabilità dei terreni di cui si è già discusso in precedenza.





A. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE VERTOVA CON CHIUSURA via IV Novembre E Largo V. Veneto		
N. BACINO	IV Novembre	Largo V.Veneto
<b>A.1 Superfici</b>		
Superficie del bacino idrologico (km <sup>2</sup> )	23.887	23.719
<b>A.2 Lunghezze</b>		
Lunghezza dell'asta principale (km)	10.36	9.98
Lunghezza dell'asta principale (km) allo spartiacque	10.53	10.14
<b>A.3 Quote e dislivelli</b>		
Quota massima del bacino idrologico (m)	1904.00	1904.00
Quota minima del bacino idrologico e sezione di chiusura (m)	390.75	406.00
Quota media del bacino idrologico (m)	955.56	962.50
Quota massima dell'asta principale (m)	1765	1765
Altezza media relativa rispetto alla sezione di chiusura (m)	564.81	556.50
Dislivello dell'asta principale (m)	1374.25	1359.00
Dislivello tra la quota massima e minima del bacino (m)	1513.25	1498.00
<b>A.4 Pendenze</b>		
Pendenza dell'asta principale	14.60	15.01
Pendenza media dei versanti (o del bacino)	0.60	0.60

Confronto tra alcune caratteristiche calcolate su CTR (a lato) e dati SIBCA (in basso)

CARATTERISTICA	UNITA' DI MISURA	VALORE
Area del bacino	km <sup>2</sup>	24,08
Lunghezza asta principale	km	9,66
Quota massima del bacino	m	1899
Quota minima	m	390,76
Quota media	m	955,66
Lunghezza totale idrografia	km	72,24
Densità di drenaggio	l/km	2,9997
Coefficiente di deflusso		0,43
Tempo di corrivazione (Giandotti)	ore	1,794

L'analisi del bacino permette di osservare che i dati forniti da SIBCA (programma on line di Regione Lombardia per la valutazione delle caratteristiche morfometriche, di permeabilità ed idrauliche di alcuni bacini preindividuati) sono lievementi superiori a quelli reali per quanto riguarda le dimensioni del bacino e la lunghezza dell'asta principale come si osserva confrontando i dati SIBCA riportati schematicamente nel disegno del bacino e più diffusamente nella schermata ripresa dal Geoportale di regione Lombardia e qui di seguito riportati con l'analisi del bacino idrografico effettuata sulla cartografia al 10.000 (CTR Regione Lombardia) con la definizione corretta del bacino idrografico. Tali differenze sono minimali e non alterano i risultati se non per frazioni centesimali dei vari parametri, ininfluenti nelle elaborazioni.

Un'analisi morfometrica dettagliata del bacino in corrispondenza del ponte di Largo V. Veneto immediatamente a monte della confluenza del Vallorcio nel torrente principale è anche riportata nello studio effettuato da GEA nel 2005 precedentemente citato e ripreso parzialmente in allegato (*vedi allegato 1 pag. 64-80*).

Tra i vari parametri occorre evidenziare che la quota massima del bacino è di 1904 m s.l.m. in corrispondenza del punto più settentrionale del bacino vicino alla cima del monte Alben (2019,4 m s.l.m.), erroneamente definito "monte Alberi" sulla nuova CTR. La quota minima per il bacino relativo alla confluenza con il fiume Serio è pari a 390,76 m s.l.m. simile a quella dell'alveo ove è presso il ponte San Carlo (m 392 m s.l.m.) e anche presso il ponte di Largo V. Veneto (m 406 m s.l.m.). La superficie complessiva del bacino del torrente Vertova è di 23,923 km<sup>2</sup> (presso il ponte San Carlo di 23,887 km<sup>2</sup> e presso il ponte di Largo V. Veneto 23,719 km<sup>2</sup>). La lunghezza dell'asta torrentizia è di 10,36 Km.

## 5.2 ANALISI IDROLOGICA

Per determinare la portata di massima piena del torrente Vertova in corrispondenza della sezione di chiusura è necessario effettuare uno studio idrologico in funzione dell'effettivo tempo di corrivazione della rete di drenaggio e della curva di possibilità pluviometrica specifica per il sito di progetto.

### 5.2.1 TEMPO DI CORRIVAZIONE E COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Per un bacino di modesta dimensione come quello in esame (superfici di 23,92÷24 km<sup>2</sup>) sono in genere disponibili formule significativamente affidabili, come la classica formulazione di Giandotti

(1934) utilizzata sul territorio italiano anche se essa è generalmente valida per bacini di dimensione significativamente maggiore ( $Ab > 170 \text{ km}^2$ ). In realtà Aronica e Paltrinieri (1954) hanno apportato alcune modifiche alla formulazione di Giandotti per rendere la formula applicabile a bacini inferiori a  $10 \text{ km}^2$  modulando il coefficiente moltiplicativo della superficie in funzione del tipo di utilizzazione del suolo e della permeabilità dei terreni. Sulla base di quanto esposto in precedenza per l'utilizzo del suolo sono stati ottenuti tutti i parametri necessari da inserire nella formula di Giandotti modificata da Aronica Paltrinieri che sono riportati nella seguente tabella.

TIPOLOGIA	COEFFICIENTE DEFLUSSO C	BACINO VERTOVA VIA IV NOVEMBRE		COEFFICIENTI ARONICA PALTRINIERI	
		AREE PARZIALI		M (Aronica Paltrinieri)	d (Aronica Paltrinieri)
bosco	0.25	17.270	4.31756	0.2	1.27
prato - pascolo	0.56	4.150	2.324067	0.167	0.81
urbanizzato1/colture agrarie	0.7	0.622	0.435344	0.25	0.96
urbanizzato2 o rocce	0.95	1.878	1.783834	0.667	1.27
AREA TOTALE		23.920		<b>M</b>	<b>0.232234</b>
	COEFF. DI DEFLUSSO		0.370	<b>d</b>	<b>1.18213</b>

Il tempo di corrivazione ricavato da SIBCA è di 1,794 ore; il controllo di tale risultato con le effettive dimensioni del bacino del torrente Vertova porta ad un valore assolutamente comparabile pari a 1,847 ore per la formula di Giandotti e di 1,755 ore per la stessa formula corretta da Aronica e Paltrinieri. Il valore medio che si ottiene tra queste formulazioni è  $T_c = 1,798$  ore coincidente praticamente con il valore di SIBCA che viene di conseguenza utilizzato come valore di riferimento ( $T_c = 1,794 \text{ h}$ ).

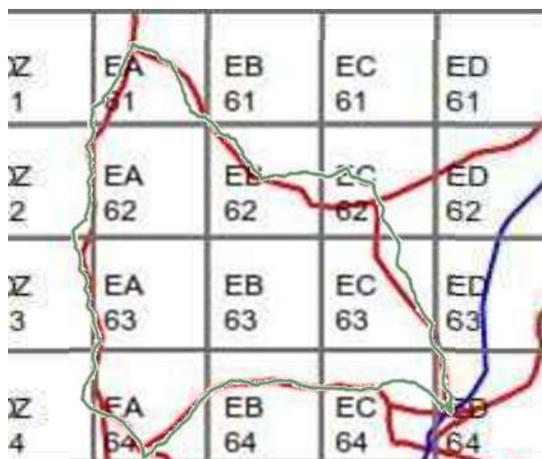
Per quanto riguarda il coefficiente di deflusso come già indicato in precedenza il valore ricavato da SIBCA per l'intero torrente è  $c = 0,432$ , ma è ritenuto più attendibile, anche in funzione delle caratteristiche vegetazionali e di permeabilità del suolo e delle rocce (queste ultime estremamente fratturate ed in parte carsificate) il valore di  $c = 0,370$  ottenuto anche da analisi di maggior dettaglio del reale utilizzo del suolo anche con cartografie tematiche di più recente valutazione e pubblicazione (PIF della valle Seriana).

## 5.2.2 VALUTAZIONE DELLE PIOGGE – CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA

I dati di pioggia con durata oraria o plurioraria sono diffusi e disponibili anche in rete; essi permettono di valutare le curve di possibilità pluviometrica con differenti tempi di ritorno. Questi dati si possono calcolare da specifici file dell'Autorità di Bacino del Po (AdBPo) contenuti nelle *Direttiva sulle Piene di Progetto da assumere per le Progettazioni e le Verifiche di Compatibilità Idraulica* o si possono ottenere dal sito ARPA di Regione Lombardia.

Per quanto riguarda l'Autorità di Bacino del Po è stata predisposta una cartografia del territorio nazionale suddivisa in aree di  $4 \text{ km}^2$  (maglia m 2000 x m 2000), ciascuna definita da un codice univoco, per la quale sono disponibili per vari periodi di tempo di ritorno (20, 100, 200, 500) i parametri "a" e "n" della curva di possibilità pluviometrica ottenuta da regionalizzazione con metodo GEV. Dal momento che il bacino del torrente Vertova con sezione di chiusura presso la foce del torrente ricopre più aree specifiche occorre effettuare una media ponderata areale per definire i parametri caratteristici dell'intero bacino, rilevando che vi è una certa approssimazione nella

delimitazione del bacino idrografico effettuato su cartografia al 25000 (AdBPo) rispetto a quella più corretta effettuata sulla CTR 10000 o sulla cartografia comunale al 5000.



Bacino del torrente Vertova contenuto in 14 celle della griglia della Direttiva AdBPo, peso di ciascuna delle celle e loro parametri

CELLA	AREA PARZIALE	PESO
DZ62	9631.59	0.00039998
DZ63	85316.76	0.00354305
EA61	1386747.70	0.05758919
EA62	3691378.60	0.15329645
EA63	3701174.60	0.15370326
EA64	2473553.18	0.10272231
EB62	2166233.67	0.08995987
EB63	4000000.00	0.16611296
EB64	1271455.51	0.05280131
EC62	512433.02	0.02128044
EC63	2823995.93	0.11727558
EC64	1696758.24	0.07046338
ED63	18580.53	0.00077162
ED64	242740.68	0.01008059
SOMMA	24080000.00	1

CELLA	a <sub>20</sub>	n <sub>20</sub>	a <sub>100</sub>	n <sub>100</sub>	a <sub>200</sub>	n <sub>200</sub>	a <sub>500</sub>	n <sub>500</sub>
DZ62	57.2	0.319	72.49	0.314	79.02	0.312	87.66	0.31
DZ63	56.87	0.31	72.17	0.304	78.71	0.302	87.36	0.299
EA61	58.55	0.331	74.21	0.326	80.91	0.325	89.76	0.323
EA62	58.47	0.321	74.2	0.316	80.93	0.314	89.82	0.312
EA63	57.85	0.311	73.48	0.306	80.17	0.304	89	0.302
EA64	56.95	0.302	72.4	0.296	79	0.294	87.73	0.292
EB62	59.63	0.322	75.8	0.318	82.71	0.316	91.83	0.315
EB63	58.58	0.313	74.48	0.308	81.28	0.307	90.26	0.305
EB64	57.44	0.305	73.06	0.299	79.74	0.297	88.55	0.295
EC62	60.09	0.324	76.45	0.32	83.45	0.319	92.68	0.318
EC63	58.79	0.316	74.79	0.311	81.64	0.31	90.67	0.308
EC64	57.56	0.307	73.23	0.302	79.94	0.301	88.77	0.299
ED63	58.32	0.319	74.2	0.315	81	0.314	89.95	0.313
ED64	57.21	0.311	72.79	0.306	79.46	0.305	88.23	0.303

CELLA	a <sub>20</sub>	n <sub>20</sub>	a <sub>100</sub>	n <sub>100</sub>	a <sub>200</sub>	n <sub>200</sub>	a <sub>500</sub>	n <sub>500</sub>
DZ62	0.022879	0.000128	0.028995	0.000126	0.031607	0.000125	0.035062	0.000124
DZ63	0.201494	0.001098	0.255702	0.001077	0.278874	0.00107	0.309521	0.001059
EA61	3.371847	0.019062	4.273694	0.018774	4.659541	0.018716	5.169206	0.018601
EA62	8.963244	0.049208	11.3746	0.048442	12.40628	0.048135	13.76909	0.047828
EA63	8.891734	0.047802	11.29412	0.047033	12.32239	0.046726	13.67959	0.046418
EA64	5.850035	0.031022	7.437095	0.030406	8.115062	0.0302	9.011828	0.029995
EB62	5.364307	0.028967	6.818958	0.028607	7.440581	0.028427	8.261015	0.028337
EB63	9.730897	0.051993	12.37209	0.051163	13.50166	0.050997	14.99336	0.050664
EB64	3.032907	0.016104	3.857664	0.015788	4.210376	0.015682	4.675556	0.015576
EC62	1.278742	0.006895	1.62689	0.00681	1.775853	0.006788	1.972271	0.006767
EC63	6.894631	0.037059	8.771041	0.036473	9.574378	0.036355	10.63338	0.036121
EC64	4.055872	0.021632	5.160033	0.02128	5.632843	0.021209	6.255034	0.021069
ED63	0.045001	0.000246	0.057254	0.000243	0.062501	0.000242	0.069407	0.000242
ED64	0.576711	0.003135	0.733766	0.003085	0.801004	0.003075	0.889411	0.003054
DATI OK	58.280	0.314	74.062	0.309	80.813	0.308	89.724	0.306

tabella delle medie pesate per ciascuna cella di 4 km<sup>2</sup> che rientra all'interno del bacino della Val Vertova con chiusura alla foce e valutazione dei parametri a e n per differenti periodi di ritorno.

I valori di  $a$  ed  $n$  da utilizzare risultano dalla somma di tutte le quote parziali dei valori riferite a ciascuna cella come evidenziato nelle tabelle precedenti. In particolare, per i tempi di ritorno usualmente utilizzati si ottengono le altezze di pioggia con tempo di ritorno centennale ( $a_{100} = 74,062$ ;  $n_{100} = 0.309$ ) per valutazioni generali e duecentennali ( $a_{200} = 80,813$ ;  $n_{200} = 0.308$ ) specifiche per i ponti.

Sul sito regionale di ARPA Lombardia (<http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml>) è disponibile un apposito servizio che permette di visualizzare e/o scaricare ed utilizzare i dati delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (periodo 1997-2011). Anche i dati che si ricavano da ARPA Lombardia al momento sono ritenuti molto affidabili; essi permettono, mediante la determinazione di alcuni parametri caratteristici definiti da un apposito studio regionale con elaborazione statistica GEV, la definizione delle curve di possibilità pluviometrica con diversi tempi di ritorno e di determinare la quantità di pioggia specifica per periodi di ritorno compresi tra 5 e 500 anni e per piogge di durata compresa tra 1 e 24 ore. Anche in questo caso, siccome il bacino idrografico ricade in numerose delle celle in cui è suddiviso il territorio lombardo (maglia delle celle =  $2,25 \text{ km}^2$ ) occorre effettuare una media ponderata come nel caso della griglia dell'AdBPO.

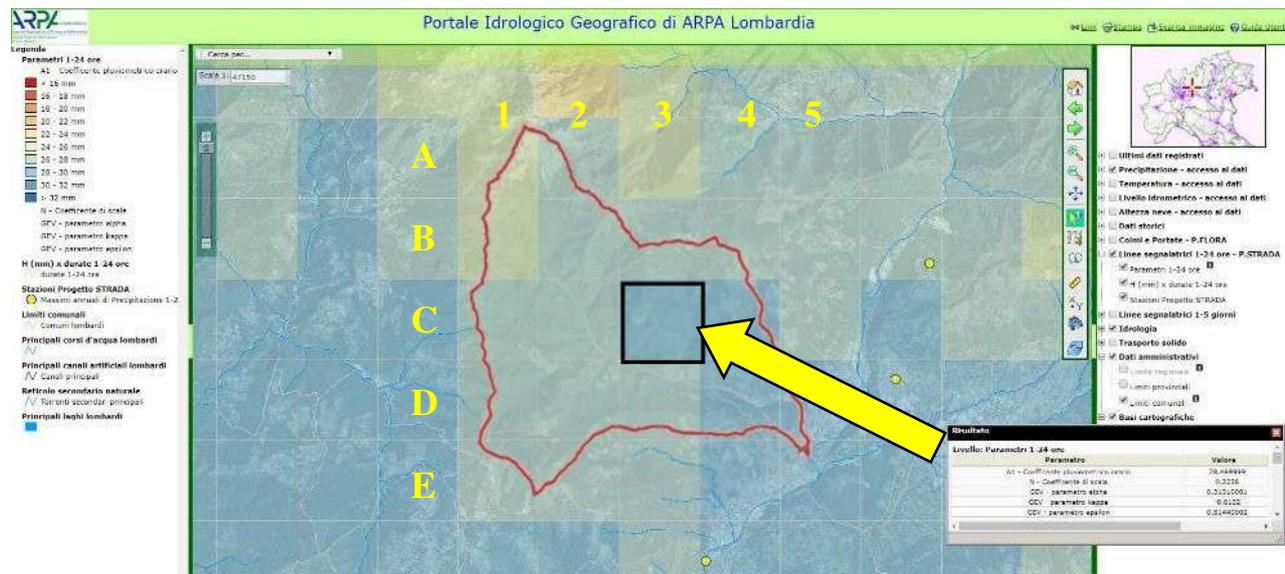
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	C5
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	25.23	26.29	24.58	25.1	27.89	26.72	26.98	27	27.51	28.47	28.22	27.75
N - Coefficiente di scala	0.3876	0.3665	0.3976	0.3912	0.337	0.3578	0.3512	0.357	0.3448	0.3238	0.3258	0.339
GEV - parametro alpha	0.3268	0.3241	0.3271	0.3283	0.3175	0.3219	0.3195	0.3231	0.3188	0.3131	0.3119	0.3137
GEV - parametro kappa	-0.0299	-0.0194	-0.0325	-0.0284	-0.0146	-0.0194	-0.0155	-0.0103	-0.0063	-0.0132	-0.0103	-0.0119
GEV - parametro epsilon	0.7997	0.805	0.7984	0.7992	0.8112	0.8066	0.8094	0.8092	0.813	0.8144	0.8157	0.8141

area parziale (m <sup>2</sup> )	791627.1	896474	0	1453482	2236696	1361537	891692.5	1621913	2250000	2250000	2220834	234440.6
area parziale (km <sup>2</sup> )	0.792	0.896	0.000	1.453	2.237	1.362	0.892	1.622	2.250	2.250	2.221	0.234

	D1	D2	D3	D4	D5	E1	E2	E3
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	27.34	26.78	27.72	28.1	28.44	27.88	26.69	27.26
N - Coefficiente di scala	0.3517	0.3606	0.3407	0.3129	0.3185	0.3427	0.364	0.3507
GEV - parametro alpha	0.322	0.3222	0.3181	0.3181	0.3091	0.3187	0.3232	0.3189
GEV - parametro kappa	-0.0049	-0.0096	-0.0092	-0.0083	-0.0047	-0.0062	-0.0076	-0.0047
GEV - parametro epsilon	0.8117	0.81	0.8126	0.8158	0.8195	0.8133	0.81	0.8134

AREA BACINO  
**23924879**  
**23.925**

BACINO VERTOVA FOCE SERIO	
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	<b>27.34</b>
N - Coefficiente di scala	<b>0.3458</b>
GEV - parametro alpha	<b>0.3191</b>
GEV - parametro kappa	<b>-0.0126</b>
GEV - parametro epsilon	<b>0.8109</b>



Mappe piovosità ARPA suddivisa in celle di  $2,25 \text{ km}^2$  con il bacino 1 e tabella dei parametri relativi a ogni cella

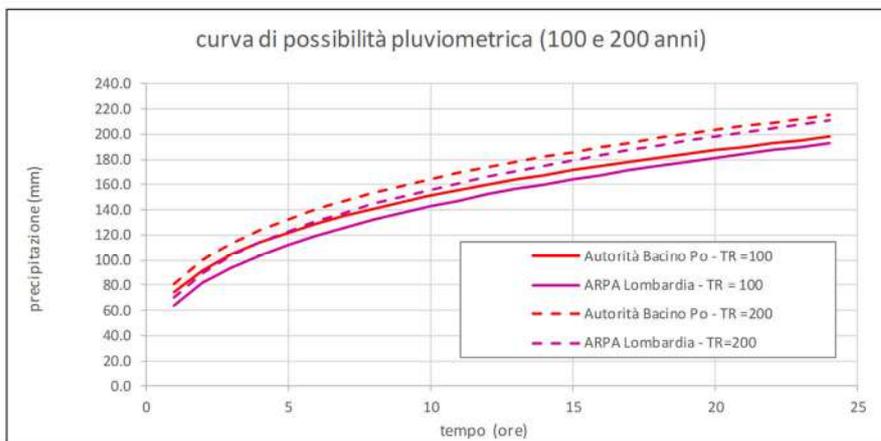
La tabella sottostante riporta i valori dei vari parametri che definiscono le curve di possibilità pluviometrica come ricavati dal sito di ARPA e da quello dell'AdBPo. Numerose verifiche effettuate per bacini più ristretti della valle Vertova a monte del centro abitato hanno mostrato che i risultati ottenuti dalle elaborazioni AdBPo sono attualmente più severi rispetto a quelli che si otterrebbero con le elaborazioni statistiche di ARPA Lombardia e ciò viene confermato anche per il bacino complessivo del torrente Vertova.

Pertanto, la curva di possibilità pluviometrica utilizzata è quella elaborata dai dati dell'AdBPo che risulta più cautelativa. Essa è descritta dalle formule:

$$h = 74,062 * t^{0.309} \text{ per } TR = 100 \text{ anni} \quad \text{e} \quad h = 80,813 * t^{0.308} \text{ per } TR = 200 \text{ anni}$$

		periodo di ritorno T								
		2	5	10	20	30	50	100	200	500
Autorità Bacino Po (1929-1989)	a	43.09	48.76	53.54	58.28	62.10	66.54	74.06	80.81	89.7
	n	0.320	0.318	0.316	0.314	0.313	0.311	0.309	0.308	0.306
ARPA LOMBARDIA (1934-2001)	a	23.26	32.47	38.65	44.63	52.44	58.36	64.30	70.36	78.56
	n	0.3458	0.3458	0.3458	0.3458	0.3458	0.3458	0.3458	0.3458	0.3458
a = A1 * w <sub>T</sub>		A1	27.34	27.34	27.34	27.34	27.34	27.34	27.34	27.34
		w <sub>T</sub>	0.8506	1.1878	1.4136	1.6322	1.9181	2.1345	2.5734	2.8733
$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left[ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right]$		α	0.3191	0.3191	0.3191	0.3191	0.3191	0.3191	0.3191	0.3191
		κ	-0.0126	-0.0126	-0.0126	-0.0126	-0.0126	-0.0126	-0.0126	-0.0126
		ε	0.8109	0.8109	0.8109	0.8109	0.8109	0.8109	0.8109	0.8109

CONFRONTO DATI T<sub>R</sub>= 100 200



ALTEZZA PRECIPITAZIONE (mm)	T <sub>R</sub> = 100
Autorità Bacino Po (1929-1989)	74.062
ARPA LOMBARDIA (1934-2001)	64.303

ALTEZZA PRECIPITAZIONE (mm)	T <sub>R</sub> = 200
Autorità Bacino Po (1929-1989)	80.813
ARPA LOMBARDIA (1934-2001)	70.360

	ARPA Lombardia	AdBPo
T <sub>R</sub>	mm	mm
2	23.26	43.09
5	32.47	48.76
10	38.65	53.54
20	44.63	58.28
30	52.44	62.10
50	58.36	66.54
100	64.30	74.06
200	70.36	80.81
500	78.56	89.72

### 5.2.3 COEFFICIENTE DI RAGGUAGLIO

Dopo aver determinato le altezze di pioggia  $h_c$  relative ad una ben determinata stazione, si deve tener conto del fatto che esse, ricavate per il punto in cui è collocato il pluviografo, non possono essere ritenute valide anche per aree di dimensioni non piccole attorno al pluviografo stesso. Infatti, poiché per la costruzione delle curve di possibilità climatica si parte dai valori estremi, è probabile che per gli eventi selezionati il centro di scroscio coincida con la posizione dello strumento e che invece, per gli stessi eventi, la precipitazione media su un'area finita attorno al pluviografo sia minore.

$$\begin{aligned} \text{ARF} &= 1 - f_1 t^{-f_2} \\ f_1 &= 0.0394 A^{0.354} \\ f_2 &= 0.40 - 0.0208 \ln(4.6 - \ln A) && \text{per } A < 20 \text{ Km}^2 \\ f_2 &= 0.40 - 0.03832 (4.6 - \ln A)^2 && \text{per } 20 < A < 100 \text{ Km}^2 \\ &&& \text{con } t \text{ espresso in ore e } A \text{ espresso in Km}^2. \end{aligned}$$

Per tener conto di ciò si applica un “coefficiente di ragguaglio”, che consente appunto di estendere all'area di interesse le informazioni ricavate per la stazione pluviografica considerata. Ad esempio, con la “procedura Wallingford” il coefficiente di ragguaglio (ARF) in funzione dei parametri areali per il bacino del Vertova alla confluenza con il fiume Serio è  $\text{ARF} = 0,881$ .

### 5.2.4 IETOGRAMMA

I parametri sinora definiti, curva di possibilità climatica, coefficiente di deflusso e coefficiente di ragguaglio confluiscono nella definizione dello ietogramma, grafico che rappresenta la distribuzione della pioggia nell'arco temporale significativo di un evento piovoso. Qualora fossero a disposizione dati pluviometrici con registrazione continua ed acquisizione di dati in ristretti periodi di tempo si potrebbe definire quale sia la distribuzione nel tempo dell'evento piovoso definendone le caratteristiche, anche se oltre alla variabile tempo occorre prendere in considerazione la distribuzione areale che solo marginalmente viene tenuta in conto attraverso il coefficiente di ragguaglio. Questo tipo di studio potrà forse essere realizzato in futuro grazie al pluviografo recentemente installato presso la soglia sul torrente Vertova un centinaio di metri a valle di Lacnè.

Attualmente occorre fare invece riferimento a ietogrammi sintetici o di progetto che riescono a riprodurre, con il tempo di ritorno assegnato, solo alcune o solo una delle caratteristiche degli ietogrammi osservati (intensità media, intensità del picco, altezza di pioggia totale, etc.).

Lo ietogramma più semplice è quello ad intensità costante nel tempo di corrivazione, ietogramma usualmente utilizzato vista la sua semplice formulazione, ma esso viene reso fruibile nei criteri dell'allegato 4 della dgr 2616/2011 solo nel caso di valutazione della portata con il metodo razionale che non è invece utilizzabile nel caso specifico dal momento che le verifiche idrauliche devono essere condotte attraverso la definizione di un'onda di piena più complessa.

Qui viene utilizzato lo ietogramma Chicago, conforme ai criteri prima indicati, che rappresenta meglio alcune caratteristiche degli ietogrammi osservati, come la presenza del picco di intensità, le precipitazioni antecedenti e seguenti l'istante del picco e i volumi totali. Si tratta infatti di uno ietogramma ad intensità variabile in cui la massima altezza di precipitazione cumulata su qualsiasi durata è sempre pari all'altezza di precipitazione dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica per la medesima durata (di conseguenza è altamente conservativo dal momento che non avviene mai una tale precipitazione in natura). Il picco di intensità può essere posizionato arbitrariamente, ma nella pratica idrologica frequentemente viene fatto coincidere ad un valore compreso  $0,35 T_c$  o a  $0,5 T_c$ .

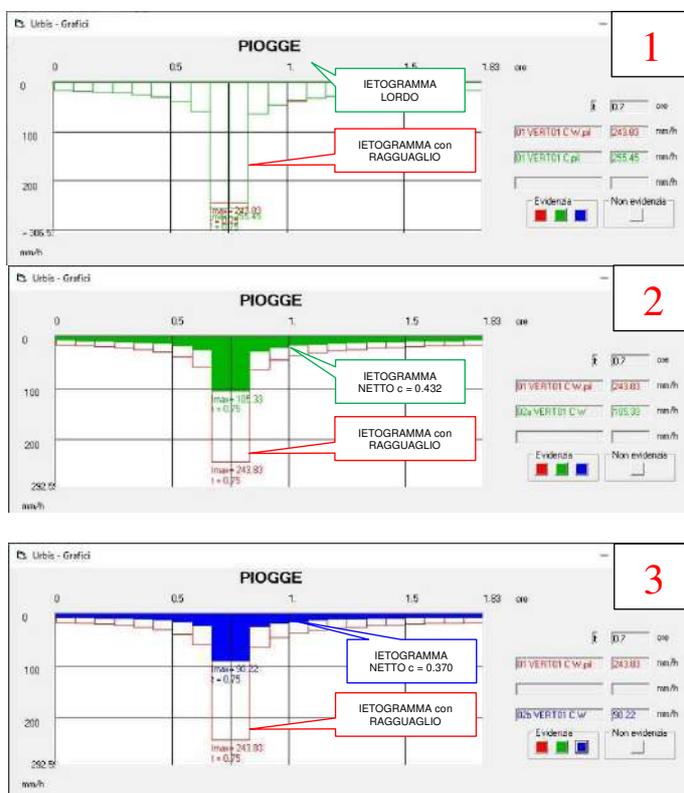
Per la costruzione di tale ietogramma ci si è avvalsi del programma URBISPRO del Centro Studi Idraulica Urbana che permette l'analisi e la modellazione dell'evento di pioggia e del successivo idrogramma di piena attraverso differenti possibilità di elaborazione. Il picco dello ietogramma viene posto a 0,4 Tc. Il programma permette innanzitutto la definizione dello ietogramma lordo in funzione dei parametri a e n della curva di possibilità pluviometrica e successivamente la depurazione da tale ietogramma del coefficiente di ragguaglio prima e del coefficiente di deflusso (pioggia netta) successivamente. Come detto in precedenza vengono tenuti in considerazione entrambe i coefficienti di deflusso, quello della procedura SIBCA ( $c = 0,432$ ) e quello ottenuto dalla valutazione più dettagliata di questo studio ( $c = 0,370$ ). Si ottengono in corrispondenza del picco (pi 0,4 Tc) valori massimi di 90,22 mm/h nel caso del coefficiente di deflusso più accreditato con un volume complessivo di pioggia pari a 32,42 mm pari a circa un terzo di quella lorda.

IETOGRAMMA DI PIOGGIA MODELLO CHICAGO

parametri temporali		
Tempo corrvazione	Tc	108 minuti
Intervallo grafico	$\Delta T$	5 minuti
Passi di calcolo	n $\Delta T$	22

	PIOGGIA LORDA	PIOGGIA CON RAGGUAGLIO WALLINGFORD	PIOGGIA NETTA $\Phi = 0.432$	PIOGGIA NETTA $\Phi = 0.370$
tempo (minuti)	pioggia (mm/h)	pioggia (mm/h)	pioggia (mm/h)	pioggia (mm/h)
0	0	0	0	0
5	15.69	15.74	6.80	5.82
10	17.14	17.21	7.43	6.37
15	18.99	19.06	8.23	7.05
20	21.41	21.49	9.28	7.95
25	24.76	24.86	10.74	9.20
30	29.78	29.92	12.93	11.07
35	38.41	38.62	16.68	14.29
40	58.19	58.59	25.31	21.68
45	255.45	243.83	105.33	90.22
50	255.45	243.83	105.33	90.22
55	63.14	63.59	27.47	23.53
60	45.38	45.65	19.72	16.89
65	36.38	36.57	15.80	13.53
70	30.80	30.95	13.37	11.45
75	26.93	27.06	11.69	10.01
80	24.08	24.18	10.45	8.95
85	21.87	21.95	9.48	8.12
90	20.09	20.17	8.71	7.46
95	18.64	18.70	8.08	6.92
100	17.41	17.47	7.55	6.47
105	16.37	16.43	7.10	6.08
110	15.47	15.52	6.70	5.74
VOLUME (mm)	89.32	87.62	37.85	32.42

PICCO MASSIMO



Ietogramma Chicago con tabella dati e grafici (da URBISPRO – CSDU ®)

- 1) Ietogramma netto e depurato con procedura Wallingford
- 2) Ietogramma lordo coeff. deflusso 0.432
- 3) Ietogramma lordo coeff. deflusso 0.370

#### 5.2.4 IDROGRAMMA DI PIENA

La valutazione della portata al colmo e dell'andamento dell'onda di piena dovrebbe essere effettuata attraverso l'analisi di eventi effettivamente verificatisi e di registrazioni relative alla portata o a qualche parametro che permetta di determinare la portata in una specifica sezione all'interno del bacino idrologico oggetto di studio.

Quando il bacino idrografico è privo di misure di portata o dove queste siano insufficienti per una stima diretta con metodi statistici della distribuzione di probabilità della portata al colmo, la portata deve essere valutata e stimata indirettamente a partire dalle informazioni pluviometriche, di più semplice reperibilità come indicato in precedenza. Nel nostro caso, come detto in precedenza, è stato recentemente installato un misuratore di portata, o meglio un misuratore del livello in una sezione ben definita, ma il periodo di registrazione è troppo breve per avere una significatività statistica, ma può essere utile per valutare le caratteristiche dell'onda di piena e valutare quale dei modelli di trasformazione afflussi deflussi può essere ritenuto più corretto.

I metodi per valutare la portata di piena si suddividono in due grandi settori: quelli per la determinazione della portata massima al colmo e quelli per la determinazione dell'onda di piena. Questi ultimi metodi valutano anche la portata massima, ma definiscono in ogni istante l'andamento della portata nel tempo (non solo al picco) permettendo la determinazione del volume di acqua che caratterizza l'onda di piena e di come questo possa interessare aree di esondazione.

Operando la stima della portata a partire dalla precipitazione, viene ritenuta implicitamente valida l'ipotesi che la frequenza di accadimento degli eventi meteorici estremi caratterizza direttamente quella della portata al colmo (in questo caso il tempo di ritorno è centennale,  $TR = 100$  anni); questa ipotesi, anche se semplificativa e discutibile, si può applicare in modo sufficientemente corretto a bacini montani di piccole dimensioni simili a quello in esame.

La trattazione delle varie formule e delle varie metodologie è descritta ampiamente nello studio realizzato per la sistemazione della confluenza Vallorcio – Vertova presso Largo V. Veneto (*Nuovo Modulo s.r.l. – STUDIO GEOLOGICO E IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE – STUDIO GEA, 2005*) ripresa anche nell'allegato 1 (pag. 107-116) a cui si rimanda.

In questa sede occorre puntualizzare solo alcuni aspetti riguardanti i risultati ottenuti in quello studio ed utilizzati solo come valori di portata massima per le successive verifiche idrauliche li riportate:

- a) le portate calcolate nello studio citato fanno riferimento a una curva di possibilità pluviometrica molto simile a quella qui utilizzata, come anche al coefficiente di ragguaglio; di conseguenza per questi aspetti gli studi sono comparabili;
- b) il coefficiente di deflusso nello studio citato è estremamente conservativo ( $c = 0,6$ ) per cui laddove le formule utilizzate comportino l'utilizzo del coefficiente di deflusso queste sono anche ricalcolate per confrontarle con quelle calcolate nello studio oggetto di questa relazione in cui il coefficiente di deflusso è nettamente inferiore ( $c = 0,432$  – SIBCA o  $c = 0,370$  studio di dettaglio sulla base delle caratteristiche di uso del suolo);

Per quanto riguarda invece i modelli di trasformazione afflussi deflussi che determinano l'utilizzo dell'onda di piena si è qui fatto riferimento unicamente ai modelli parametrici lineari (metodo dell'invaso lineare, metodo di Nash e metodo cinematico lineare) che simulano il comportamento del bacino idrografico come un insieme di canali e di serbatoi in cui sono definite alcune caratteristiche principali:

- 1) la proporzionalità tra ingresso e uscita attraverso un'integrale di convoluzione variabile in funzione del modello;
- 2) la definizione di un idrogramma di piena istantaneo (IUH – Istantaneous Unit Hydrograph) la cui forma dipende dal modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato.

Il *metodo dell'invaso lineare* si fonda sull'ipotesi che durante la piena in tutti i canali costituenti la rete idrografica del bacino la superficie libera della corrente trasli parallelamente ad essa (funzionamento sincrono). La formazione della piena avviene quindi per fenomeni di invaso simili a quelli che hanno luogo in un serbatoio soggetto ad afflussi variabili nel tempo ed a deflussi dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della bocca di uscita.

Il suo I.U.H. è così rappresentato:  $u(t) = \frac{1}{k} \cdot e^{-t/k}$

dove k è un parametro che rappresenta le caratteristiche del bacino che secondo il modello URBIS ((Paoletti e Mignosa, 1986) utilizzato anche all'interno del software URBISPRO viene stimato come percentuale del tempo di corrivazione:  $k = 0,7 * T_C$ .

Il *metodo di Nash* modella il comportamento del bacino mediante n serbatoi posti in serie caratterizzati dalla medesima costante temporale k (analoga a quella del modello dell'invaso lineare) e nessun canale.

Il suo I.U.H. è così rappresentato:  $u(t) = \frac{1}{k \cdot \Gamma(n)} \cdot \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-t/k}$

per la quale si dimostra che il picco della funzione è in corrispondenza del tempo  $t_p = k * (n-1)$  con  $t_p$  approssimativamente pari a  $0,5 T_C$ . Il valore di n assume generalmente valori bassi ( $1 < n < 6$ ) e mediamente pari a 3 ( $n = (t_p/k) + 1 = (0,5 * T_C/k) + 1$  e nel caso specifico 0,286 arrotondato a 3).

Il *metodo cinematico* (o della corrivazione) si basa sul tempo di percorrenza e suddivide il bacino in luoghi dei punti ove si ha il medesimo tempo di percorrenza per raggiungere la chiusura del bacino stesso (curve isocorrive). Il massimo tempo di percorrenza viene definito tempo di corrivazione ( $T_C$ ) o di concentrazione. Viene determinata così una curva cumulata tempi-aree dalla quale è possibile calcolare per sovrapposizione degli effetti la funzione di convoluzione per ottenere l'onda di piena. Utilizzando una curva tempi-aree lineare il suo IUH è così rappresentato:  $IUH = 1/T_C$ .

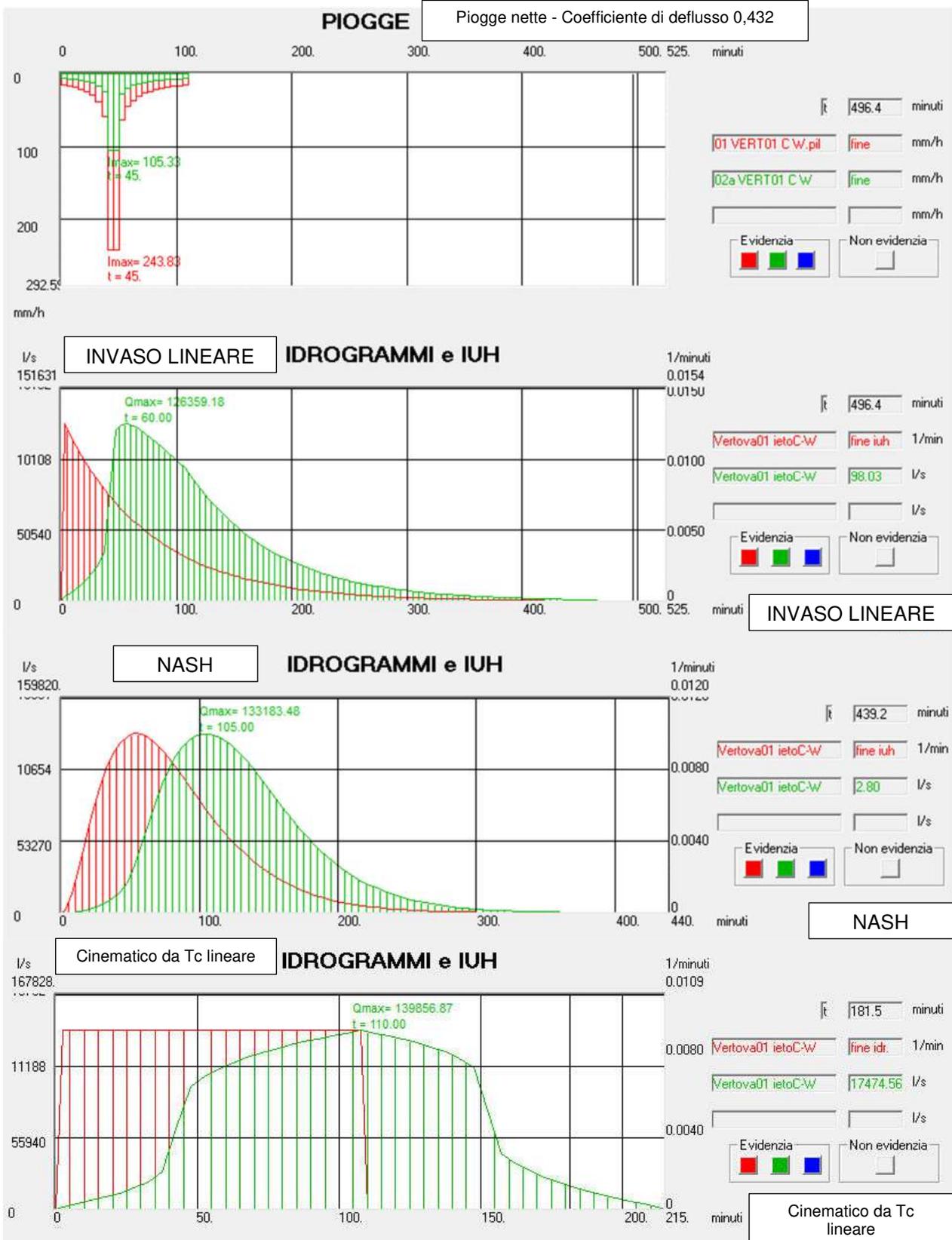
Per tutte le metodologie illustrate è stato utilizzato il programma URBISPRO per ottenere gli idrogrammi di piena in relazione agli ietogrammi Chicago definiti in funzione dei due differenti coefficienti di deflusso. Qui di seguito si riportano i grafici ottenuti per la rappresentazione con coefficiente di deflusso 0,432 per quanto riguarda i grafici di URBISPRO e i valori tabellari con i grafici in tabelle di Excel più semplici da confrontare.

I valori di massima piena ottenuti nelle varie elaborazioni sono i seguenti, congruenti con i valori dello studio effettuato da GEA nel 2005 ed in cui si osserva che con coefficiente di deflusso  $c = 0,370$  la formula di Paoletti ottenuta dall'analisi di più bacini nel territorio di Bergamo all'interno dello studio del PTCP del 2004 sia adeguata e corretta. Per le successive elaborazioni e verifiche vengono utilizzati i metodi di Nash e dell'invaso lineare con le onde di piena ottenute da questo studio.

VALUTAZIONI DIRETTE DA URBIS PRO questo studio			
	SERBATOIO LINEARE	NASH	Cinematico da $T_C$ lineare
	mc/s	mc/s	mc/s
coeff, di deflusso 0,370	108.22	114.07	119.78
coeff, di deflusso 0,432	126.36	136.18	139.86

Valori di portata massima per il bacino del torrente Vertova confrontati con quelli dello studio GEA (2005)

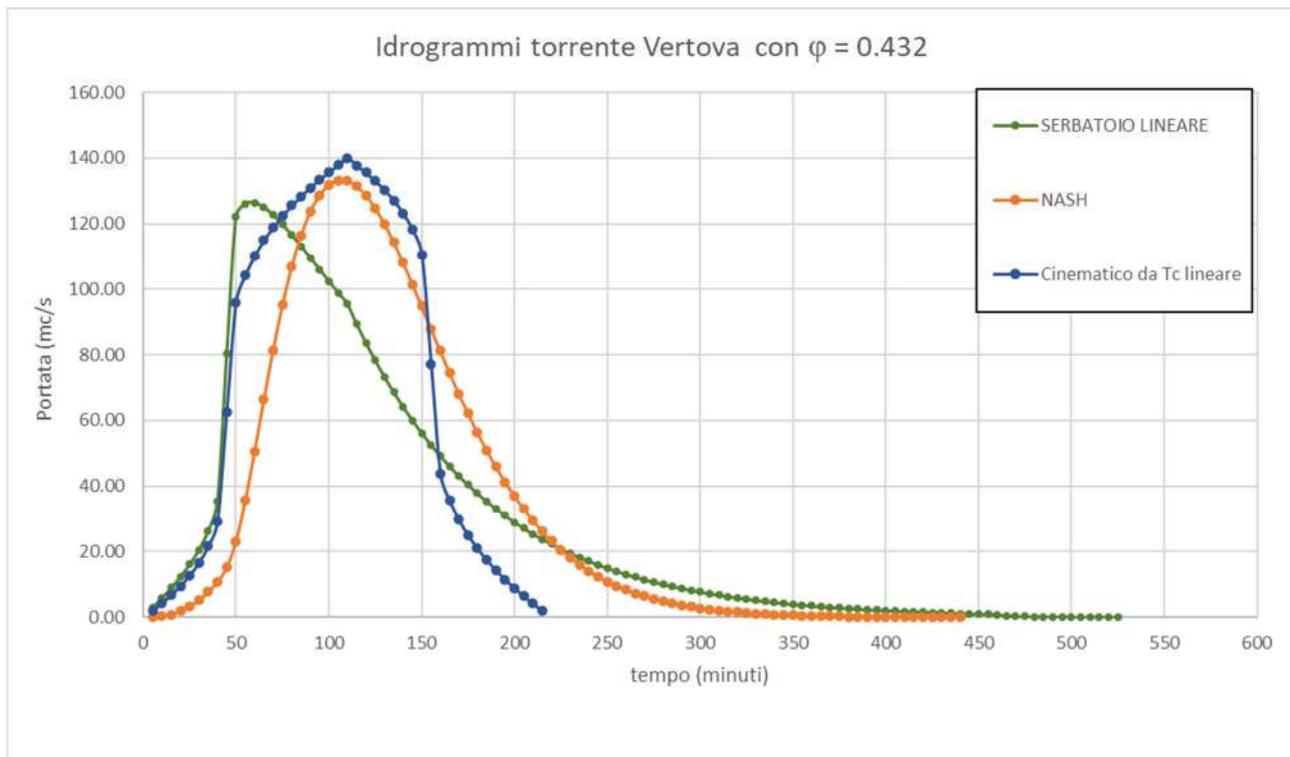
VALUTAZIONI STUDIO GEA 2005 corrette per i nuovi valori di c				
	SERBATOIO LINEARE	NASH	Cinematico da $T_C$ lineare	Paoletti
	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s
coeff, di deflusso 0,370	109.27	114.39	121.45	106.31
coeff, di deflusso 0,432	127.58	133.56	141.80	106.31
coeff, di deflusso 0,6	177.20	185.50	196.95	106.31



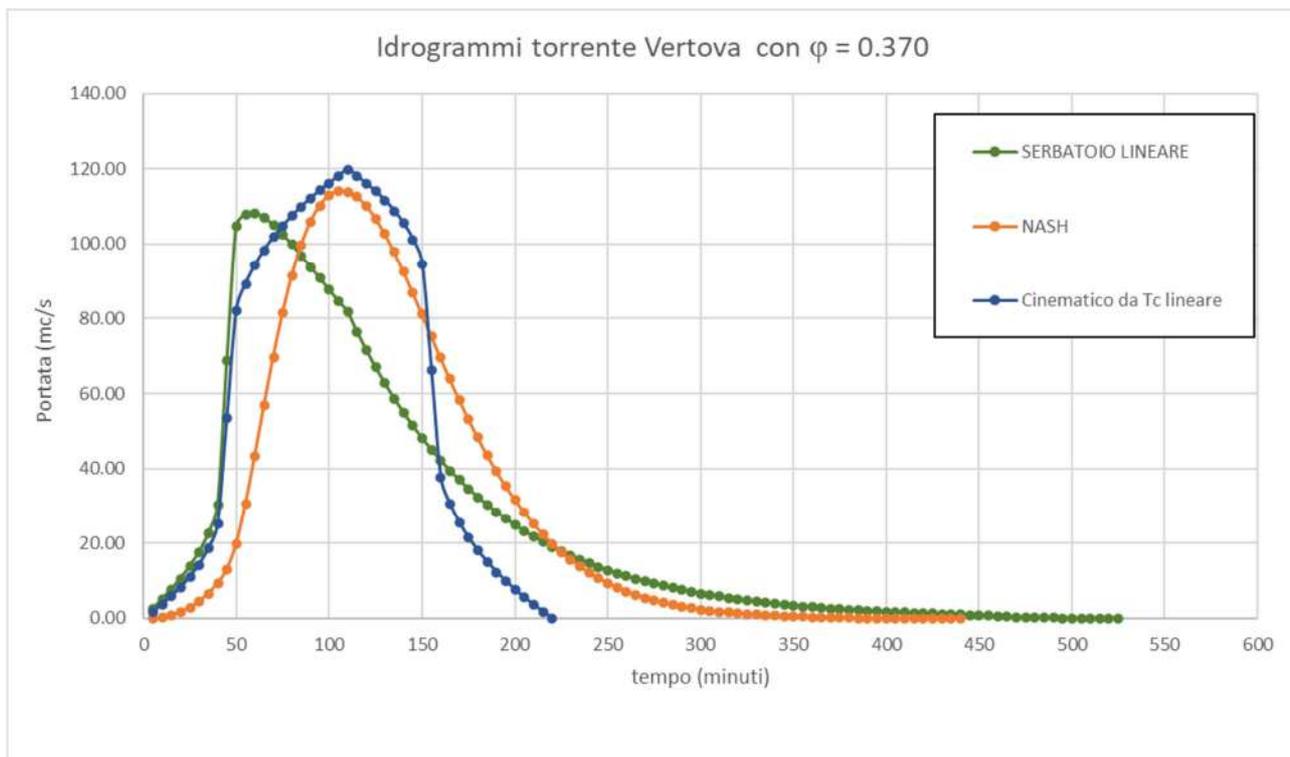
*Ietogramma (Chicago) e idrogrammi di piena (Invaso lineare, Nash e Cinematico) valutati con URBISPRO (® CSDU) per coefficiente di deflusso pari a 0,432*

VALUTAZIONI DIRETTE DA URBIS PRO								
Ietogramma Chicago coefficiente di deflusso c = 0,432								
	SERBATOIO LINEARE	NASH	Cinematico da Tc lineare			SERBATOIO LINEARE	NASH	Cinematico da Tc lineare
durata	525 min	440 min	215 min		durata	525 min	440 min	215 min
minuti	mc/s	mc/s	mc/s		minuti	mc/s	mc/s	mc/s
5	2.89	0.03	2.05		270	11.50	6.40	
10	5.87	0.28	4.28		275	10.76	5.58	
15	9.00	0.87	6.76		280	10.07	4.86	
20	12.37	1.87	9.56		285	9.43	4.23	
25	16.14	3.33	12.79		290	8.82	3.68	
30	20.60	5.26	16.67		295	8.26	3.20	
35	26.37	7.73	21.68		300	7.73	2.77	
40	35.41	10.83	29.28		305	7.24	2.40	
45	80.26	15.20	62.61		310	6.77	2.08	
50	122.24	23.16	95.94		315	6.34	1.80	
55	126.06	35.59	104.18		320	5.93	1.56	
60	126.36	50.60	110.10		325	5.55	1.35	
65	124.98	66.33	114.85		330	5.20	1.16	
70	122.66	81.46	118.87		335	4.87	1.00	
75	119.78	95.14	122.38		340	4.55	0.86	
80	116.56	106.85	125.52		345	4.26	0.74	
85	113.13	116.36	128.38		350	3.99	0.64	
90	109.60	123.62	131.00		355	3.73	0.54	
95	106.02	128.73	133.43		360	3.50	0.46	
100	102.44	131.84	135.70		365	3.27	0.39	
105	98.91	133.18	137.84		370	3.06	0.33	
110	95.43	132.99	139.86		375	2.87	0.28	
115	89.32	131.46	137.81		380	2.68	0.20	
120	83.61	128.68	135.57		385	2.51	0.13	
125	78.26	124.77	133.10		390	2.35	0.10	
130	73.25	119.90	130.30		395	2.20	0.08	
135	68.56	114.28	127.07		400	2.06	0.06	
140	64.17	108.09	123.18		405	1.93	0.05	
145	60.07	101.54	118.17		410	1.80	0.04	
150	56.22	94.78	110.58		415	1.69	0.03	
155	52.62	87.96	77.25		420	1.58	0.02	
160	49.26	81.20	43.92		425	1.47	0.02	
165	46.10	74.59	35.68		430	1.36	0.01	
170	43.15	68.21	29.76		435	1.26	0.01	
175	40.39	62.13	25.01		440	1.17	0.00	
180	37.81	56.37	20.99		445	1.07		
185	35.39	50.96	17.47		450	0.98		
190	33.12	45.93	14.33		455	0.89		
195	31.00	41.26	11.48		460	0.79		
200	29.02	36.97	8.86		465	0.56		
205	27.16	33.03	6.43		470	0.34		
210	25.42	29.44	4.15		475	0.28		
215	23.80	26.19	2.02		480	0.23		
220	22.27	23.24			485	0.19		
225	20.85	20.58			490	0.15		
230	19.51	18.19			495	0.12		
235	18.26	16.05			500	0.10		
240	17.10	14.13			505	0.08		
245	16.00	12.43			510	0.06		
250	14.98	10.91			515	0.04		
255	14.02	9.57			520	0.03		
260	13.12	8.38			525	0.01		
265	12.28	7.33						

Tabulati idrogrammi di piena (Invaso lineare, Nash e Cinematico) valutati con URBISPRO (CSDU®) per coefficiente di deflusso pari a 0,432



Idrogrammi di piena (Invaso lineare, Nash e Cinematico) per coefficiente di deflusso pari a 0,432



Idrogrammi di piena (Invaso lineare, Nash e Cinematico) per coefficiente di deflusso pari a 0,370

VALUTAZIONI DIRETTE DA URBIS PRO								
Ietogramma Chicago coefficiente di deflusso c = 0,370								
	SERBATOIO LINEARE	NASH	Cinematico da Tc lineare			SERBATOIO LINEARE	NASH	Cinematico da Tc lineare
durata	525 min	440 min	215 min		durata	525 min	440 min	215 min
minuti	mc/s	mc/s	mc/s		minuti	mc/s	mc/s	mc/s
5	2.48	0.03	1.75		270	9.85	5.48	
10	5.03	0.24	3.67		275	9.22	4.78	
15	7.71	0.74	5.79		280	8.63	4.16	
20	10.59	1.60	8.18		285	8.07	3.62	
25	13.83	2.85	10.95		290	7.56	3.15	
30	17.65	4.51	14.28		295	7.07	2.74	
35	22.58	6.62	18.57		300	6.62	2.38	
40	30.33	9.28	25.08		305	6.20	2.06	
45	68.74	13.02	53.62		310	5.80	1.78	
50	104.69	19.83	82.17		315	5.43	1.54	
55	107.97	30.48	89.23		320	5.08	1.34	
60	108.22	43.33	94.30		325	4.76	1.15	
65	107.05	56.81	98.37		330	4.45	1.00	
70	105.06	69.77	101.81		335	4.17	0.86	
75	102.59	81.48	104.82		340	3.90	0.74	
80	99.83	91.51	107.51		345	3.65	0.63	
85	96.89	99.66	109.95		350	3.42	0.54	
90	93.87	105.88	112.20		355	3.20	0.47	
95	90.80	110.25	114.28		360	2.99	0.40	
100	87.74	112.92	116.23		365	2.80	0.34	
105	84.71	114.07	118.06		370	2.62	0.28	
110	81.73	113.90	119.78		375	2.46	0.24	
115	76.50	112.59	118.03		380	2.30	0.17	
120	71.61	110.21	116.12		385	2.15	0.11	
125	67.02	106.86	113.99		390	2.01	0.09	
130	62.74	102.69	111.60		395	1.88	0.07	
135	58.72	97.88	108.83		400	1.76	0.05	
140	54.96	92.58	105.51		405	1.65	0.04	
145	51.44	86.97	101.21		410	1.55	0.03	
150	48.15	81.18	94.71		415	1.45	0.03	
155	45.07	75.33	66.16		420	1.35	0.02	
160	42.19	69.54	37.61		425	1.26	0.01	
165	39.49	63.88	30.56		430	1.17	0.01	
170	36.96	58.42	25.48		435	1.08	0.01	
175	34.59	53.21	21.42		440	1.00	0.00	
180	32.38	48.28	17.98		445	0.92		
185	30.31	43.65	14.97		450	0.84		
190	28.37	39.34	12.28		455	0.76		
195	26.55	35.34	9.83		460	0.68		
200	24.85	31.66	7.59		465	0.48		
205	23.26	28.29	5.50		470	0.29		
210	21.77	25.22	3.56		475	0.24		
215	20.38	22.43	1.73		480	0.19		
220	19.08	19.90	0.00		485	0.16		
225	17.86	17.62			490	0.13		
230	16.71	15.58			495	0.11		
235	15.64	13.74			500	0.08		
240	14.64	12.11			505	0.07		
245	13.70	10.65			510	0.05		
250	12.83	9.35			515	0.03		
255	12.01	8.20			520	0.02		
260	11.24	7.18			525	0.01		
265	10.52	6.27						

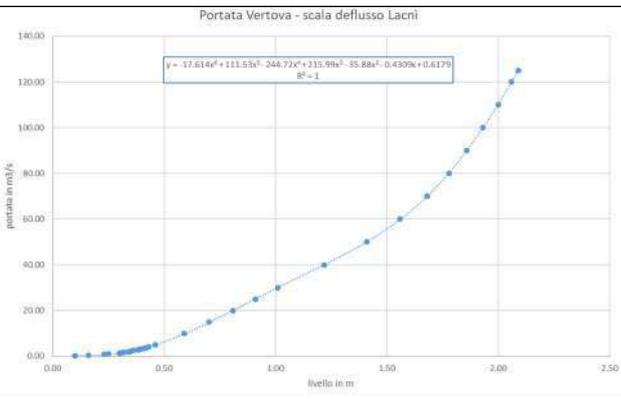
Tabulati idrogrammi di piena (Invaso lineare, Nash e Cinematico) valutati con URBISPRO (CSDU®) per coefficiente di deflusso pari a 0,370

La presenza del misuratore di portata installato presso la soglia una cinquantina di metri a valle della confluenza tra il torrente Lacnè e il torrente Vertova da metà settembre 2021 permette di valutare alcuni eventi di piena anche se di portata estremamente ridotta a causa della scarsità di piogge verificatasi nel corso dell'ultimo anno tenendo conto che le registrazioni per ora forniscono la portata come altezza della colonna d'acqua sulla soglia anche se la scala di deflusso è stata già calibrata.



River station	Q Total m3/s	Min.Ch.El m	W.S. El m	Crit. W.S. m	E.G. Elev m	E.G. Slope m/m	Vel. Chnl m/s	Flow Area m2	Top Width m	Froude # Chl	H relativa m
2	0.25	467.91	468.01	468.01	468.06	0.06	0.97	0.26	2.71	1.01	0.10
2	0.50	467.91	468.07	468.07	468.14	0.05	1.20	0.42	2.84	1.00	0.16
2	0.75	467.91	468.14	468.14	468.20	0.05	1.06	0.71	6.24	1.00	0.23
2	1.00	467.91	468.16	468.16	468.24	0.05	1.19	0.84	6.28	1.04	0.25
2	1.25	467.91	468.21	468.21	468.26	0.05	1.07	1.17	9.60	0.98	0.30
2	1.50	467.91	468.22	468.22	468.29	0.05	1.17	1.28	9.62	1.03	0.31
2	1.75	467.91	468.23	468.23	468.31	0.05	1.23	1.42	9.64	1.03	0.32
2	2.00	467.91	468.25	468.25	468.33	0.05	1.28	1.56	9.67	1.02	0.34
2	2.25	467.91	468.26	468.26	468.35	0.05	1.33	1.69	9.69	1.02	0.35
2	2.50	467.91	468.27	468.27	468.37	0.05	1.38	1.81	9.71	1.02	0.36
2	2.75	467.91	468.29	468.29	468.39	0.05	1.43	1.93	9.73	1.02	0.38
2	3.00	467.91	468.30	468.30	468.41	0.04	1.46	2.05	9.75	1.02	0.39
2	3.25	467.91	468.31	468.31	468.42	0.04	1.50	2.17	9.77	1.02	0.40
2	3.50	467.91	468.32	468.32	468.44	0.04	1.54	2.28	9.79	1.02	0.41
2	3.75	467.91	468.33	468.33	468.46	0.04	1.57	2.39	9.81	1.02	0.42
2	4.00	467.91	468.34	468.34	468.47	0.04	1.60	2.49	9.83	1.02	0.43
2	5.00	467.91	468.37	468.39	468.54	0.05	1.82	2.75	9.87	1.10	0.46
2	10.00	467.91	468.50	468.56	468.81	0.06	2.49	4.01	10.08	1.26	0.59
2	15.00	467.91	468.61	468.71	469.04	0.06	2.89	5.20	10.27	1.30	0.70
2	20.00	467.91	468.72	468.84	469.23	0.05	3.17	6.31	10.45	1.30	0.81
2	25.00	467.91	468.82	468.96	469.41	0.05	3.42	7.32	10.61	1.31	0.91
2	30.00	467.91	468.92	469.09	469.57	0.05	3.58	8.39	10.78	1.29	1.01
2	40.00	467.91	469.13	469.36	469.82	0.04	3.70	10.92	14.24	1.25	1.22
2	50.00	467.91	469.32	469.55	470.00	0.04	3.70	14.25	21.50	1.19	1.41
2	60.00	467.91	469.47	469.66	470.14	0.03	3.70	18.02	27.27	1.11	1.58
2	70.00	467.91	469.59	469.79	470.25	0.03	3.76	21.34	29.97	1.08	1.68
2	80.00	467.91	469.69	469.87	470.36	0.03	3.84	24.37	31.87	1.06	1.78
2	90.00	467.91	469.77	469.94	470.46	0.03	3.93	27.06	33.17	1.06	1.86
2	100.00	467.91	469.84	470.01	470.56	0.03	4.03	29.44	33.51	1.06	1.93
2	110.00	467.91	469.91	470.09	470.65	0.03	4.12	31.69	33.83	1.06	2.00
2	120.00	467.91	469.97	470.15	470.73	0.03	4.21	33.83	34.12	1.07	2.06
2	125.00	467.91	470.00	470.19	470.78	0.03	4.25	34.88	34.27	1.07	2.09

Installazione strumentazione misura di livello/portata presso soglia a valle di Lacnè (2021.09.03) e scala di deflusso calcolata dall'ing. E. Zucchelli



Il grafico nella pagina seguente riporta i dati del periodo di attuale funzionamento ed evidenzia la scarsità delle piogge e di conseguenza la limitatezza delle portate con un lieve incremento nel periodo primaverile per lo scioglimento delle scarse nevicate. Solo all'inizio di ottobre e di novembre 2021 si sono avuti due eventi piovosi che hanno determinato un modesto innalzamento della portata anche se limitato a cm 44,6 (7 ottobre 2021) pari a 4,59 mc/s e a 32,4 (4 novembre 2021) pari a 1,75 mc/s; l'evento di fine aprile 2021 identifica invece una pioggia temporalesca più impulsiva rispetto a quelle autunnali con livello a cm 23,6 (26 aprile 2022) pari a 0,78 mc/s.

I grafici della portata in questi periodi evidenziano che sia nel caso di pioggia più prolungata, sia nel caso di pioggia intensa e rapida l'idrogramma determinato con il metodo di Nash risulta il più attendibile; in particolare per l'onda di piena registrata dopo l'evento temporalesco di aprile 2022 il tempi di ritardo tra la pioggia e il picco dell'onda di piena (registrato a Lacnè) sono superiori a 1,5 ore simile a quello dell'idrogramma di Nash, mentre quello dell'invaso lineare è inferiore all'ora; occorrerà in ogni caso valutare con una maggior quantità di dati l'effettivo andamento delle portate, tenendo comunque presente che l'idrogramma cinematico non è in ogni modo rappresentativo.

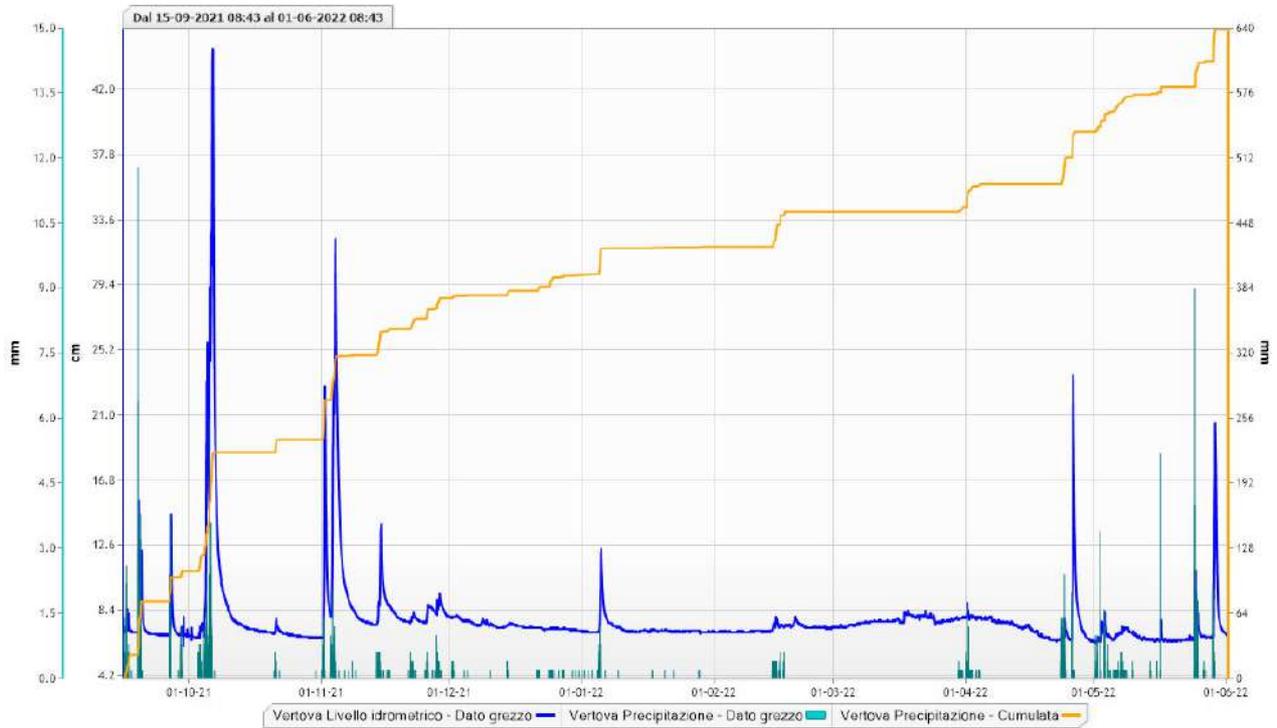
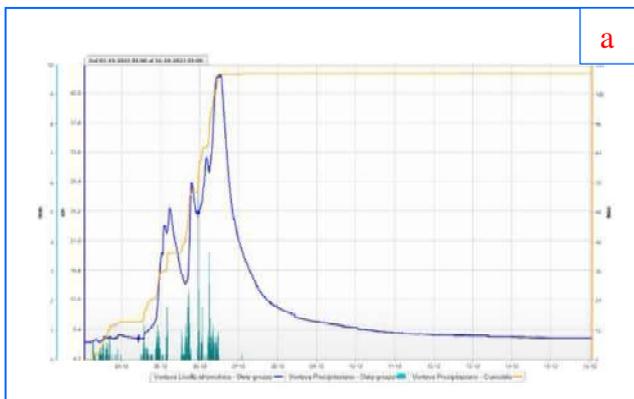
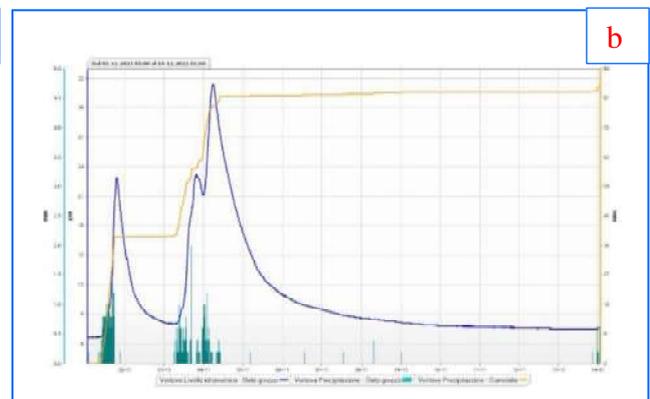


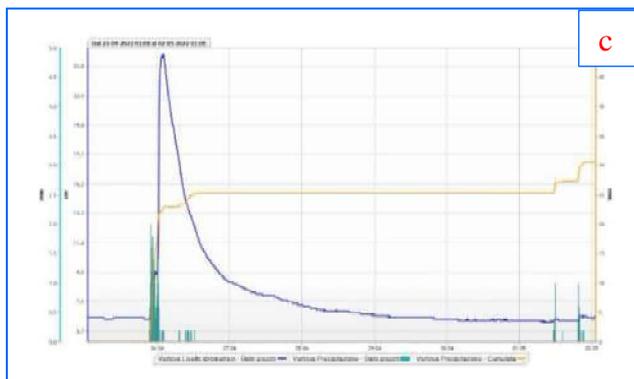
Diagramma pioggia – pioggia cumulata e livello idrometrico soglia (portata) del misuratore del torrente Vertova tra settembre 2021 e fine maggio 2022.



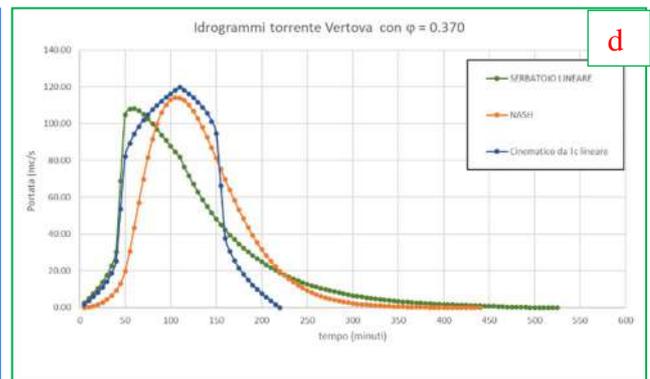
a



b



c



d

Confronto curve di portata reali del misuratore del torrente Vertova (a ottobre 2021, b) novembre 2021, c) fine aprile 2022) e degli idrogrammi di piena calcolati nel presente studio (d)

## 6. VERIFICHE IDRAULICHE CENTRO STORICO

(con la collaborazione dell'ing. E. Zucchelli di SAI PROGETTI)

### 6.1 PROGRAMMA DI MODELLAZIONE IDRAULICA

L'allegato 4 della dgr 2616/2011 - *Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio di esondazione* – precisa che “*lo studio idraulico deve essere svolto conformemente alla direttiva “Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B” (con particolare riferimento al capitolo “Contenuti dello studio di compatibilità”), con un grado di approfondimento commisurato alla situazione specifica. Le condizioni di deflusso nel tronco idraulico di interesse vengono valutate con i metodi di calcolo riportati nella suddetta direttiva dell'Autorità di bacino, che fanno riferimento a schematizzazioni progressivamente più complesse delle condizioni di moto (modellazione in moto permanente o, se ritenuto necessario, in moto vario)”*”.

In particolare, riguardo al codice di calcolo da utilizzare nella direttiva vengono indicate queste alternative:

- *moto stazionario monodimensionale (portata costante e geometria dell'alveo variabile),*
- *moto vario monodimensionale o quasi-bidimensionale (portata variabile nel tempo e geometria variabile),*
- *moto vario bidimensionale, alle differenze o agli elementi finiti, (portata variabile nel tempo e geometria variabile).*

Tra queste alternative nei casi di particolare complessità che richiedano la quantificazione di modificazioni della capacità di laminazione dell'alveo, cioè una valutazione delle possibili zone di esondazione con i livelli e le velocità dell'acqua in tali zone e non solo nell'alveo (come quello del corso del torrente Vertova nel tratto analizzato), occorre ricorrere a uno degli ultimi due codici di calcolo. Le analisi in moto vario consentono infatti la ricostruzione del deflusso in alveo dal punto di vista del rischio idraulico, stimando i volumi eccedenti la capacità di smaltimento della rete di canali modellata, in corrispondenza di diversi scenari idrologici previsti. Il moto vario, infatti, mostra la capacità di riprodurre la propagazione delle onde di piena previste, con valutazione dei volumi di esondazione laddove i tiranti idraulici risultanti eccedano le quote delle sponde dei canali o degli alvei.

Tra i due modelli con moto vario quello bidimensionale rappresenta al meglio situazioni idrauliche che variano nel tempo e nello spazio al di fuori delle sponde dell'alveo permettendo di definire correttamente il complesso sistema di esondazione della corrente idraulica, in condizioni di deflusso non sempre parallele all'asta torrentizia.

Il software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Service - River Analysis System) distribuito dall'US Army Corps of Engineers consente la soluzione numerica del sistema di equazioni complete del moto vario gradualmente variato, permettendo di conoscere l'andamento di portate e livelli variabili sia nel tempo che nello spazio, nelle sezioni fluviali per le quali è nota la geometria dell'alveo. Si tratta di un software molto noto ed utilizzato frequentemente nell'ambito professionale, come in quello universitario, proprio per la semplicità d'uso e la robustezza del programma connessa alla grande mole di lavori realizzati con esso. Qui di seguito viene riportata una sintesi delle capacità bidimensionali del software fornita da RUWA s.r.l. e disponibile sul sito [www.ruwa.it](http://www.ruwa.it).

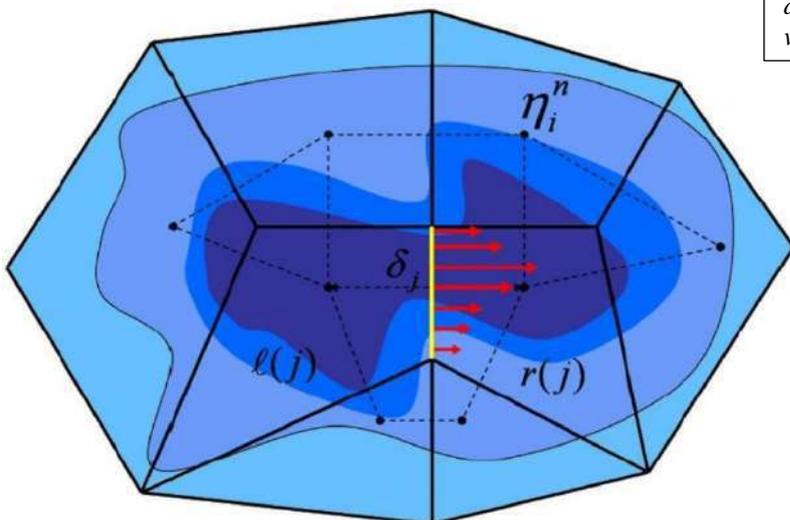
*HEC ha aggiunto la capacità di eseguire uno schema di modellazione bidimensionale all'interno della simulazione condotta HEC-RAS in regime di moto vario. Gli utenti possono quindi eseguire una modellazione in moto vario con schema monodimensionale (1D) combinato anche con uno schema quasi-bidimensionale e/o bidimensionale puro (2D) con l'aggiunta di un'area 2D nel modello nello stesso modo come si farebbe per aggiungere una cella d'accumulo (storage area) nel modello quasi-bidimensionale. Un'area 2D viene aggiunta nel modello disegnando un poligono 2D, definendo il modello digitale del terreno e quindi agganciando l'area 2D al modello monodimensionale attraverso l'uso di uno*

sfiatore laterale (lateral structure). Nelle versioni future di HEC-RAS, l'area 2D potrà essere collegata al modello allo stesso modo di come è possibile attualmente collegare e utilizzare storage aree.

Le nuove funzionalità di simulazione della propagazione dei deflussi in HEC - RAS sono state sviluppate per permettere all'utente di eseguire la modellazione 1D/2D combinato. L'algoritmo di modellazione del moto bidimensionale in HEC-RAS ha le seguenti caratteristiche:

1. *Modellazione combinata 1D e 2D:* La possibilità di eseguire una modellazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario permette all'utente di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando la modellazione 1D per l'asta fluviale principale, e la modellazione 2D nelle zone esterne che lo richiedono per modellare in modo fedele la propagazione dei deflussi.
2. *Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D:* Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità all'utente. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.
3. *Algoritmo di soluzione ai volumi finiti:* Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai Volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti.
4. *Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D:* Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra l'argine o attraverso la breccia.
5. *Maglie computazionali strutturate non strutturate:* Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.
6. *Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo:* Ogni cella e ogni faccia della cella per tutta la maglia di calcolo è pretrattata al fine di sviluppare dettagliate tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM utilizzato nel processo di modellazione, vedi Figura 1.

Figura 1 - Esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella



Nella figura 1 è illustrato un esempio di maglia di calcolo sovrapposta ai dati del terreno. Le celle computazionali sono rappresentate dalle linee nere spesse. I centri di calcolo cellulari sono rappresentati dai nodi neri e sono i luoghi dove viene calcolata per ogni cella il livello idrico e la portata. La curva altezza/volume per ogni cella si basa sui dati del terreno sottostante. Ogni faccia della cella è una sezione trasversale dettagliata basata anch'essa sul terreno sottostante.

*Questo metodo di rappresentazione delle celle permette all'acqua di spostarsi tra le celle in base ai dati del terreno sottostante.*

*Pertanto, un piccolo canale che attraversa le celle e le cui dimensioni sono molto più piccole della dimensione delle celle viene comunque rappresentato tramite la curva altezza/volume delle celle oltre che dalle proprietà idrauliche delle facce tra le celle. Ciò significa che l'acqua scorre tra le celle più grandi ma comunque il deflusso è condizionato dalle caratteristiche del canale. Un esempio di un piccolo canale che attraversa celle della griglia molto più grandi è illustrato nella Figura 2. L'esempio illustrato nella figura 2 presenta diversi canali che sono molto più piccoli della dimensione media della cella utilizzata per modellare la zona. Tuttavia, come illustrato nella Figura 2, il deflusso avviene attraverso i piccoli canali in funzione delle proprietà idrauliche del canale. Il deflusso rimane nei canali fino a quando la portata non è tale da causare la tracimazione delle sponde e quindi il deflusso si riversa nelle aree adiacenti.*

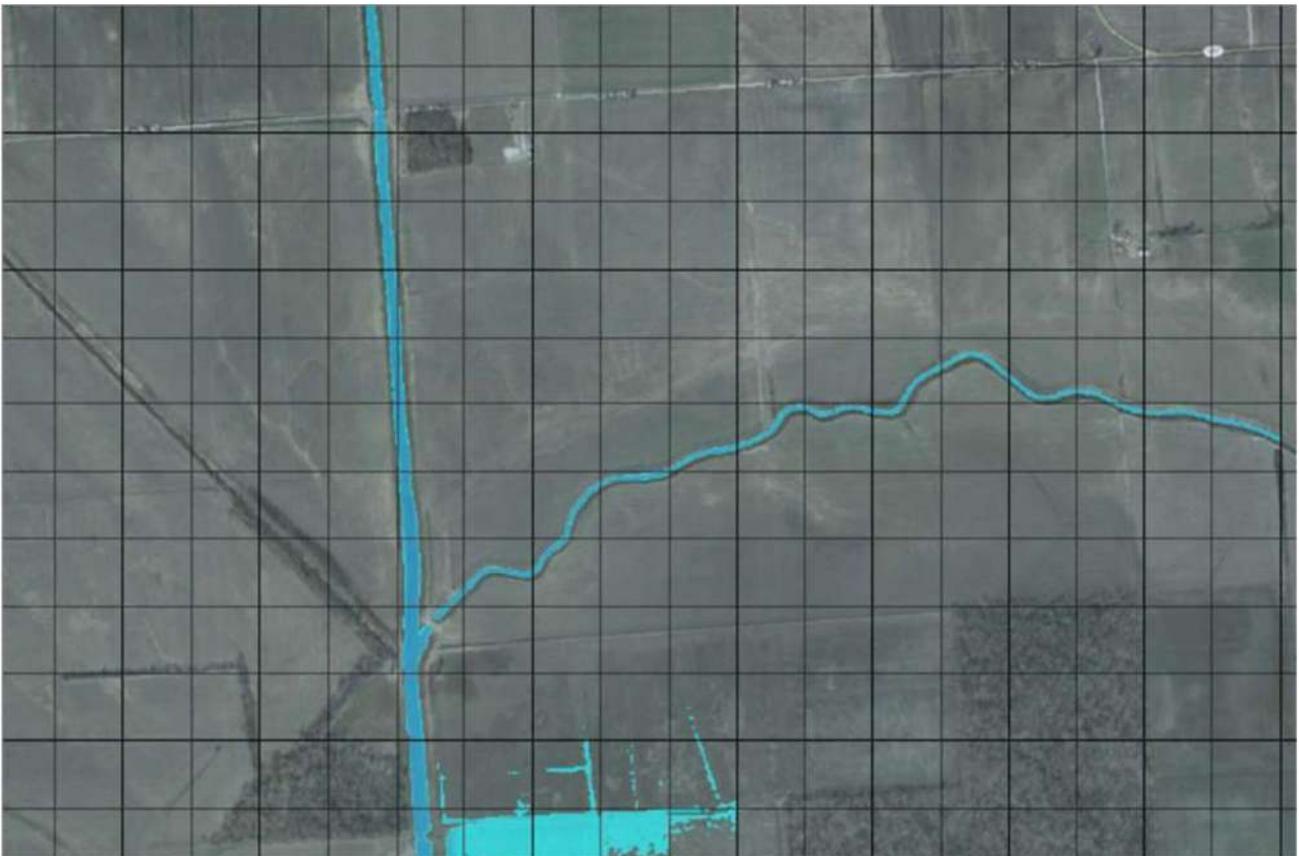


Figura 2 - Esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella

7. *Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni. La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS - Mapper. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo. Le celle, quindi, possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte.*
8. *Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni (architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori saranno in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore*
9. *Motori di calcolo a 64 e 32 bit: HEC-RAS è ora dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit.*

## 6.2 FASI DI COSTRUZIONE DEL MODELLO

Il modello adottato per la simulazione, effettuata attraverso il software HEC-RAS, finalizzato all'individuazione della pericolosità delle aree circostanti il centro storico di Vertova, è stato costruito attraverso l'implementazione delle seguenti fasi:

- Impostazione della proiezione di riferimento spaziale;
- Caricamento dei dati del terreno e creazione del modello del terreno;
- Creazione di un nuovo modello di terreno inserendo le modifiche necessarie per renderlo il più congruente possibile con la realtà del territorio;
- Creazione dell'area di deflusso e sua suddivisione secondo una maglia (mesh) di calcolo prestabilita;
- Inserimento di strutture idrauliche all'interno dell'area di deflusso (ponti, sponde e/o traverse);
- Infittimento e ridefinizione della maglia (mesh) di calcolo attorno alle strutture idrauliche inserite;
- Inserimento delle condizioni al contorno che consentano l'analisi dello scenario scelto;
- Inserimento dell'idrogramma di piena;
- Scelta dei parametri temporali idonei ad ottenere i risultati cercati.

## 6.3 MODELLO TRIDIMENSIONALE DEL TERRENO ADOTTATO

### RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO

Per il rilievo del torrente Vertova e delle aree esondabili oggetto della verifica idraulica sono stati realizzati due rilievi aerofotogrammetrici con drone DJI Mavic Mini in modo da coprire completamente l'area d'interesse (incarico fornito dal comune di Vertova allo studio M. Grassi di Vilminore di Scalve).

Il volo è stato eseguito ad un'altezza media di 60,0 m dal suolo e sovrapposizione di fotogrammi dell'85% in senso longitudinale e dell'80% in senso trasversale. Al fine di georeferenziare correttamente il risultato sono stati applicati in alveo, lungo le sponde e nelle piazze dell'abitato diversi target, le cui coordinate sono state calcolate con sistema GNSS, con correzione dell'errore online in tempo reale, utilizzando l'antenna Emlid Reach e software di rilievo topografico specifico.

Una volta elaborate le nuvole dense di questi due voli, si è proceduto al loro allineamento sovrapponendo i punti comuni fra i due voli. Ottenuta la nuvola densa di punti unita, da essa sono stati rimossi i punti di rumore e gli elementi di scarso interesse al fine del presente lavoro, quali vegetazione, ponti, linee aeree ed edifici lontani dalle sponde.

Presentando la nuvola così ottenuta tratti con scarsa informazione a causa della fitta vegetazione, è stato realizzato un modello digitale del terreno cercando di fornire in quei tratti maggiori riferimenti possibili al modello: in particolare, sfruttando diversi punti topografici aggiuntivi rilevati e la capacità dei software di eseguire elaborazioni statistiche del terreno sulla base delle informazioni al contorno note, è stato possibile colmare le lacune della nuvola densa e ottenere un DTM omogeneo. È chiaro che, vista la presenza di numerosi edifici, che oltretutto sono stati rimossi dalla nuvola, il modello digitale tenta solamente di approssimare quelle porzioni di terreno, non conoscendo effettivamente la quota del suolo; si è voluto invece evidenziare nel modello la presenza e la quota di strade e piazzette presenti nelle vicinanze del torrente, le quali potrebbero essere interessate da esondazioni durante eventi di piena eccezionali. Infine, avendo rimosso i ponti stradali

dalla nuvola densa, il modello digitale del terreno ottenuto presenta un torrente senza ostacoli sopra di esso lungo il suo corso.

Per ogni sezione significativa sono stati adottati i seguenti criteri:

- 1) Prima di tutto si considera la sezione calcolata facendo riferimento solo alla nuvola densa, in quanto essa è più rappresentativa della realtà.
- 2) Nei punti in cui la nuvola presenta delle lacune, è stato fatto riferimento al risultato ottenuto calcolando la sezione dal DTM, in modo da diminuire gli errori.
- 3) Nelle sezioni nelle quali sia il risultato ottenuto con nuvola che con DTM è stato valutato non del tutto affidabile, si è proceduto invece al rilievo con stazione totale TOPCON GM 50 della sola sezione trasversale dell'alveo, in modo da evitare errori significativi.

Descrizioni della strumentazione utilizzata:

**Ricevitore GNSS Emlid Reach Rs2:**

Posizionamento	Static	H:4mm+0.5ppm	V: 8mm+1ppm
	PPK	H:5mm+0.5ppm	V:10mm+1ppm
	RTK	H:7mm+1ppm	V:14mm+1ppm
	Convergence time	~5s typically	
GNSS	Signal tracked GPS	QZSS L1C/A, L2C; GLONASS L1OF, L2OF; BeiDou B1I, B2I; Galileo E1-B/C, E5b	
	Numero di canali	184	
	Update rates	10Hz GPS	5Hz GNSS
	IMU	9 DOF	

**Drone Dji Mavic Mini:**

Peso al decollo [1]	249 g
GNSS	GPS+ GLONASS
Accuratezza del volo stazionario	Verticale: $\pm 0,1$ m (con posizionamento visivo), $\pm 0,5$ m (con posizionamento GPS) Orizzontale: $\pm 0,3$ m (con posizionamento visivo), $\pm 1,5$ m (con posizionamento GPS)

**Fotocamera**

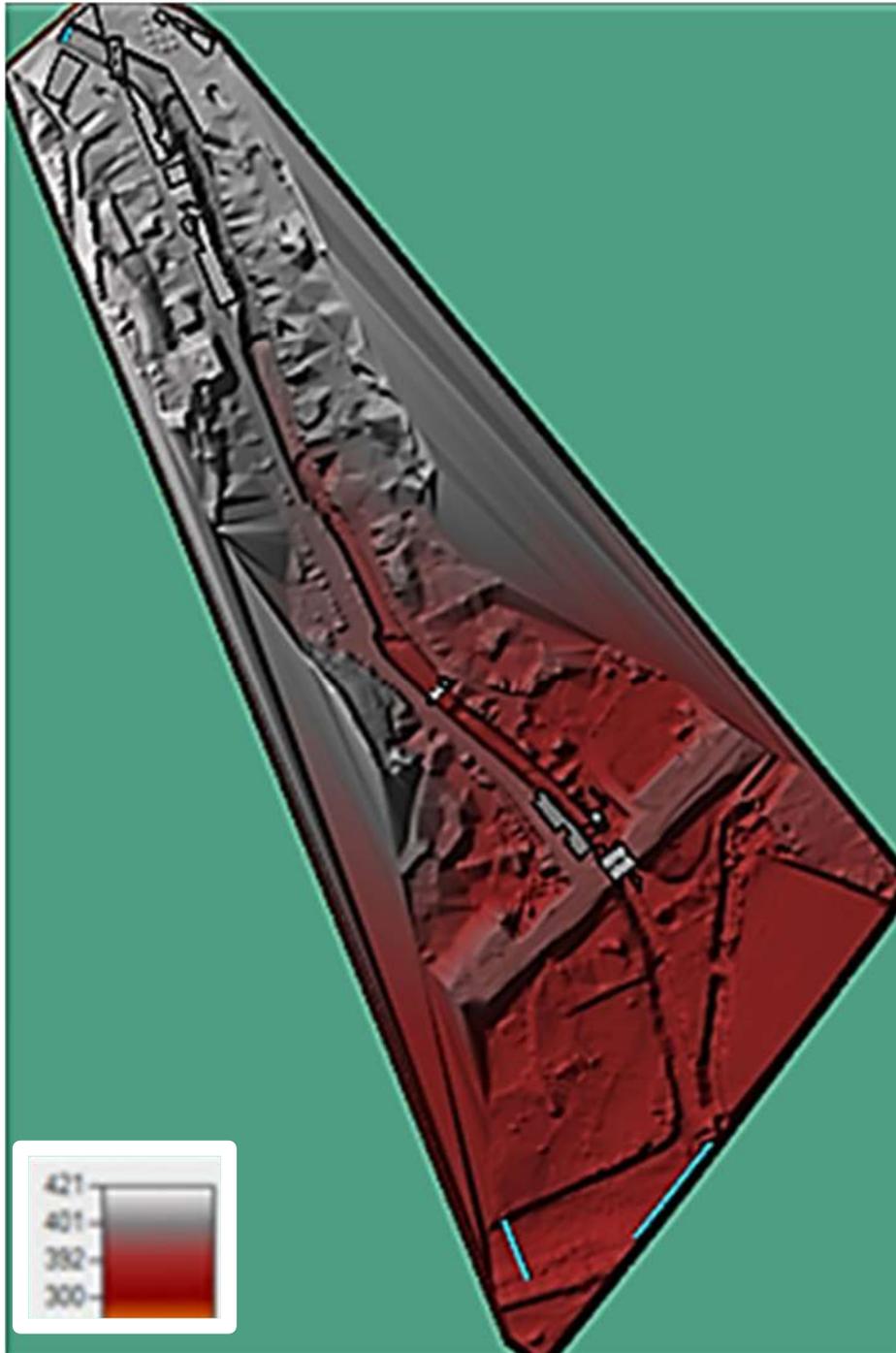
Sensore	1/2,3" CMOS - Pixel effettivi: 12 MP
Obiettivo	FOV: 85° Formato 35 mm equivalente: 24 mm Apertura: f/2.8 Distanza di ripresa: 1 m a $\infty$
Intervallo ISO	Foto: 100–1600 (automatico) - 100–3200 (manuale)

**Topcon GM 50**

Misurazione della distanza	senza riflettore: Fino a 500 m	portata EDM del prisma: fino a 4.000 m	
Tempo di misurazione	<i>fine</i> : 0,9 s (iniziale 1,7 s)	<i>rapido</i> : 0,7 s (iniziale 1,4 s)	tracciamento: 0,4 s (iniziale 1,4 s)
Precisione EDM del prisma	con prisma: 1,5 mm + 2 ppm	senza prisma: 2 mm + 2 ppm (0,2 ÷ 200 m)	

CARATTERISTICHE DEL FILE MODELLO DEL TERRENO

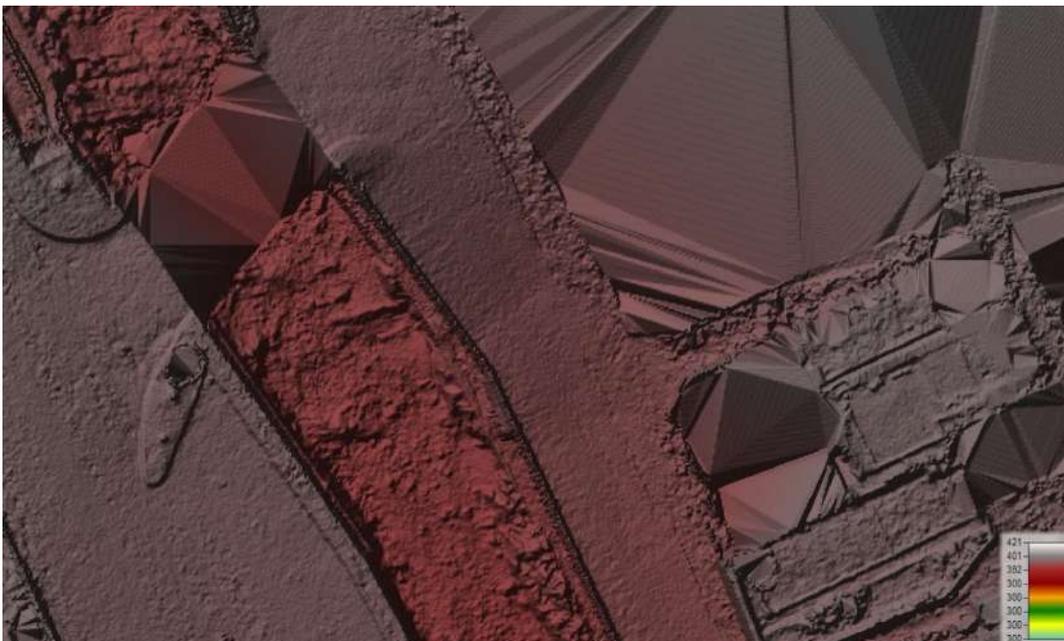
Sistema di riferimento: EPSG- 32632 WGS84/ UTM ZONA 32N  
Extent: 565807.1150054931640625 5072597.9980468750000000  
566334.0150054931873456 5073408.4980468750000000  
Unit: meters  
GDAL Driver Description GTiff  
Dimensions : X: 5269 Y: 8105 Bands: 1  
Origin: 565807,5.07341e+06  
Pixel Size: 0.100000000000000056, -0.100000000000000056



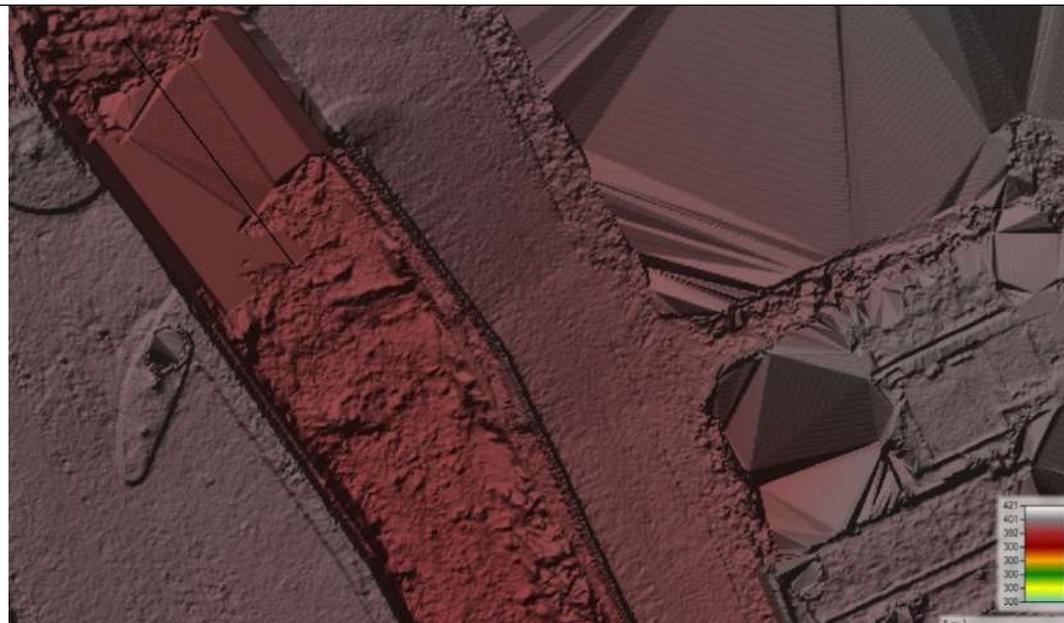
MODELLO TRIDIMENSIONALE DEL TERRENO – VISTA GENERALE

#### 6.4 MODIFICHE MANUALI DEL MODELLO 3D DEL TERRENO

Il modello del terreno ottenuto dal rilievo è stato modificato manualmente dove le caratteristiche geometriche non erano conformi allo stato di fatto. Ad esempio, all'interno dell'alveo nelle aree sulla proiezione dei ponti.



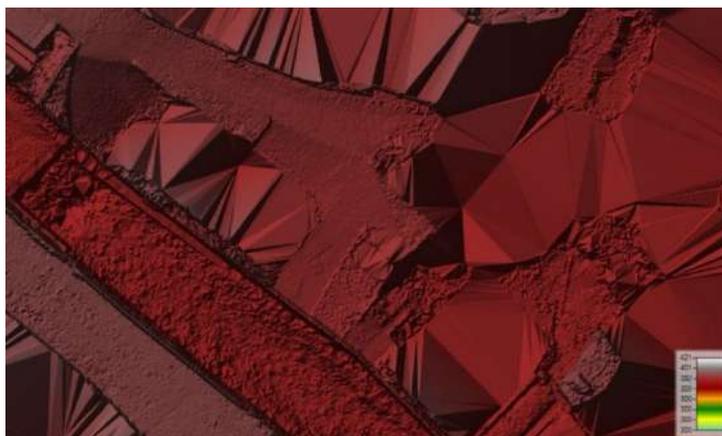
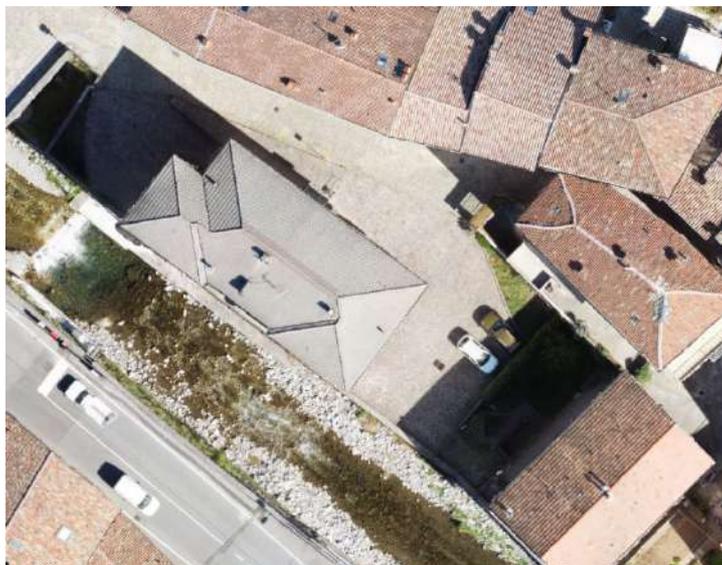
MODELLO TERRENO SOTTO PONTE VIA LORENZONI PRIMA DELLE MODIFICHE DELL'ALVEO



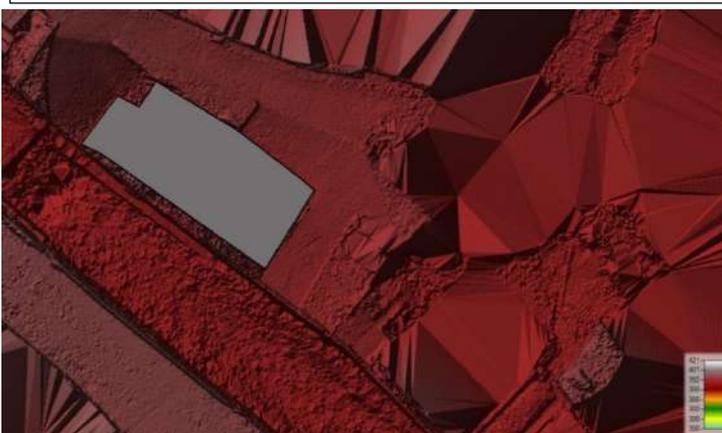
MODELLO TERRENO SOTTO PONTE VIA LORENZONI DOPO LE MODIFICHE DELL'ALVEO

*Al fine di non alterare i bilanci delle volumetrie dell'acqua esondata, si è ipotizzato che all'interno degli edifici questa non entri. Quindi si è modificato il modello 3d per impedire che le celle della meshatura non venissero interessate dalla corrente.*

Per esempio:



*MODELLO TERRENO PRIMA DELLE MODIFICHE*



*MODELLO TERRENO DOPO LE MODIFICHE*

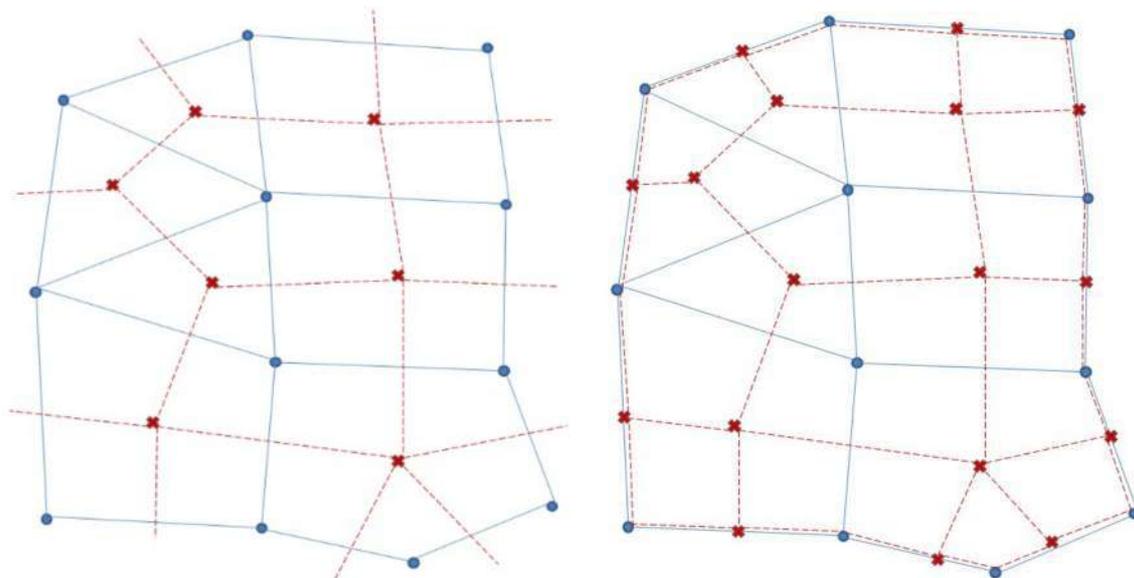
## 6.5 MESHATURA DEL TERRENO E PRINCIPI DI CALCOLO

Al fine di sfruttare in modo efficiente i metodi numerici di analisi, il dominio di analisi è stato suddiviso in poligoni non sovrapposti per formare una griglia di calcolo che contenga il volume finito. Per fornire il massimo della flessibilità, il risolutore di equazioni 2D non richiede che la griglia sia strutturata o addirittura ortogonale.

Il risolutore non ha alcuna restrizione intrinseca rispetto al numero di lati delle celle poligonali. Tuttavia, all'interno di HEC-RAS viene applicato un limite di 8 lati per questioni di efficienza e risparmio di memoria. Tutte le celle della griglia devono essere convesse.

Infine, va sottolineato che la scelta della griglia è estremamente importante perché la stabilità e l'accuratezza della soluzione dipendono molto dalla dimensione, l'orientamento e le caratteristiche geometriche degli elementi della griglia.

A causa dei termini derivati dal secondo ordine e della natura differenziale della relazione tra le variabili è stata necessaria una seconda griglia, oltre alla griglia principale per modellare numericamente le equazioni differenziali. La seconda griglia abbraccia il dominio ed è caratterizzata da una corrispondenza tra i nodi doppi e le celle della griglia principale.



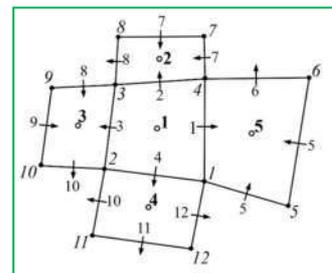
Nella figura sopra, i nodi e i lati della griglia sono rappresentati da punti e linee continue; la griglia secondaria da nodi e lati rappresentati rispettivamente da croci e linee tratteggiate.

Con riferimento alla computazione numerica adottata risulta premiante considerare:

- l'elevazione della superficie dell'acqua  $H$  ai centri delle celle della griglia
- la velocità perpendicolare alle facce (che determina il trasferimento del flusso attraverso le facce) e il vettore di velocità  $V$  nel fronte della faccia.

La connessione tra le celle avviene quindi tra le facce delle celle.

La figura a lato mostra cinque celle di calcolo. Le celle, le facce e i nodi sono numerati. L'orientamento delle facce è indicato dalle frecce su ciascuna faccia.

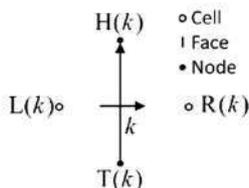


La cella  $i$  è connessa al lato  $k$  che appartiene al set  $K(i)$ . La cella  $i$  è connessa ai vertici  $l$  che appartengono al set  $N(i)$ . Il lato  $k$  è connesso ai vertici  $H(k)$  (teste) e  $T(k)$  (piede) dove  $H(k)$  è orientato nella direzione positiva e  $T(k)$  è nella direzione negativa. Il lato  $k$  è connesso alle celle  $L(k)$  (sinistra) e  $R(k)$  (destra) dove  $R(k)$  è orientato nella direzione positiva e  $L(k)$  è nella direzione negativa. La cella  $i$  condivide i lati con le celle confinanti  $j$  che appartengono al set  $C(i)$ .

Così nell'esempio sopra riportato:

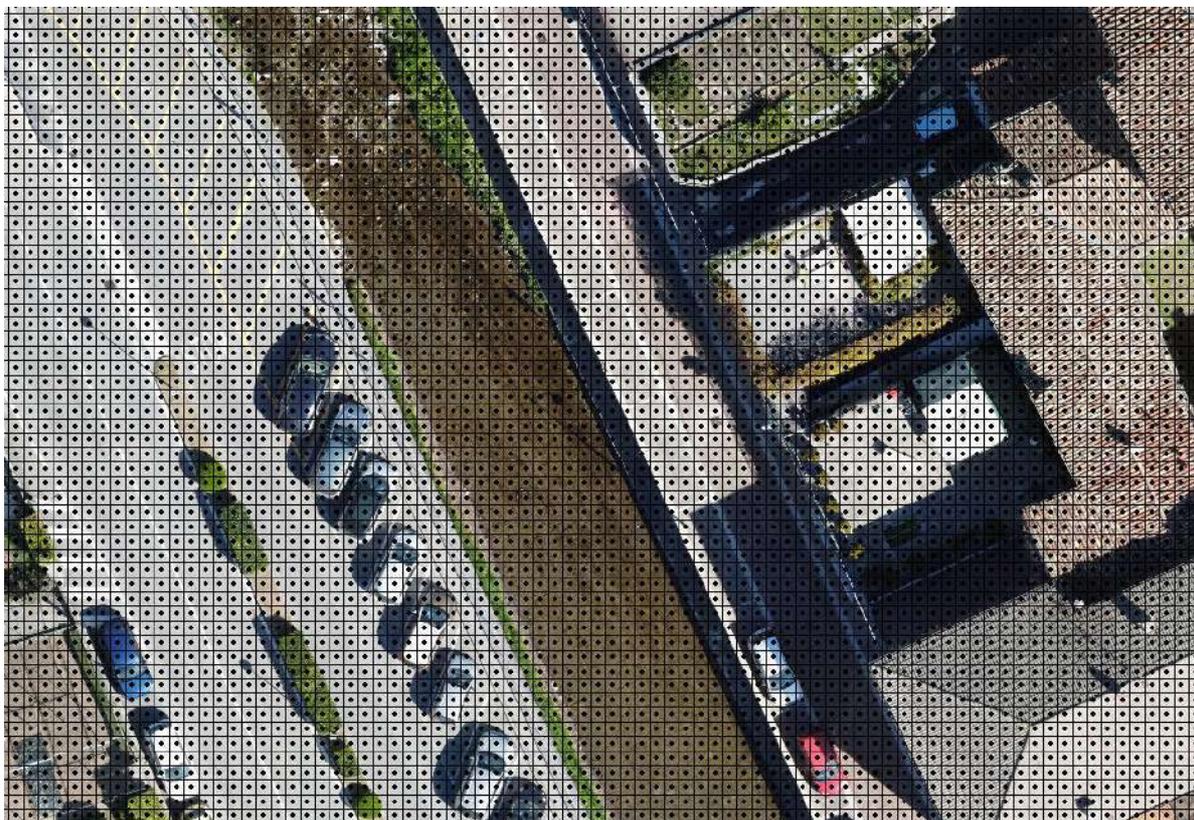
La connessione dei lati e le celle:	$K(1) = \{1,2,3,4\}$
La connessione tra nodi e celle:	$N(5) = \{1,4,5,6\}$
La connessione tra nodi e lati:	$H(1) = 4 \quad T(1) = 1$
La connessione tra celle e lati:	$R(1) = 5 \quad L(1) = 1$
La connessione tra celle e celle:	$C(1) = \{2,3,4,5\}$

L'orientamento del lato  $j$  è definito dalla posizione della testa,  $H(k)$  e dal piede  $T(k)$ , i vertici allo stesso modo dalla sinistra,  $L(k)$  e destra,  $R(k)$ , le celle come mostrato in figura qui sotto.



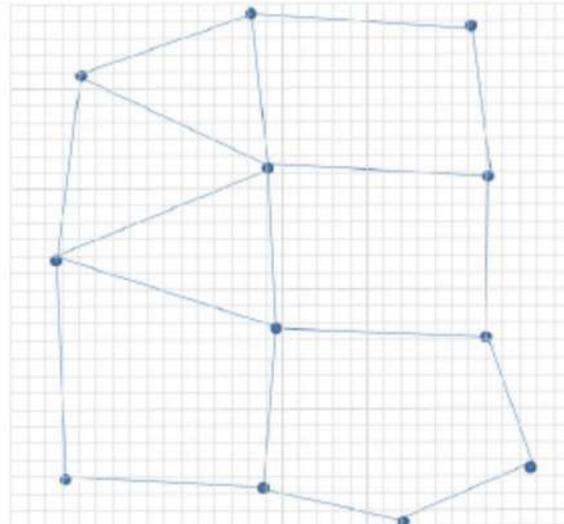
Nell'esempio della mesh sopra indicata si ha:  $S_{1,4}=+1 \quad S_{5,1}=-1$

***L'area di analisi è stata suddivisa con una meshatura le cui celle hanno dimensioni 60x60cm, le celle totali sono risultate 283000.***



*Stralcio della MESHATURA impiegata*

Il rilievo topografico impiegato ha un dettaglio molto elevato e seppure semplificato in maglie di 10x10cm, questo risultava troppo elevato per l'analisi fluidodinamica da eseguire. L'applicazione ha provveduto a produrre la mesh più grossolana, al fine di non appesantire eccessivamente l'analisi. Di seguito si riporta un'immagine che descrive il processo.



Mesatura di calcolo in blu e del terreno in grigio.

Successivamente, per ogni tratto di altezza è stata calcolata la curva dei volumi.

$$\Omega_i(z_s) = \iiint_{\Omega} d\Omega =$$

Dove  $\Omega_i$  è il volume della i-esima cella. Differenziando il volume rispetto all'altezza si determina per tratti lineari la curva dell'area bagnata.

$$A_i(z_s) = \frac{d\Omega_i}{dz_s} = \iint_A dA$$

Calcolo simile viene eseguito sulle facce verticali per determinare aree, perimetro bagnato e larghezza superficiale.

$$A_k(z_s) = \iint_A dA$$

$$W_k(z_s) = \frac{dA_k}{dz_s} = \int_W dW$$

$$P_k(z_s) = \int \sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2} dy$$

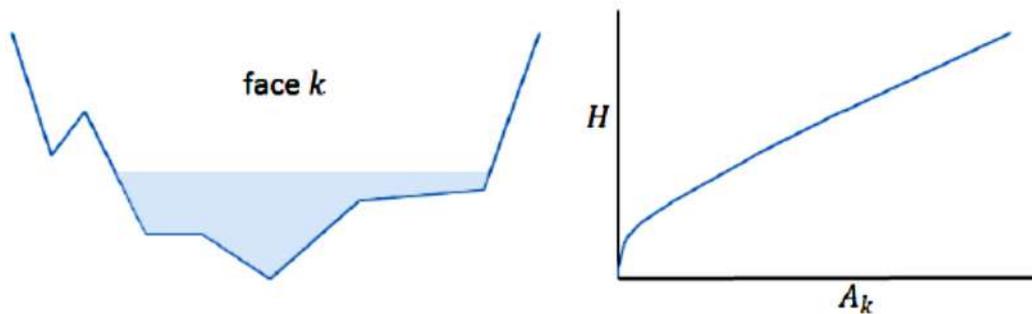
Dove:

$A_k$  = area lineare a tratti della faccia verticale

$W_k$  = larghezza della superficie lineare a tratti

$P_k$  = perimetro bagnato

Nell'immagine che segue si rappresenta il concetto espresso con la rappresentazione della faccia verticale e la curva che relaziona altezza del tirante con l'area.



Il solutore HEC-RAS 6.0 impiegato per l'analisi può operare sia risolvendo con il metodo dell'Equazione di Diffusione dell'Onda (DWE) sia con il metodo dei tiranti poco profondi (SWE). Per poter risolvere le equazioni legati alla seconda strada si può optare per un metodo Euleriano-Lagrangiano oppure un metodo Euleriano puro. Tutti e tre i solutori utilizzano una combinazione di differenze finite e metodi a volume finito su una mesh poligonale non strutturata con batimetria sottogriglia.

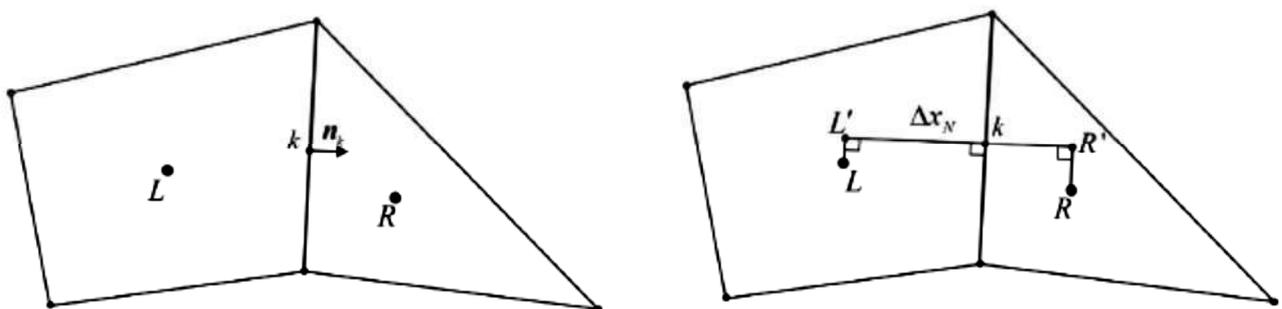
*Nel modello impiegato l'analisi è stata condotta con il metodo della Diffusione d' Onda.*

Il gradiente normale alla faccia viene calcolato per la superficie dell'acqua nel termine del gradiente di pressione e le velocità correnti durante la simulazione della diffusione della quantità di moto con la formulazione conservativa.

L'operatore è qui descritto per l'elevazione della superficie dell'acqua, ma è lo stesso per la velocità. Il gradiente normale alla faccia viene calcolato con una semplice matrice a due punti.

$$\nabla z_s \cdot \mathbf{n}_k = \frac{\partial z_{s,k}}{\partial N} \approx \frac{z_{s,R} - z_{s,L}}{\Delta x_{N,k}}$$

dove  $\Delta x_{Nk}$  è la distanza normale alla faccia tra i punti L' e R' come descritto in figura



I gradienti di velocità delle celle sono calcolati utilizzando il teorema di divergenza di Gauss. I gradienti per la velocità nella direzione x possono essere scritti come:

$$\nabla u_i = \frac{1}{A_i} \int_A \nabla u_i dA = \frac{1}{A_i} \oint_L u_i n_i dL = \frac{1}{A_i} \sum_{k \in K(i)} u_{N,k} n_{i,k} L_k$$

dove:

$L_k$  = lunghezza della faccia k-esima

$A_i$  = area della cella i-esima

Analogamente viene scritta l'equazione per la velocità nella direzione Y.

Le velocità delle correnti sono calcolate normali alle facce. Tuttavia, in diverse circostanze, è necessario procedere con le velocità medie. Qui, le velocità delle celle sono calcolate usando il metodo di Perot:

$$V_i = \frac{1}{A_i} \sum_{k \in K(i)} \Delta x_{i,k} L_k n_k u_{N,k}$$

Dove:

$\Delta x_{i,k} = |x_k - x_i|$  è la distanza dal centro della cella  $i$  al bordo della cella  $k$ .

$L_k$  = lunghezza del bordo della cella  $k$ .

Approssimativamente l'equazione che esprime la quantità di moto dell'onda di diffusione può essere scritta nel seguente modo:

$$u_{N,k}^{n+\theta} = -\alpha_k \frac{z_{s,R}^{n+\theta} - z_{s,L}^{n+\theta}}{\Delta x_{N,k}}$$

$$\alpha_k = \frac{R_k^{2/3} A_k}{n |\nabla z_s|^{1/2}}, \quad z_s^{n+\theta} = (1-\theta)z_s^n + \theta z_s^{n+1}, \quad \Delta x_{N,k}$$

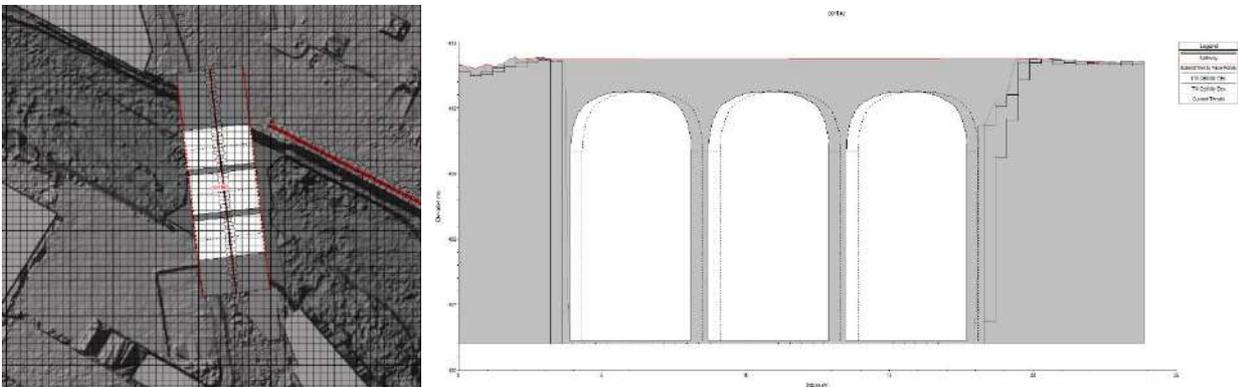
sono calcolati sulla distanza ortogonale alla faccia tra le celle

di destra e sinistra.

## 6.6 STRUTTURE IDRAULICHE NELL'AREA DI DEFLUSSO (PONTI, SPONDE E/O TRAVERSE)

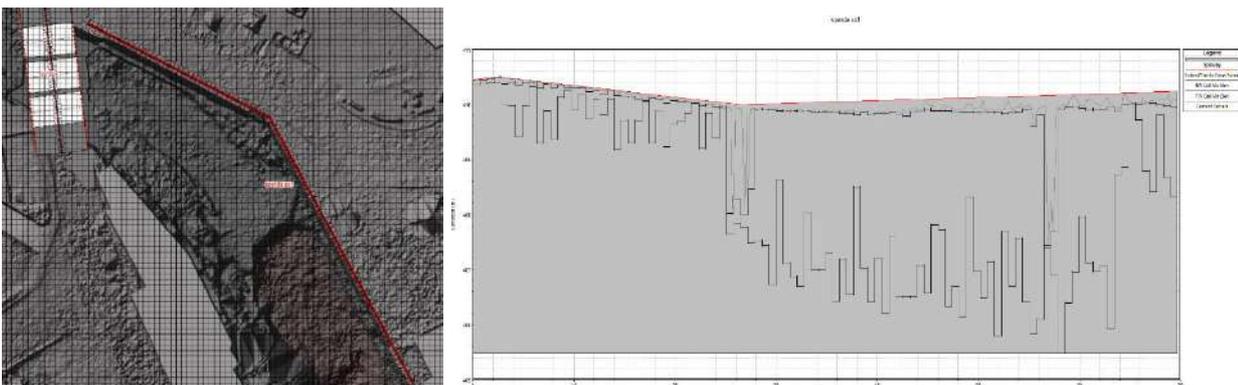
All'interno dell'area di calcolo che costituisce il modello 3d del territorio sono stati inseriti i seguenti elementi che costituiscono strutture idraulicamente attive nell'analisi, definiti in base a misure di dettaglio e approssimati in funzione delle geometrie implementabili dal modello di calcolo.

- ponte via IV Novembre - Largo Vittorio Veneto (denominazione nel modello: PONTE 2)



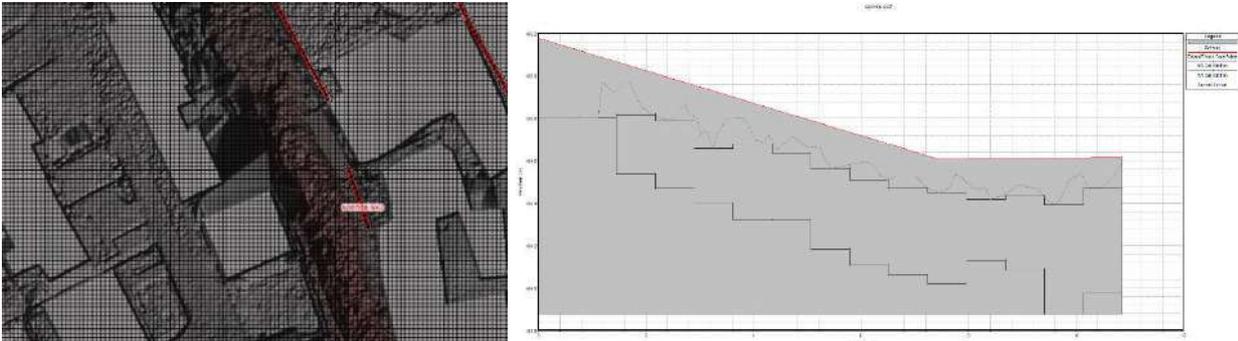
Vista planimetrica e prospettiva del ponte nel modello.

- sponda arginale sx Largo Vittorio Veneto (denominazione nel modello: SPONDA SX1)



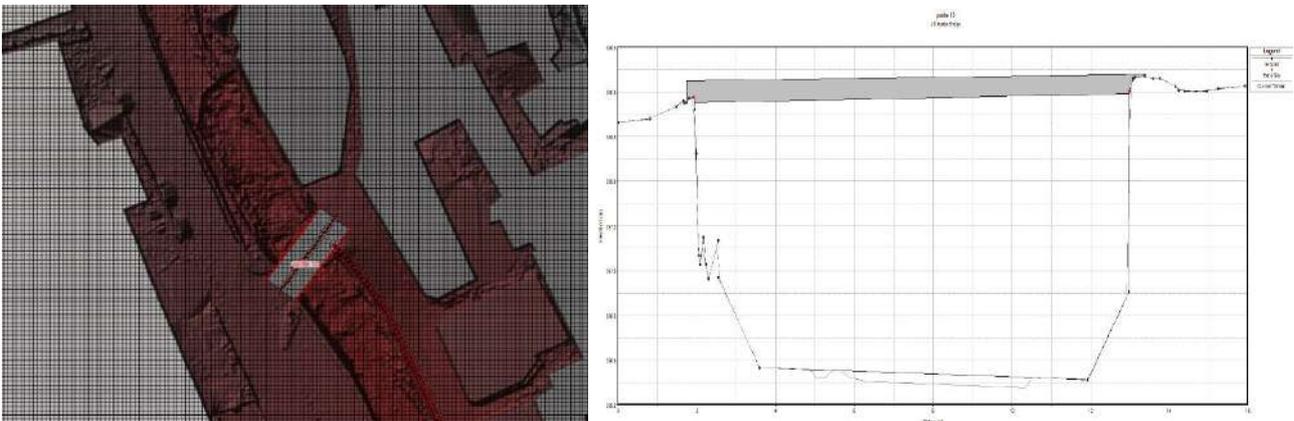
Vista planimetrica e prospettiva dell'argine.

- sponda sx prossimità chiesa San Lorenzo (denominazione nel modello: SPONDA SX2)



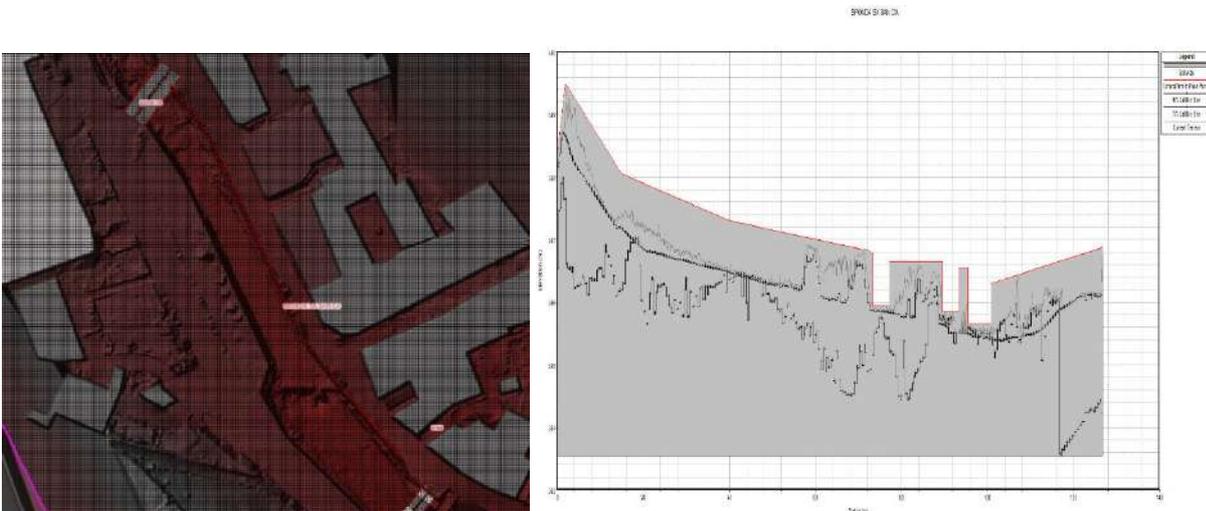
*Vista planimetrica e prospettica dell'argine.*

- ponte via Lorenzoni – ponte “Martina” (denominazione nel modello: PONTE 10)



*Vista planimetrica e prospettica del ponte nel modello.*

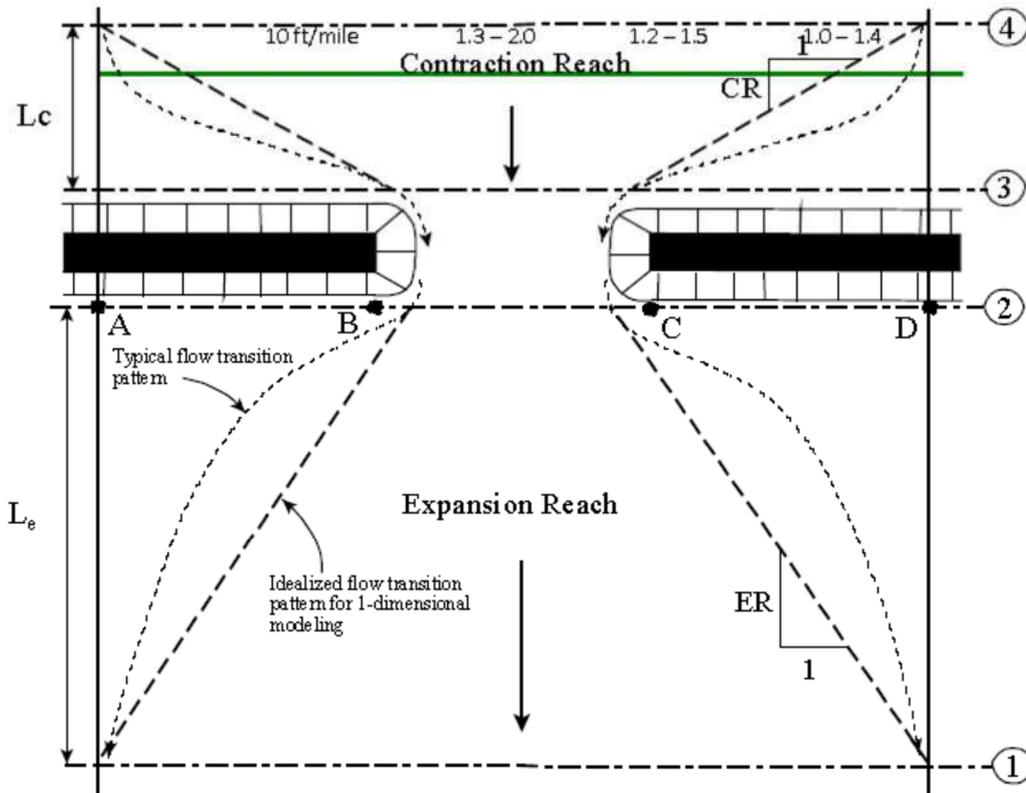
- sponda arginale sx via Foggeroli-via Pizzo (denominazione nel modello: SPONDA SX SAN CA)



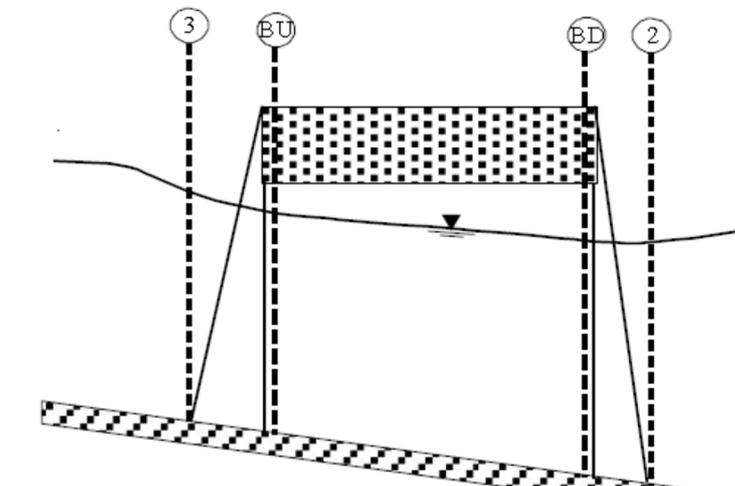
*Vista planimetrica e prospettica dell'argine.*







L'analisi prosegue da valle verso monte non prima di aver inserito altre due sezioni che tagliano il ponte tra la sezione 2 e la 3. Queste due sezioni "fittizie" di controllo sono rappresentate nel seguente schema.



Sono la sezione Bridge upstream e Bridge downstream.

Il metodo per ricostruire la corrente sotto il ponte adottato nel presente lavoro è il metodo dell'Energia. Questo ricostruisce la superficie di corrente sotto il ponte risolvendo l'equazione del bilancio energetico che nella sua formulazione generale può così essere riassunta.

$$h_4 + \frac{a_4 V_4^2}{2g} = h_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_f + h_e$$

Dove:

$h_1$  = l'elevazione della superficie dell'acqua nella sezione 1  
 $h_4$  = l'elevazione della superficie dell'acqua nella sezione 4  
 $V_1$  = velocità della corrente nella sezione 1  
 $V_4$  = velocità della corrente nella sezione 4  
 $h_f$  e  $h_e$  è l'energia dispersa tra sezione 1 e 4

Quest' ultimo parametro viene determinato in maniera differente tra le varie sezioni.

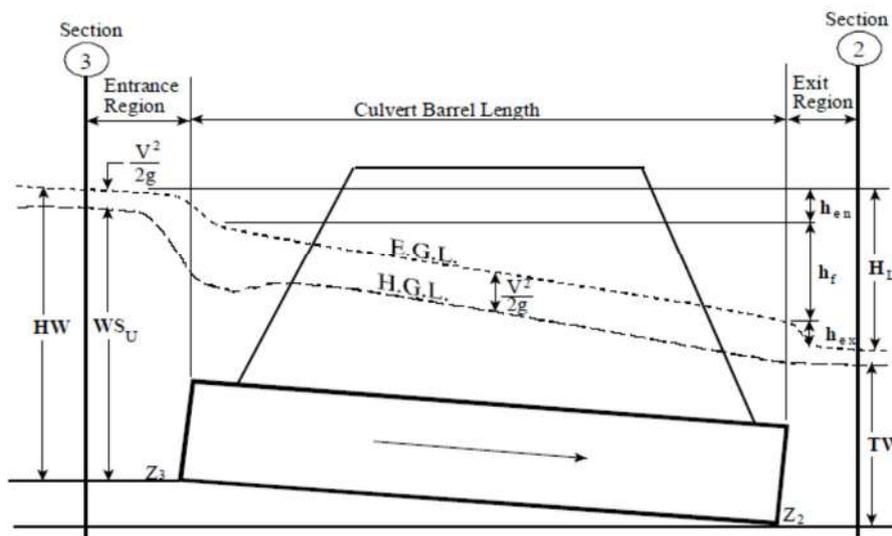
In particolare, tra la sezione 2 e3 le perdite sono solo per attrito. Il bilancio energetico è eseguito in tre fasi: dalla sezione 2 a BD; da BD a BU; e BU a 3. Le perdite per attrito sono calcolate utilizzando la pendenza di attrito media geometrica moltiplicata per la distanza ponderata del flusso tra sezioni.

$$h_{f(BU-BD)} = \frac{L_B Q^2}{K_{BU} K_{BD}}$$

La teoria idraulica dei ponti è stata applicata nel presente lavoro per i ponti Ponte10 (ponte Martina) e Ponte11 (accesso privato da via Pizzo).

Per i ponti Ponte2 (ponte su Largo Vittorio Veneto), Ponte San Carlo e Ponte1 (ponte sotto via don B. Ferrari) la teoria idraulica adottata è invece quella dei culvert. Il culvert è un tratto d'alveo di breve lunghezza, pensato come un tubo di sezione di geometria varia.

Anche in questo caso l'analisi del flusso per la lunghezza del manufatto viene determinato con un bilancio energetico, considerando perdite all'ingresso, in uscita e per attrito lungo il tubo. Nello schema seguente viene riassunto il concetto che sta alla base dell'analisi idraulica.



Per il controllo all'ingresso del ponte si distinguono due circostanze:

- ingresso non sommerso
- ingresso sommerso

Nel primo caso l'equazione che impiegata è:

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[ \frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S$$

Mentre nel secondo:

$$\frac{HW_i}{D} = c \left[ \frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S$$

Dove:

- HW<sub>i</sub> = Altezza energetica dell'acqua all'ingresso del culvert
- D = Altezza interna della canna del culvert
- H<sub>c</sub> = Testa specifica a profondità critica ( $dc + Vc^2/2g$ )
- Q = Scarico attraverso il culvert
- A = Area della sezione trasversale completa della canna del culvert
- S = pendenza del tratto di culvert
- K, M, c, Y = Costanti di equazione, che variano a seconda della forma e dell'ingresso del culvert

Per il controllo del flusso in uscita viene impiegata l'equazione di Bernoulli

$$Z_3 + Y_3 + \frac{a_3 V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} + H_L$$

Dove:

- Z<sub>3</sub> = Elevazione a monte del culvert
- Y<sub>3</sub> = profondità dell'acqua sopra l'ingresso del canale di scolo a monte
- V<sub>3</sub> = La velocità media a monte del culvert
- a<sub>3</sub> = Il coefficiente di ponderazione della velocità a monte del culvert
- g = L'accelerazione di gravità
- Z<sub>2</sub> = Elevazione a valle del culvert
- Y<sub>2</sub> = La profondità dell'acqua sopra l'ingresso del canale di scolo a valle
- V<sub>2</sub> = La velocità media a valle del culvert
- a<sub>2</sub> = Il coefficiente di ponderazione della velocità a valle del culvert
- H<sub>L</sub> = Perdita totale di energia attraverso il culvert (dal punto 2 al punto 3)

Per i culvert che risultano pieni, la perdita di energia, attraverso il culvert viene calcolata utilizzando la seguente formula:

$$H_L = h_{en} + h_f + h_{ex}$$

Dove:

- h<sub>en</sub> = perdita di ingresso
- h<sub>f</sub> = perdita di attrito
- h<sub>ex</sub> = perdita di uscita

La perdita di attrito nel culvert viene calcolata usando la formula di Manning, che è espressa come segue:

$$h_f = L \left( \frac{Qn}{1.486AR^{2/3}} \right)^2$$

Dove:

- h<sub>f</sub> = perdita di attrito
- L = lunghezza del culvert
- Q = portata nel culvert
- n = coefficiente di rugosità di Manning
- A = area di flusso
- R = raggio idraulico

### 6.6.1 PARAMETRI ASSUNTI PER WEIR E CULVERT

Nel modello 2D del presente lavoro sono stati utilizzati i seguenti parametri per descrivere i ponti, gli sbarramenti e i culvert.

Per gli sbarramenti si è optato per un modello di scavalco dello sbarramento secondo il modello Broad Crested, impiegando un Weir Coefficient pari a 1.66.

*Storage Area Connection Weir Data*

**Weir Data**

Weir Width:

**Weir Computations:**

Standard Weir Equation Parameters

Weir Coefficient (Cd)

Weir Crest Shape:

HW Connections ... TW Connections ...

**Embankment Station/Elevation Table**

Insert Row Delete Row Filter...

	Station	Elevation
1	0	410.661
2	0.585	410.6
3	0.987	410.664
4	1.289	410.629
5	1.39	410.67
6	1.606	410.686
7	1.793	410.759
8	1.894	410.757
9	1.994	410.783
10	2.057	410.737
11	2.196	410.75
12	2.8	410.773
13	2.9	410.773
14	3.102	410.76
15	3.202	410.749
16	3.404	410.742
17	3.605	410.742
18	19.412	410.767
19	19.815	410.743
20	19.993	410.759
21	20.319	410.745
22	20.844	410.758

*Parametri assunti per gli sbarramenti*

Il coefficiente interviene per il calcolo dello stramazzo sopra la traversa in caso di scavalco.

$$Q = CLH^{3/2}$$

Dove:

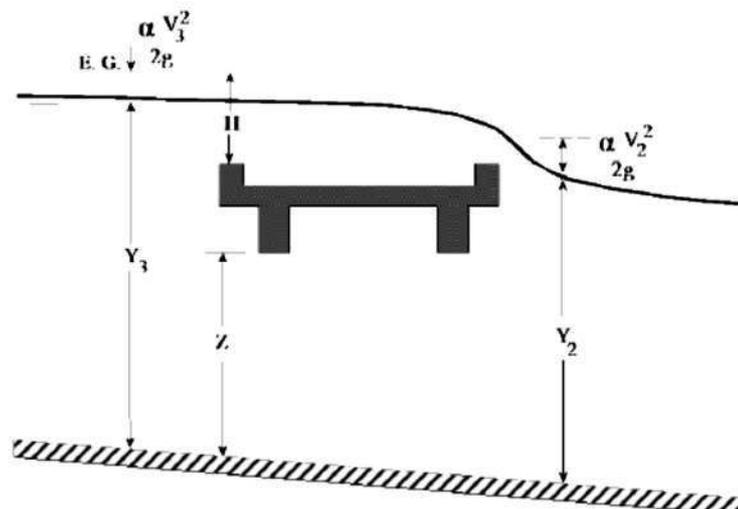
Q = portata sopra la soglia

C = Coefficiente di scarico

L = Larghezza della traversa

H = Dislivello tra linea energetica di monte e soglia della traversa

Di seguito un'immagine esemplificativa.



Anche per i culvert che descrivono i ponti presenti nel modello sono stati assunti alcuni parametri mantenuti in maniera costante per tutta l'asta. Di seguito una immagine riassuntiva di uno di questi.

*Parametri assunti per i culvert*

### 6.6.2 PARAMETRI ASSUNTI PER BRIDGE

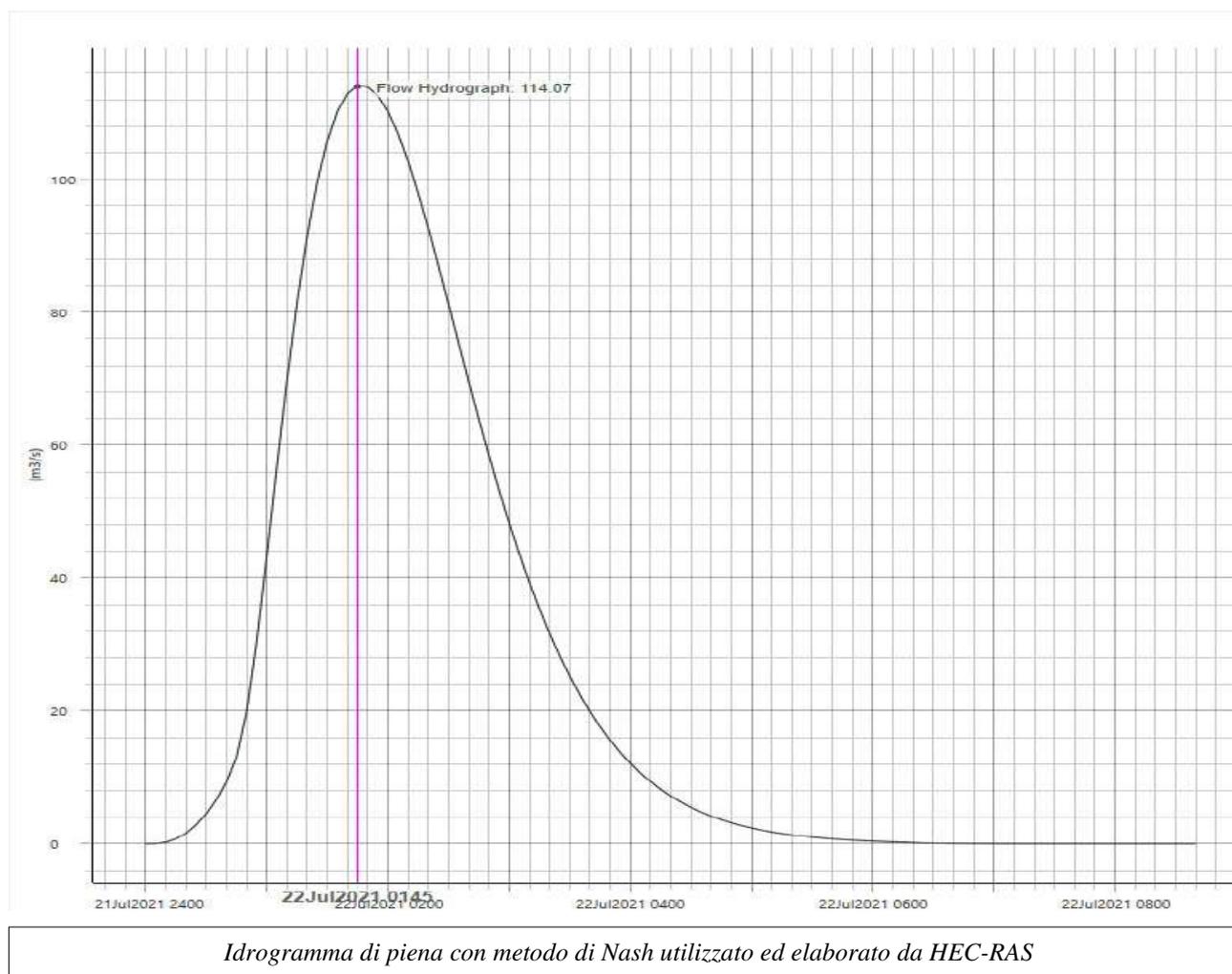
Anche per i ponti a campata singola e impalcati orizzontali sono state fatte delle assunzioni di modellazione costanti per tutta l'asta. Di seguito si riporta l'immagine che descrive i parametri assunti.

*Parametri assunti per i ponti*

Anche in questo caso il coefficiente di stramazzo è stato assunto pari a 1.66 e la tipologia dello stramazzo il Broad Crested.

## 6.7 IDROGRAMMA DI PIENA UTILIZZATO E PARAMETRI DI SCABREZZA DELL'ALVEO

L'idrogramma è rappresentato dalla seguente curva ed è frutto dell'analisi idrologica riportata nella presente relazione. Si tratta dell'idrogramma ottenuto dall'elaborazione con il metodo di Nash per coefficiente di deflusso  $c = 0,370$ . Nel corso del lavoro sono state effettuate simulazioni anche con differenti idrogrammi (invaso lineare) e per differenti valori del coefficiente di deflusso ( $c = 0,432$  da SIBCA), ma i risultati più attendibili in funzione delle aree di esondazione individuate dal modello confrontate con quanto verificatosi in passato sono stati ottenuti con questo idrogramma.



### Coefficienti di scabrezza

Le scabrezze delle superfici di scorrimento vengono assegnate dal programma per aree.

I valori del coefficiente di Manning sono stati valutati da numerosi autori, qui si fa riferimento ai parametri definiti dalle tabelle proposte da V. T. Chow (Open Channel Hydraulics, MAC GROW-HILL, New York, 1959) o da Marchi E. & Rubatta A., (Meccanica dei fluidi principi e applicazioni tecniche, UTET, 1981) e da tabelle riportate nelle pubblicazioni universitarie di Moisello e/o di Rosso.

Tipo di canale	Gauckler-Strickler $k_g$ ( $m^{1/2} s^{-1}$ )	Manning $n$ ( $m^{-1} s$ )
1 - Pareti di cemento perfettamente lisciate. Pareti di legno piallato. Pareti metalliche, senza risalti nei giunti. - Idem ma con curve.	100 ÷ 90 90 ÷ 85	0,011 0,012
2 - Pareti di cemento non perfettamente lisciate. Muratura di mattoni molto regolare. Pareti metalliche con chiodatura ordinaria.	85 ÷ 75	0,013
3 - Pareti di cemento in non perfette condizioni. Muratura ordinaria più o meno accurata. Pareti di legno grezzo, eventualmente con fessure.	70 ÷ 65	0,014 ÷ 0,015
4 - Pareti di cemento solo in parte intonacate; qualche deposito sul fondo. Muratura irregolare (o di pietrame). Terra regolarissima senza vegetazione.	60	0,018
5 - Terra abbastanza regolare. Muratura vecchia, in condizioni non buone, con depositi di limo al fondo.	50	0,020 ÷ 0,022
6 - Terra con erba sul fondo. Corsi d'acqua naturali regolari.	40	0,025
7 - Terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia.	35	0,030
8 - Canali in abbandono con grande vegetazione. Corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimento di materiali sul fondo, oppure scavati in roccia con sporgenze.	30	0,035

Standard Values of Manning's Roughness Coefficient

Type of Channel	Manning's $n$
<b>Natural channels</b>	
Clean and straight	0.030
Sluggish with deep pools	0.040
Major rivers	0.035
<b>Floodplains</b>	
Pasture, farmland	0.035
Light brush	0.050
Heavy brush	0.075
Trees	0.150
<b>Excavated earth channels</b>	
Clean	0.022
Gravelly	0.025
Weedy	0.030
Stony, cobbles	0.035
<b>Artificially lined channels</b>	
Glass	0.010
Brass	0.011
Steel, smooth	0.012
Steel, painted	0.014
Steel, riveted	0.015
Cast iron	0.013
Concrete, finished	0.012
Concrete, unfinished	0.014
Planed wood	0.012
Clay tile	0.014
Brickwork	0.015
Asphalt	0.016
Corrugated metal	0.022
Rubble masonry	0.025

Tabelle parametri Manning: A) Marchi E. & Rubatta A.; B) V. T. Chow

Le condizioni dell'alveo nel tratto all'interno del centro storico sono caratterizzate da alveo in roccia e/o in ciottoli e ghiaie con muri spondali che a causa della valutazione dell'onda di piena sono in gran parte interessati dal deflusso di transito del torrente. Il programma non permette l'assegnazione di differenti coefficienti di scabrezza per il fondo dell'alveo rispetto alle pareti di sponda considerando l'alveo come un tutt'uno, per tale motivo si è valutato un valore medio ponderato che deriva dalla valutazione di sezioni tipo dell'alveo come risulta dalla stima nella tabella seguente.

Coefficients specific of Manning		M
Fondo alveo roccia irregolare		0.035
Fondo roccia regolare		0.03
Fondo alveo ciottoli		0.03
Fondo alveo ghiaia e ciottoli		0.028
Sponde in cemento grezzo		0.012
Sponde in ghiaia con vegetazione		0.028

VALUTAZIONE COEFFICIENTE DI SCABREZZA (MANNING)							
SEZIONE	COEFF MANNING	Alveo		sponda sx		sponda dx	
		larghezza (m)	Manning	altezza (m)	Manning	altezza (m)	Manning
SEZIONE 64	0.022	11	0.03	4.8	0.012	3.85	0.012
SEZIONE 62	0.023	SEZIONE PARTICOLARE PONTE LARGO VITTORIO VENETO					
SEZIONE 61	0.023	13.9	0.03	5	0.012	3.1	0.012
SEZIONE 56	0.024	9	0.03	7	0.012	4.36	0.03
SEZIONE 53	0.024	7.4	0.03	3.8	0.03	5.4	0.012
SEZIONE 49	0.018	4.2	0.03	4.8	0.012	4.6	0.012
SEZIONE 46	0.023	15.3	0.03	3.2	0.012	6.25	0.012
SEZIONE 42	0.022	SEZIONE PARTICOLARE sponda SX di pochi metri					
SEZIONE 38	0.021	9.5	0.03	4.8	0.012	5.5	0.012
SEZIONE 35	0.022	9.5	0.03	3.9	0.012	3.5	0.012
SEZIONE 32	0.021	8	0.03	4	0.012	4	0.012
SEZIONE 26	0.020	SEZIONE PARTICOLARE PONTE SAN CARLO					
SEZIONE 25	0.019	8	0.028	4.6	0.012	4.8	0.012
SEZIONE 21	0.020	9.1	0.028	5	0.012	4.5	0.012
SEZIONE 19	0.019	9	0.028	4.9	0.012	6	0.012
SEZIONE 16	0.021	10.1	0.028	6.3	0.012	1.5	0.012
SEZIONE 14	0.020	7.5	0.028	4	0.012	4.5	0.012
SEZIONE 12	0.020	SEZIONE PARTICOLARE PONTE VIA DON B. FERRARI					
SEZIONE 11	0.020	8	0.028	3.4	0.012	3.8	0.012
SEZIONE 5	0.026	10.5	0.028	2	0.012	2.8	0.028
SEZIONE 2	0.022	9.3	0.028	2.2	0.012	4	0.012
<b>MEDIA</b>	<b>0.021</b>	N.B. nelle sezioni particolari a favore di sicurezza è stato utilizzato il valore medio tra la sezione precedente e la successiva					

Il valore medio ottenuto è risultato dalle simulazioni rappresentativo non solo per l'alveo, ma anche per le aree circostanti e di conseguenza è stato utilizzato come unico valore all'interno della modellazione.

AMBITO	COEFFICIENTE DI SCABREZZA (MANNING)
Alveo	0,21
Aree esterne all'alveo	0,21

## 6.8 MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE E PRESENTAZIONE DEI DATI

(vedi tavole 1, 2, 3, 4)

I risultati delle verifiche effettuate con HEC-RAS sono rappresentati sia attraverso mappe planimetriche (tavola 1a), sia attraverso sezioni trasversali (tavola 2 e 3) e/o lungo l'asse dell'alveo (sezione longitudinale di tavola 4) dove è illustrata l'esondazione che si verifica all'interno del centro storico di Vertova lungo le sponde dell'omonimo torrente a seguito della modellazione ottenuta con il metodo di Nash per coefficiente di deflusso pari a 0,370.

Inoltre, è disponibile all'interno della completa trattazione informatica fornita anche la visione del filmato che illustra il progredire dell'onda di piena nel tempo ed i suoi effetti sul terreno (file esondazione-NASH\_c0.370.mp4).

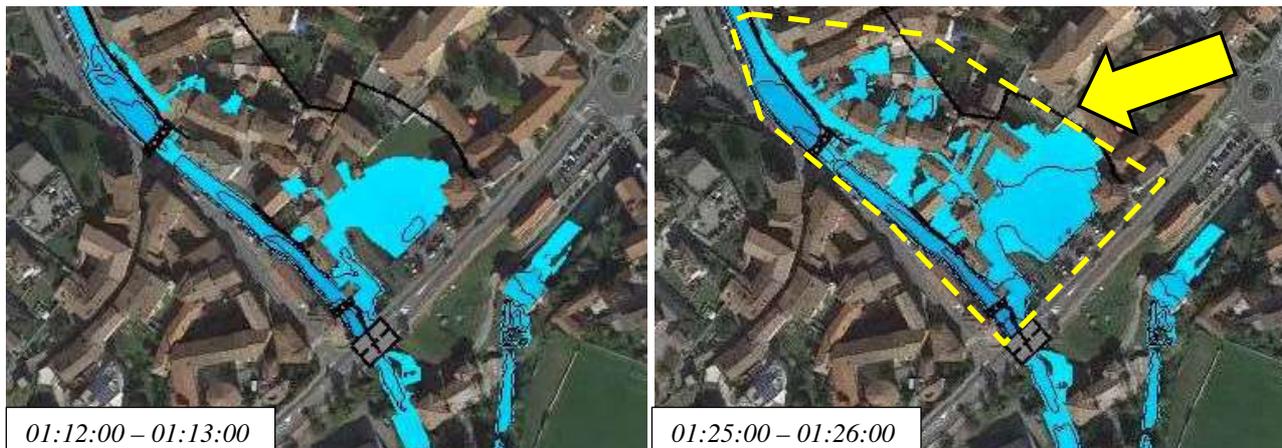
Le verifiche illustrano che la situazione individuata in precedenza con le zone di pericolosità di esondazione individuate da un punto di vista geomorfologico non si discostano molto da quelli che sono i risultati della modellazione idraulica, anche se le delimitazioni delle varie aree vengono definite con maggior dettaglio e in modo più corretto.

Nel dettaglio si ottengono i seguenti risultati:

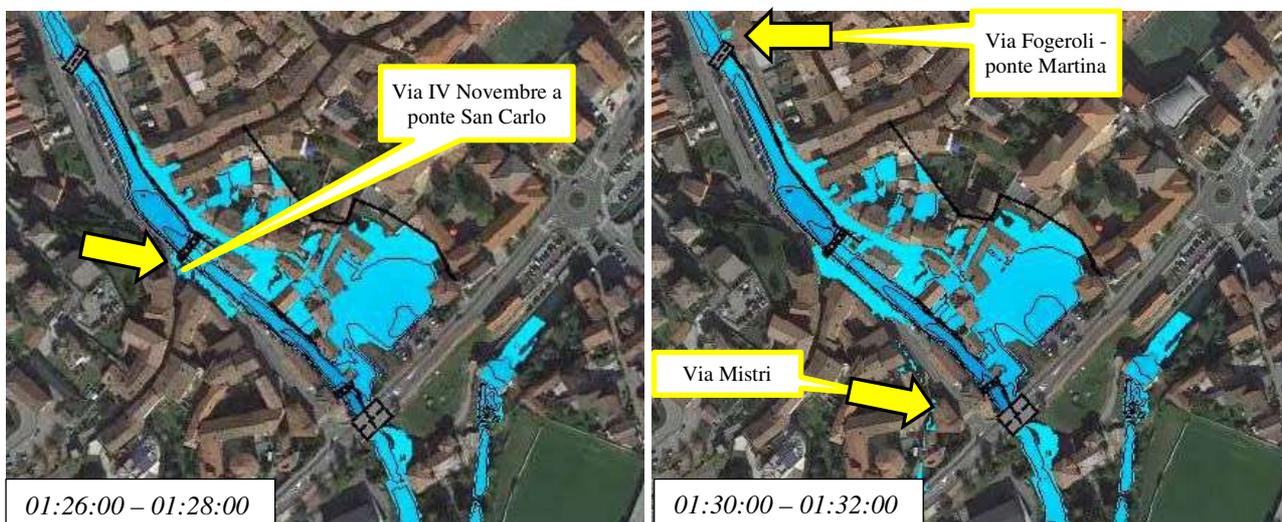
- il settore dove ha inizio l'esondazione del torrente Vertova nel tratto compreso tra Largo Vittorio Veneto e la foce è in sinistra idrografica presso la zona del piccolo parcheggio di via Pizzo immediatamente a monte del ponte di via don B. Ferrari (tempo circa 59 minuti dall'inizio della modellazione);
- da questa zona l'esondazione si propaga verso monte iniziando ad allagare, oltre a via Pizzo in quel settore (civici via Pizzo 18 e via Pizzo 16), anche il prato antistante il terrapieno della ex ferrovia sempre in sinistra idrografica (ostacolo al deflusso del ponte di via don B. Ferrari); verso valle l'esondazione comprende la zona di Prato del Foj oltre lo stesso ponte;



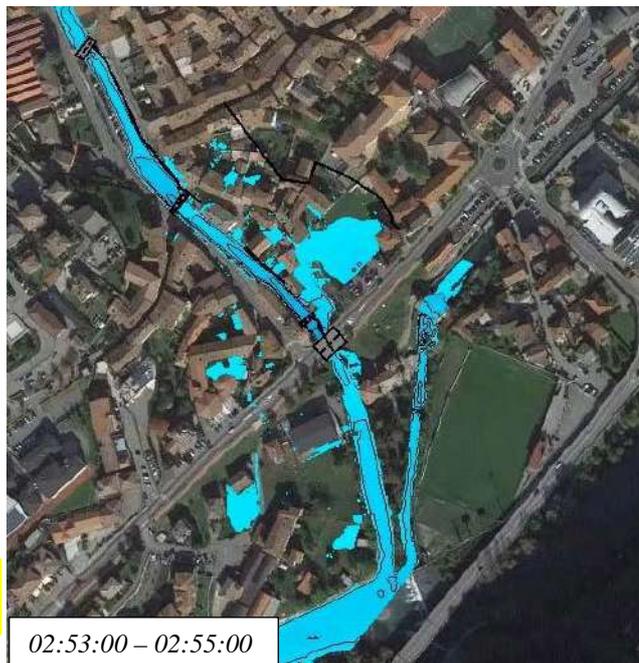
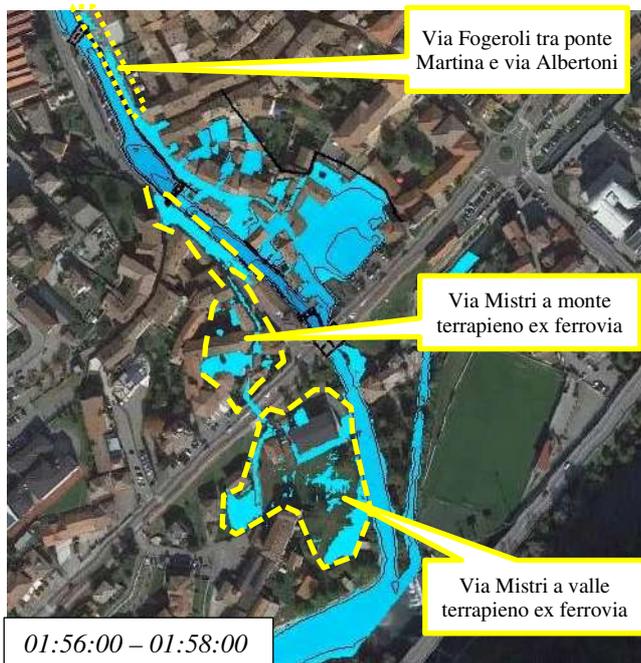
- successivamente l'acqua del torrente inizia a fuoriuscire sempre in sinistra idrografica anche in via Pizzo presso il ponte San Carlo (ostruzione parziale) allagando progressivamente il tratto compreso tra via Albertoni/via Foggeroli e lo stesso ponte ed interessando i giardini e gli accessi ai civici dispari di via Pizzo, raccordandosi all'allagamento del prato antistante il terrapieno della ex ferrovia con l'interessamento anche di tutti i civici di via Pizzo;



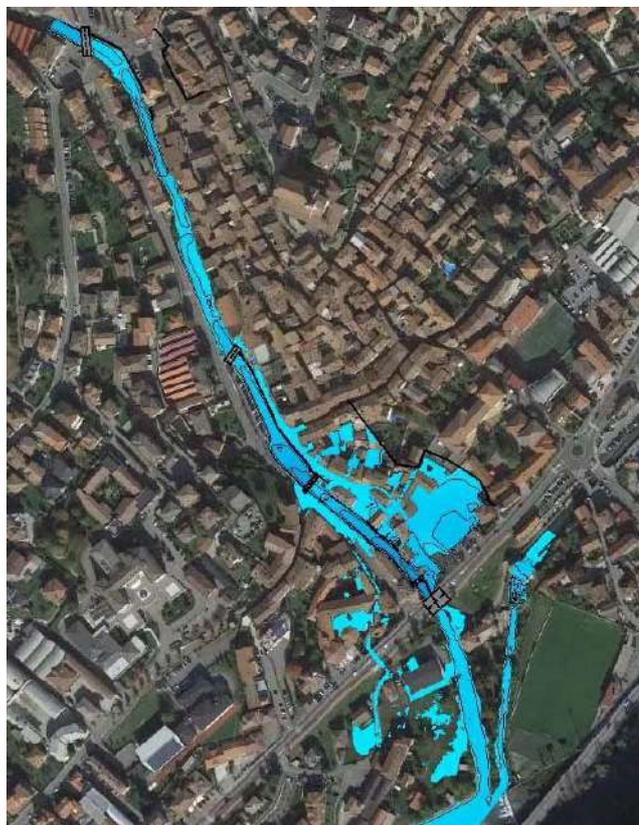
- una volta riempito il settore in sinistra idrografica a quote più basse (la sponda destra di via IV Novembre risulta rialzata a seguito del raccordo con il terrapieno della ex ferrovia) e a causa dello scarso deflusso prima sotto il ponte di via don B. Ferrari e poi sotto il ponte San Carlo ha inizio una modestissima tracimazione di acqua in destra idrografica in corrispondenza del ponte San Carlo (punto più basso di via IV Novembre lungo la sponda);
- la modesta esondazione in destra idrografica prosegue raggiungendo via Mistri ed i cortili che si affacciano su di essa con numeri civici pari che sono in posizione ribassata rispetto alla stessa via; contemporaneamente il livello di innalzamento nel torrente favorisce l'esondazione anche in sinistra idrografica lungo via Foggeroli presso il ponte Martina coinvolgendo la stessa via anche se con livelli idrici molto ridotti.



- l'esondazione prosegue in tutti i lati raggiungendo i livelli massimi intorno alle due ore dall'inizio della modellazione e coinvolgendo quindi il settore di via Pizzo e via Foggeroli in sinistra idrografica a monte del ponte di via don Ferrari; la zona di prato del Foj sempre in sinistra idrografica, ma a valle dello stesso ponte; il settore di via IV Novembre presso l'incrocio con via San Carlo e via Mistri con i cortili e gli accessi adiacenti sia a monte che a valle del terrapieno della ex ferrovia;
- da quell'istante si ha una lenta decrescita sino a quando dopo circa cinque ore l'esondazione si esaurisce.



Complessivamente rispetto alla precedente rappresentazione non sono interessati da esondazione via IV Novembre, da Largo Vittorio Veneto sin quasi al ponte San Carlo e l'ultimo tratto prima dell'incrocio con via don. B. Ferrari, in destra idrografica, e la zona da Largo V. Veneto lungo via Lorenzoni e piazza san Lorenzo in sinistra idrografica. L'area di via Mistri viene invece compresa, a monte e a valle del sottopasso di via Mistri sotto via don B. Ferrari, anche se con livelli idrici modesti.



Confronto tra la rappresentazione PAI-PGRA del torrente Vertova attuale e l'esondazione che emerge dalla modellazione idraulica. In **verde** aree non soggette ad esondazione; in **rosso** aree esondabili per la modellazione

A valle del ponte di via don B. Ferrari occorrerà effettuare successivamente un confronto con le aree di esondazione del fiume Serio determinate a seguito dell'ultimo studio effettuato dall'AdBPo per la valutazione delle aree di esondazione (AdBPo - *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica: del fiume Adda nel tratto tra Olginate e la confluenza Po, del fiume Brembo tra Lenna e la confluenza in Adda e del fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda* – redatto da A.T.I.: MWH, BININI, C.C.I., GEODES, R.A.T.I., 2004).

## 6.8.1 VALUTAZIONE DELLA PORTATA IN INGRESSO AL SISTEMA

(con la collaborazione dell'ing. E.Zucchelli di SAI PROGETTI)

L'idrogramma di piena utilizzato per la modellazione con HEC-RAS raggiunge una portata di picco di 114 mc/s, valore considerevole date le caratteristiche dell'alveo. Le verifiche idrauliche indicano che la portata transita senza problemi sotto il ponte di Largo Vittorio Veneto anche se non viene garantito il franco idraulico già con la portata centennale. Qualche decina di metri a monte è presente un lungo tratto tombinato con sezione apparentemente ridotta e forse insufficiente al transito di tale portata e per tale motivo ne è stata effettuata una verifica idraulica al fine di verificare l'efficienza idraulica di questo manufatto e la compatibilità della portata in ingresso utilizzata per la verifica idraulica all'interno del centro storico.

Le verifiche idrauliche sono state effettuate sulla valle Vertova, nel tratto che si snoda in corrispondenza della tombinatura collocata a monte del centro abitato di sviluppo pari a circa 41 m (indagati i 38 m di tratto tombinato oltre a 3 m a monte del tratto tombinato). Il modello (vedi tavola 5) è stato sviluppato a partire dal rilievo topografico condotto dallo studio tecnico Sergio Grassi nel mese di luglio 2017 su commessa della ditta Elettronica Scalvina (Via V Martiri 1 24129 Vertova) per la quale in quell'occasione era stata redatta una relazione idraulica ritenuta non adeguatamente affidabile dall'UTR di Bergamo (*Elettronica Scalvina – VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEL TRATTO DI ALVEO DEL T. VERTOVA IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE DI CHIUSURA DELL'INSEDIAMENTO DELLA SOC. "ELETTRONICA SCALVINA" IN COMUNE DI VERTOVA – dott. geol. E. Granata, 2017*).

La sezioni di rilievo 10 (sezione di valle) e 30 (sezione di monte), corrispondono nelle simulazioni rispettivamente alle sezioni 10 e 30.

Nella tabella seguente è indicata la corrispondenza tra gli indici di riferimento per le sezioni di rilievo e gli indici di riferimento per le sezioni di simulazione (Valle Vertova).

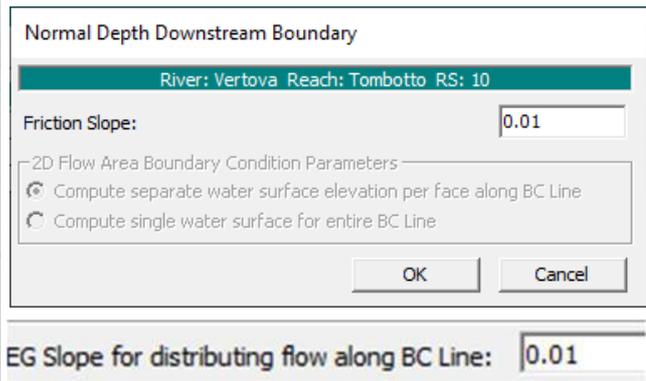
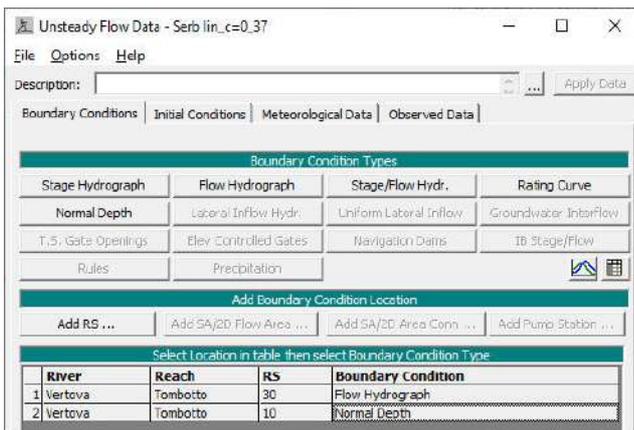
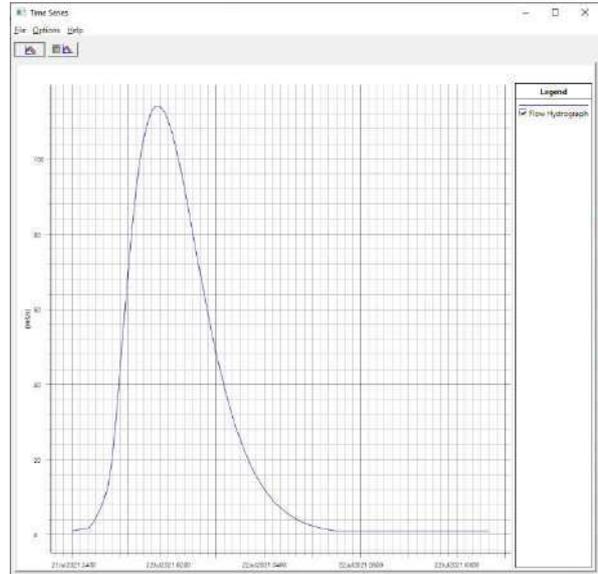
Sezione rilievo	River Station
10	10
20	20
30	30

Per il calcolo del profilo di moto vario si è utilizzato il programma Hec-Ras (River Analysis System-US Army Corps of Engineers-Hydrologic Center) nella versione 6.1. In tale programma le perdite valutate sono quelle di attrito (equazione di Manning) e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica); l'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni.

L'idrogramma di piena impiegato per le simulazioni in moto vario è quello ottenuto dal metodo di Nash con picco di **114,07 mc/s** per coefficiente di deflusso  $c = 0,370$  (vedi figura a lato).

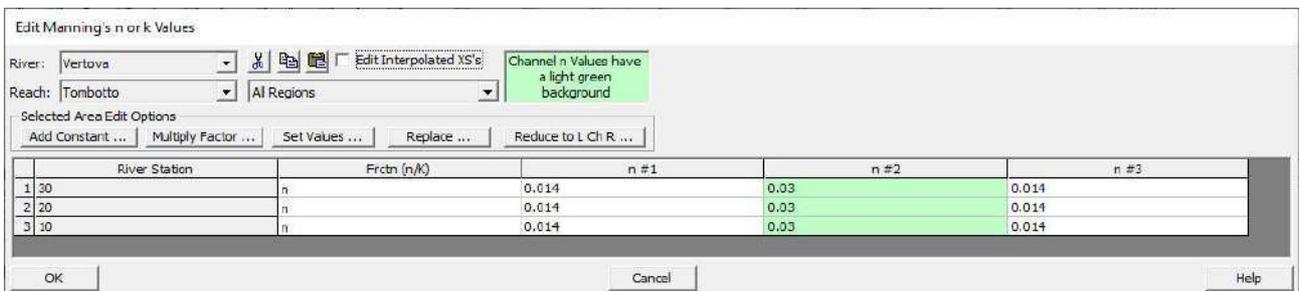
Le condizioni al contorno adottate sono:

- condizione di valle: la condizione di valle per il calcolo del profilo in moto vario è stata posta pari all'altezza di moto uniforme (pendenza alveo 0.01);
- condizione di monte: la condizione di monte per il calcolo del profilo in moto vario, a partire dall'idrogramma di piena, è stata posta pari all'altezza di moto uniforme (pendenza alveo 0.02).



### Coefficienti di scabrezza

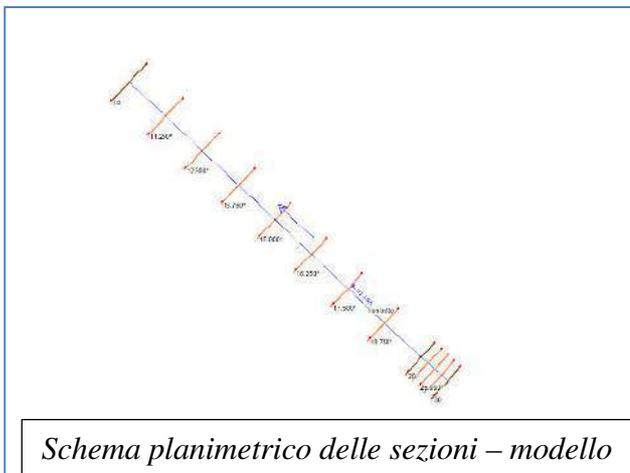
Sulla base di quanto riscontrato durante i sopralluoghi condotti relativamente alle condizioni di fondo alveo, si è deciso per la Valle Vertova di adottare un coefficiente di Manning pari a  $n=0,014$  per le rive in cemento ed un coefficiente di Manning pari a  $n=0,030$  per l'alveo.



### Risultati della simulazione

Di seguito vengono riportati in sintesi con grafici e tabelle i risultati delle simulazioni effettuate.

Le simulazioni condotte, i cui risultati sono rappresentati anche nelle sezioni allegate (TAVOLA 5 con indicazione per la sezione di rilievo n. 20 il battente corrispondente alla portata massima che può transitare nella tombinatura), evidenziano come il deflusso della portata al colmo con tempo di ritorno pari a 100 avvenga saturando completamente la sezione del tratto tombinato. Parte delle portate ( $114,07 \text{ m}^3/\text{sec} - 105,88 \text{ m}^3/\text{sec} = 8,19 \text{ m}^3/\text{sec}$ ), non potendo transitare attraverso la sezione, verranno trasferite alle superfici limitrofe l'imbocco del tratto tombinato.



Schema planimetrico delle sezioni – modello

Occorre tuttavia considerare che il valore della portata utilizzata a favore di sicurezza è calcolato per l'intero bacino del torrente Vertova alla confluenza con il fiume Serio e che il minor bacino all'ingresso del tratto tombinato della Elettrosalvina (in particolare con l'assenza del bacino della valle dei Cereti) può essere tranquillamente depurato della quantità che le verifiche indicano come non transitabile determinando di conseguenza l'adeguatezza della portata in ingresso alle verifiche bidimensionali.

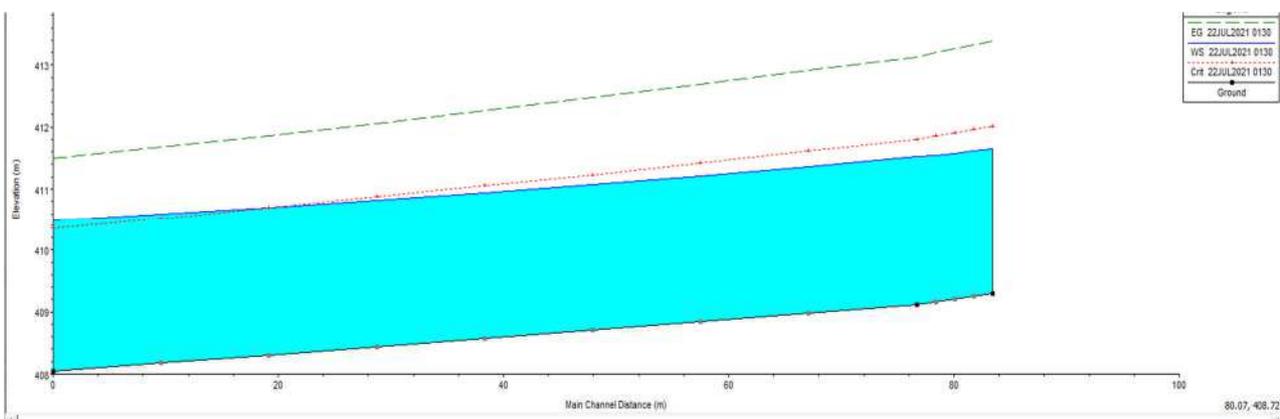
HEC-RAS Plan: serb lin c=0_37 River: Vertova Reach: Tombotto Profile: 22JUL2021 0130												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Tombotto	30	22JUL2021 0130	105.88	409.29	411.64	412.01	413.39	0.010897	5.93	18.29	8.43	1.26
Tombotto	20	22JUL2021 0130	105.86	409.11	411.52	411.80	413.13	0.009599	5.70	19.03	8.43	1.19
Tombotto	10	22JUL2021 0130	105.58	408.04	410.49	410.36	411.50	0.005712	4.47	24.01	10.21	0.93

Total flow in cross section.

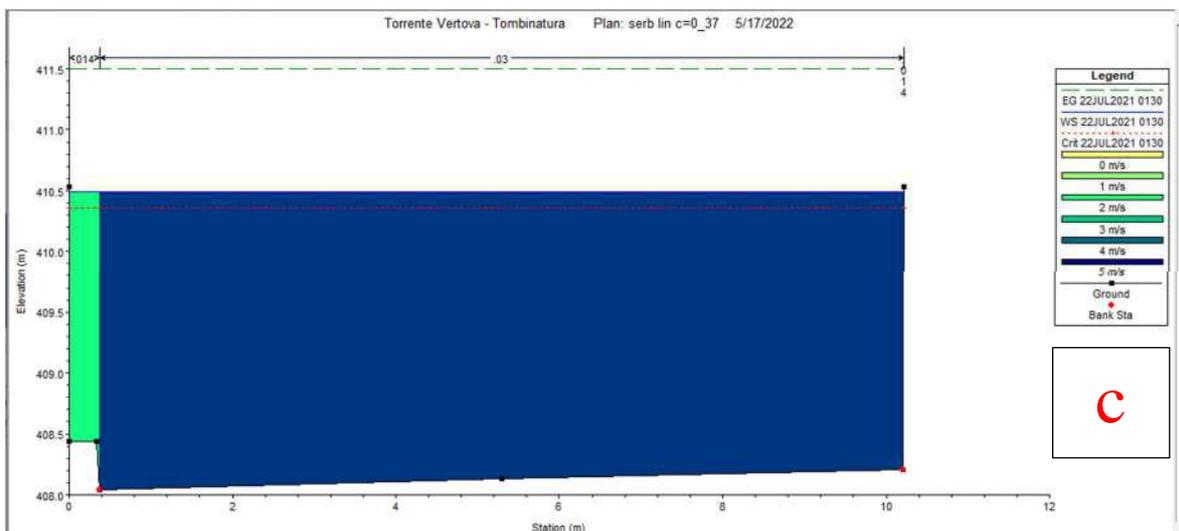
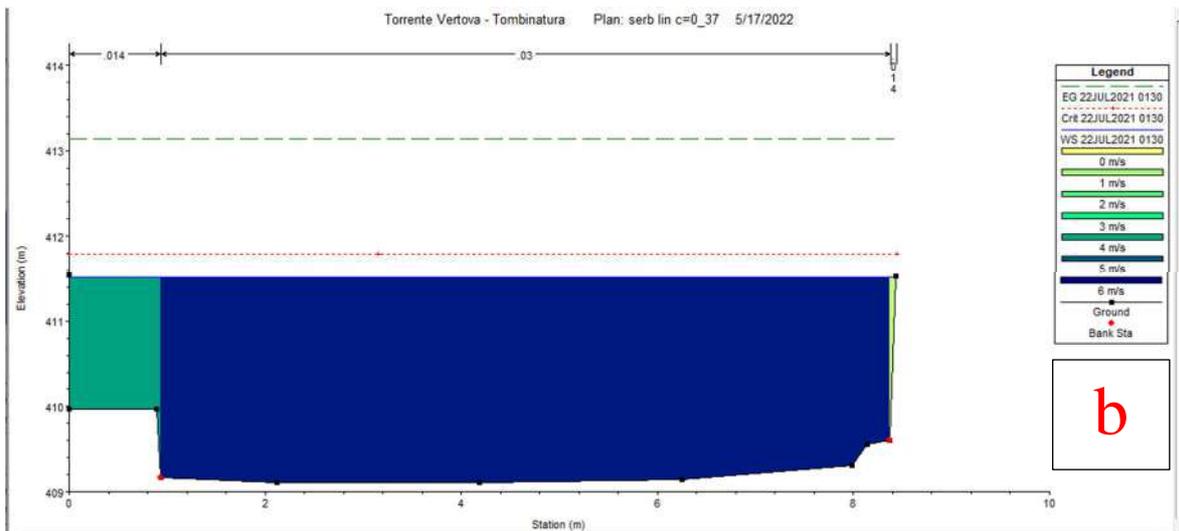
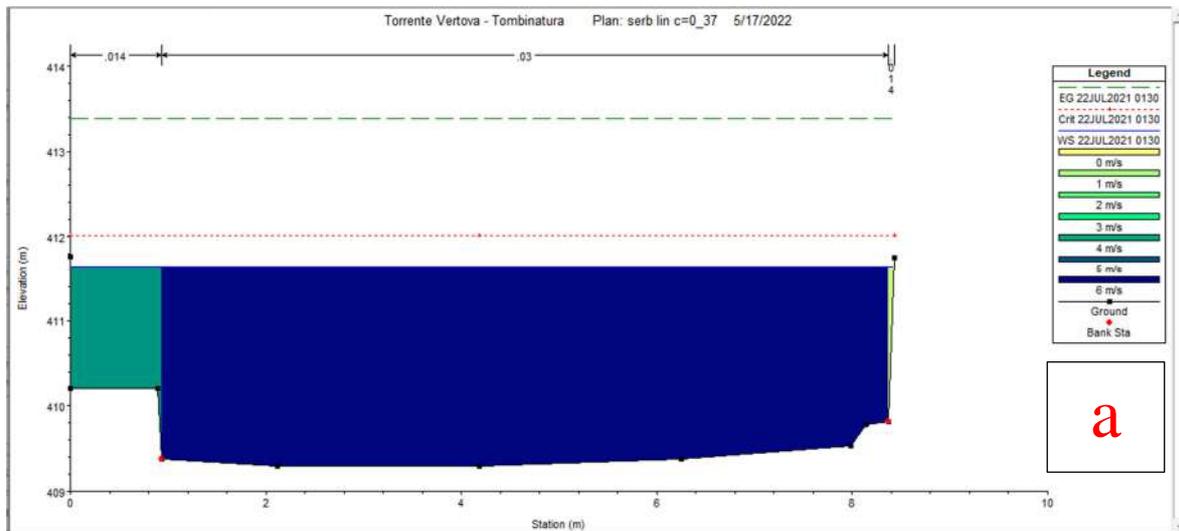
Legenda:

- River station: riferimento alla sezione individuata sull'alveo (si vedano tabelle di corrispondenza e elaborati grafici allegati);	- Crit W.S.: quota in m s.l.m. dell'altezza di stato critico;
- Profile: riferimento al profilo del pelo libero della corrente;	- E.G. Elev.: quota in m s.l.m. dell'energia della corrente;
- Qtotal: valore in m <sup>3</sup> /s della portata di piena;	- Vel Chnl: velocità della corrente in m/s;
- Mm Ch El: quota in m s.l.m. del punto più basso del letto del fiume per la sezione corrispondente;	- Froude Chl: numero di Froude che definisce una corrente veloce per valori > di 1 e corrente lenta per valori < 1.
- W.S. Elev: quota in m s.l.m. del pelo libero della corrente;	- Flow Area: superficie della sezione bagnata in m <sup>2</sup>

Tabella riassuntiva Valle Vertova: – modello portate  $Q = 105,88 \text{ m}^3/\text{sec}$



Rappresentazione profilo longitudinale – modello portate  $Q = 105,88 \text{ m}^3/\text{sec}$



Sezioni idrauliche schematiche: a) Sezione di rilievo 30; b) Sezione di rilievo 20; c) Sezione di rilievo 10.  
 In tutte indicazioni dei battenti per la portata  $Q = 105,88 \text{ m}^3/\text{sec}$  e indicazione per la portata  $Q = 105,88 \text{ m}^3/\text{sec}$  della velocità della corrente discretizzata per settori

## 6.8.2 CONDIZIONI AL CONTORNO DELLA PORTATA ALLA CONFLUENZA CON IL FIUME SERIO (USCITA DEL SISTEMA)

Il deflusso del torrente Vertova trova la sua naturale fuoriuscita nel fiume Serio presso la confluenza con tale fiume.

Il tempo di corrivazione del bacino del torrente Vertova è di 1,8 h (108 minuti) come indicato nei capitoli precedenti; per il fiume Serio vi sono dati disponibili per lo studio già richiamato in precedenza (AdBPo - *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica: del fiume Adda nel tratto tra Olginate e la confluenza Po, del fiume Brembo tra Lenna e la confluenza in Adda e del fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda* – redatto da A.T.I.: MWH, BININI, C.C.I., GEODES, R.A.T.I., 2004) dove il tempo di corrivazione del fiume Serio a Ponte Cene (pochi km a Sud della confluenza con il torrente Vertova) è di 6,14 h.

Già da questi dati è evidente come il caso che si verifichi contemporaneamente un'onda di piena per il torrente Vertova e per il fiume Serio non è probabile.

Ad ulteriore conferma di ciò viene effettuato il raffronto tra l'onda di piena calcolata per il torrente Vertova con il metodo di Nash in cui il picco di massima piena avviene a poco meno di 2 ore e le portate di piena di riferimento del fiume Serio a Ponte Cene disponibili nello stesso studio precedentemente citato dove il tempo di picco avviene a circa 27 ore per qualsiasi tempo di ritorno.

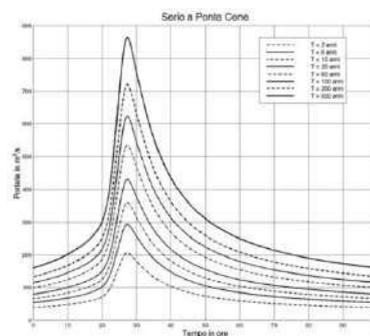
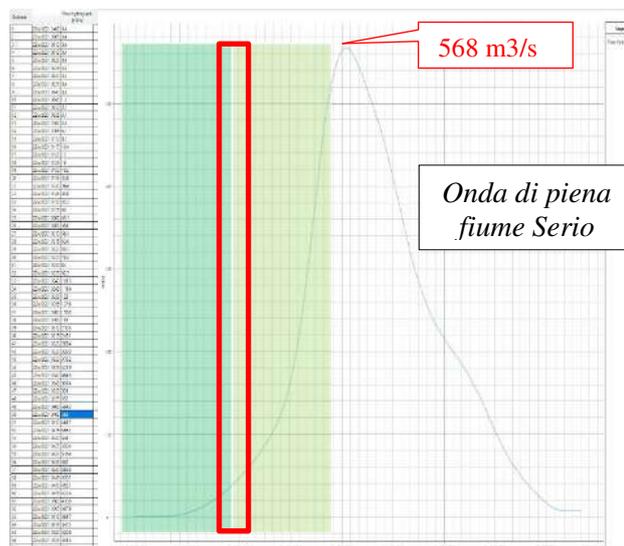
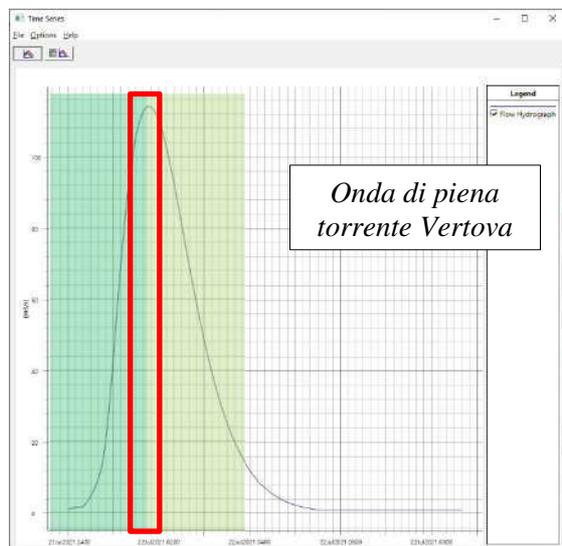


Figura 40 – Onde di piena di assegnato tempo di ritorno per il Fiume Serio a Ponte Cene.



Ai fini pratici per la modellazione della portata di piena del fiume Serio è stato inserito nel programma un idrogramma di piena con portata massima pari a 568 m<sup>3</sup>/s con una durata di circa 8 ore con tempo di zero dell'onda di piena coincidente con quello dell'onda di piena del torrente Vertova e picco a 4 ore. In tal modo nel fiume Serio durante la piena del torrente Vertova si ha una portata che cresce da pochi mc/s a 568 m<sup>3</sup>/s con valori che raggiungono lo stesso ordine di grandezza della portata del torrente Vertova al picco di quest'ultima (tra 50 e 100 m<sup>3</sup>/s nel periodo compreso tra 2 e 2,5 ore dall'inizio dell'evento di piena).

### 6.8.3 INIZIO ESONDAZIONE E CONSIDERAZIONI DI ATTENDIBILITÀ

Nel seguente paragrafo verrà presentata la fase di inizio esondazione provocata dalla crescita della curva dell'idrogramma di piena.

Dall'osservazione delle mappe ottenute dalla simulazione si riesce a percepire che l'istante in cui l'acqua esonda dall'alveo è quello relativo al minuto 59:24 della simulazione, ed il luogo è la zona del parcheggio di via Pizzo, posto appena a monte del ponte che costituisce via Don B. Ferrari.

Con riferimento alla curva a campana si evince che la portata relativa a all'istante in questione è di circa 43 mc/s, che deve essere interpretata come massima portata transibile nel tratto indagato prima dell'inizio dell'esondazione. (vedi tabella seguente).



Enter Table Data time interval: 5 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 22JUL2021 Time: 0000

Fixed Start Time: Date: 22JUL2021 Time: 0000

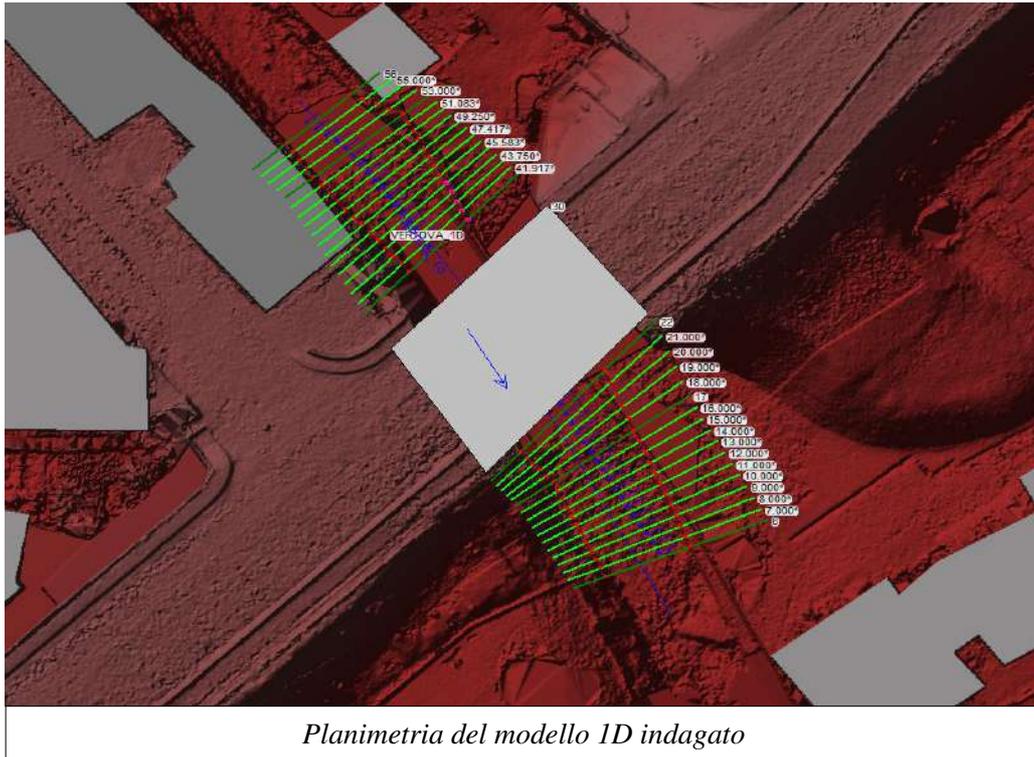
No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	21Jul2021 2400	00:00:00	0.01
2	22Jul2021 0005	00:05:00	0.03
3	22Jul2021 0010	00:10:00	0.24
4	22Jul2021 0015	00:15:00	0.74
5	22Jul2021 0020	00:20:00	1.6
6	22Jul2021 0025	00:25:00	2.85
7	22Jul2021 0030	00:30:00	4.51
8	22Jul2021 0035	00:35:00	6.62
9	22Jul2021 0040	00:40:00	9.28
10	22Jul2021 0045	00:45:00	13.02
11	22Jul2021 0050	00:50:00	19.83
12	22Jul2021 0055	00:55:00	29.40
13	22Jul2021 0100	01:00:00	43.33
14	22Jul2021 0105	01:05:00	56.81
15	22Jul2021 0110	01:10:00	69.77
16	22Jul2021 0115	01:15:00	81.48
17	22Jul2021 0120	01:20:00	91.51
18	22Jul2021 0125	01:25:00	99.66
19	22Jul2021 0130	01:30:00	105.88
20	22Jul2021 0135	01:35:00	110.25
21	22Jul2021 0140	01:40:00	112.92
22	22Jul2021 0145	01:45:00	114.07
23	22Jul2021 0150	01:50:00	113.9
24	22Jul2021 0155	01:55:00	112.59
25	22Jul2021 0200	02:00:00	110.21
26	22Jul2021 0205	02:05:00	106.86
27	22Jul2021 0210	02:10:00	102.69

Tabella idrogramma di piena sia modello 1D che 2D; è evidenziata la portata nel momento in cui il torrente Vertova inizia ad esondare presso il parcheggio di via Pizzo (      modello 2D,      modello 1D)

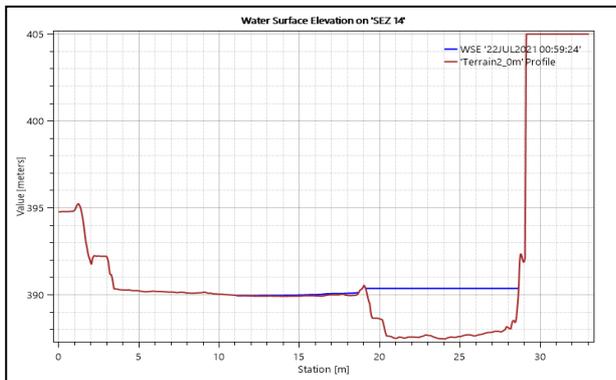
Al fine di accertarsi della correttezza del limite individuato si è proceduto ad eseguire il modello monodimensionale dell'alveo in un tratto a cavallo del ponte in esame. Il breve tronco indagato ha lunghezza di poco inferiore ai 60 metri ed è diviso in parti uguali tra monte e valle.

Nell'immagine si riporta il modello appena descritto con evidenziate in colore verde tutte le sezioni introdotte. In grigio è visibile anche il ponte a doppia arcata che consente il transito veicolare su via Don Ferrari.

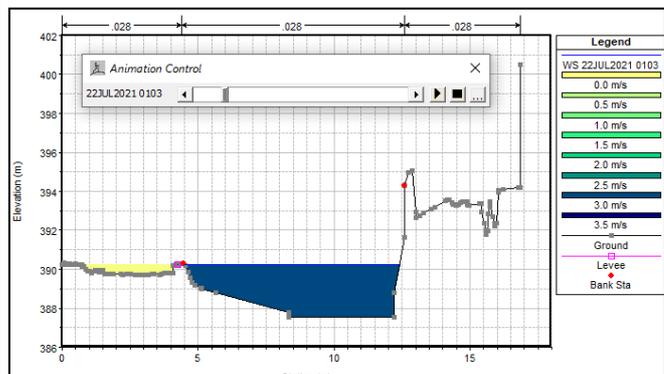


L'analisi condotta è di moto vario e spinge la stessa onda di piena prevista per il modello 2D. L'acqua fluisce dalla sezione di monte che è la n.56. La sezione a monte del ponte dove ha inizio l'esondatazione prevista dal modello 2D è la n.46.50 mentre la sezione tipica sotto il ponte è la n.30, ed infine quella di uscita del fluido dal modello è quella di valle ed ha nome n.6.

Al termine dell'analisi i risultati ottenuti nelle sezioni sono i seguenti.



*SEZ.14 MODELLO 2D – MIN. 0:59:24*

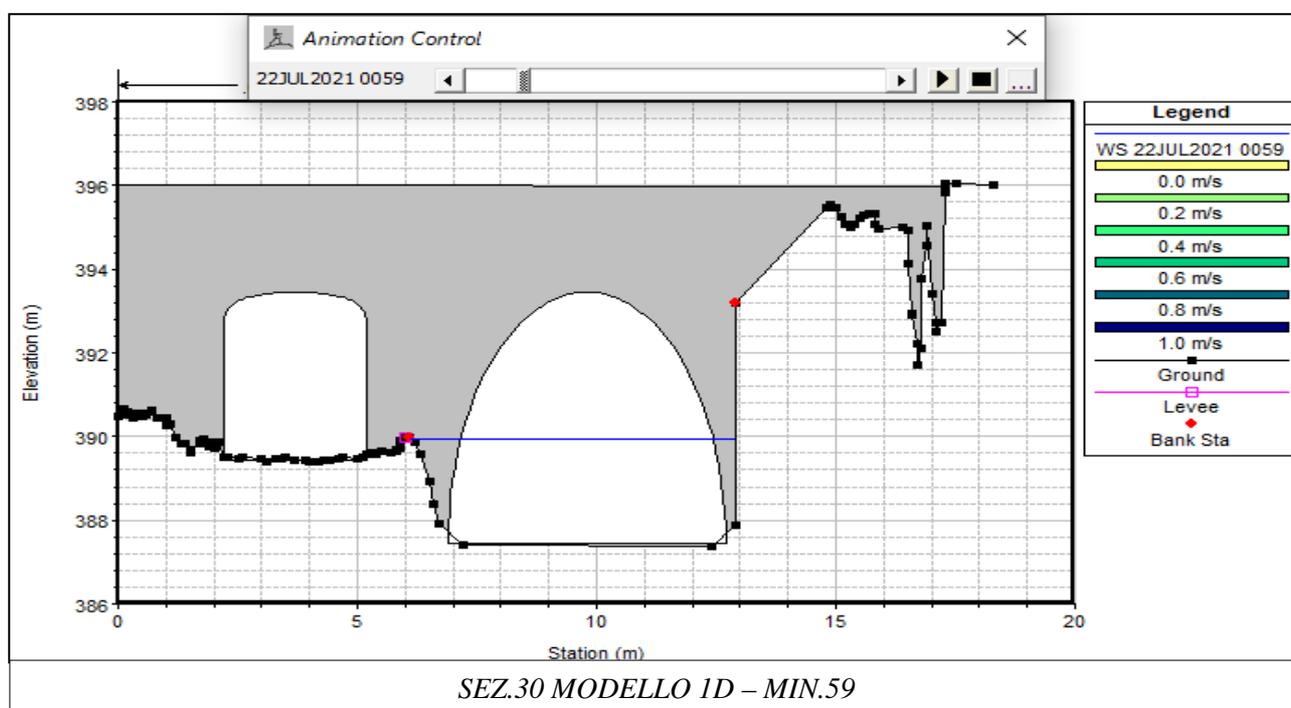


*SEZ.46.50 MODELLO 1D – MIN. 1:03:00*

Per il modello 1D la portata di esondazione è quindi quella relativa all'istante 1:03 ed il cui valore è 51 mc/s (vedi tabella precedente).

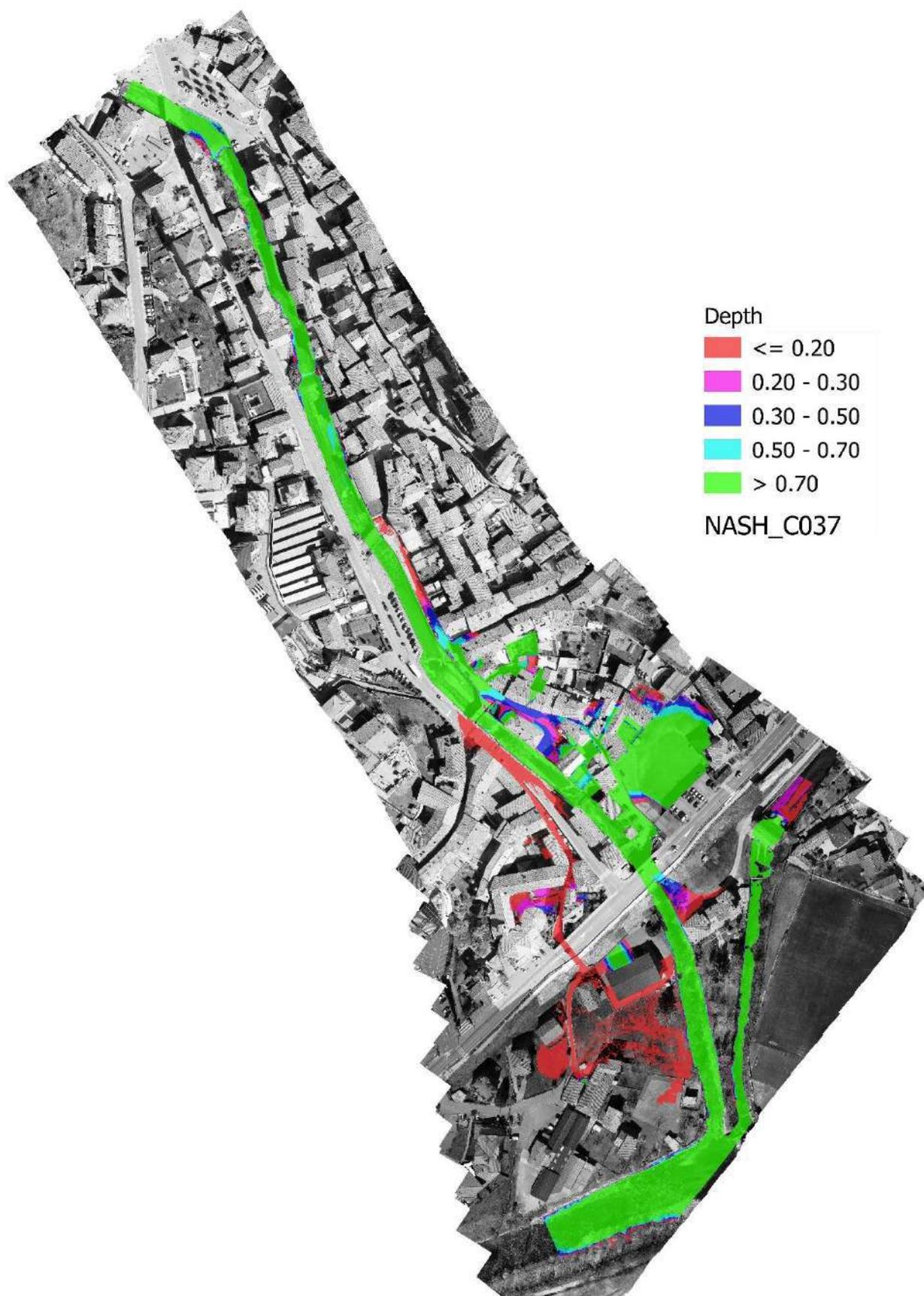
Tra i due modelli vi sono quindi circa 8 mc/s di differenza. In particolare, nel modello 1D fluisce una portata leggermente superiore nell'istante dell'esondazione rispetto al modello 2D. La discrepanza va ricercata nei vettori di velocità trattati in maniera differente nei due modelli. Cercando di semplificare si potrebbe attribuire alla componente trasversale all'asse d'alveo delle velocità il rallentamento in direzione della corrente. Tale rallentamento agisce sul moto e sull'innalzamento dei tiranti.

Andando ad analizzare quello che succede nella sezione n.30 (sezione tipica del ponte) si evince però che l'istante di incipiente esondazione è proprio quello del minuto 0:59:00 come registrato dal modello 2D. Di seguito l'immagine della sezione che coglie l'attimo dell'esondazione.



Alla luce della comparazione dei due modelli si può asserire con un certo grado di sicurezza che il modello 2D adottato per la simulazione dia risultati attendibili.

Si tenga anche presente come risulterà dalle verifiche effettuate per il ponte Mistri e il ponte della Fabbrichetta, in un tratto del torrente Vertova più a monte di quello considerato nello studio bidimensionale, che la portata per cui si ha inizio dell'effetto di scavalco del ponte Mistri con fuoriuscita di acqua su via 5 Martiri che rientra nel tratto immediatamente successivo al ponte è di circa 55 m<sup>3</sup>/s valore che è stato probabilmente raggiunto durante l'evento di maggio 2018 durante il quale si è avuto lo scavalco del ponte per pochi centimetri di altezza, ma per il quale non è stata indicata nessuna problematica all'interno del tratto urbano del torrente Vertova. Anche questo dato conferma l'accuratezza delle verifiche idrauliche effettuate e l'attendibilità delle stesse.

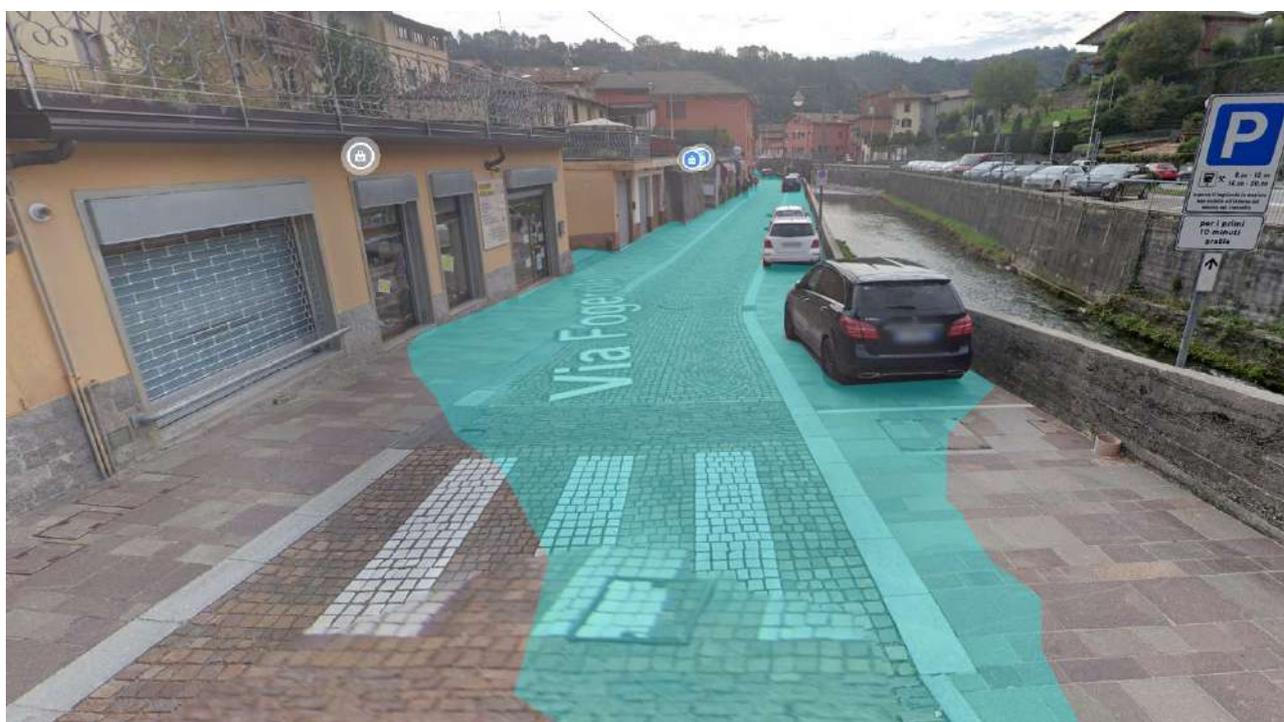


Modellazione HEC-RAS con metodo di Nash (coeff. deflusso 0,370) con rappresentazione dei livelli dei tiranti idrici

#### 6.8.4 RAPPRESENTAZIONE E DESCRIZIONE DELLE AREE DI ESONDAZIONE

Le aree di esondazioni precedentemente individuate e descritte in planimetria (vedi tavola 1) sono riportate nelle sezioni di tavola 2 e 3, come anche nella sezione longitudinale di tavola 4 come indicazione dei livelli idrometrici raggiunti, mentre nella figura alla pagina precedente viene riportata una mappa analoga a quella della tavola 1 con l'indicazione dei livelli idrici raggiunti dal deflusso del torrente e dall'esondazione dello stesso lungo le strade adiacenti il torrente.

Dalle sezioni si osserva come lungo via Foggeroli i tiranti non superano 25 cm di altezza (sezione 32 vicino a via Albertoni) riducendosi a 13 cm più ad ovest (sezione 35) e a pochi centimetri presso il ponte Martina.



*Rappresentazione della sola zona di esondazione in via Foggeroli con presenza dell'acqua in trasparenza*

Anche lungo via IV Novembre i tiranti sono molto bassi compresi tra 6 e 10 cm (sezione 19, 21, 25 e 26), mentre aumentano lungo il percorso di via Mistri pur rimanendo in ogni caso sullo stesso ordine di grandezza (vedi sezione 19) o entro i 15÷20 centimetri di altezza come risulta dalla mappa dei tiranti in quella zona (colore rosso carminio con  $H < 20$  cm); solo nei cortili di via Mistri n.5 (a N della via) e di via Mistri n.10 e n.12 (a Sud della via) vengono raggiunti tiranti compresi tra 35 e 50 cm, nel tratto di via a monte del terrapieno della ex-ferrovia.



*Rappresentazione della sola zona di esondazione in via IV Novembre a lato del ponte San Carlo e all'innesto con via San Carlo con presenza dell'acqua in trasparenza*



*Rappresentazione della sola zona di esondazione in via IV Novembre all'incrocio con via Mistri con presenza dell'acqua in trasparenza*



*Rappresentazione della sola zona di esondazione in via Mistri civici 5, 10 e 12 con acqua in trasparenza*

A valle dello stesso terrapieno lungo la strada rimangono livelli bassi inferiori a 20 cm, mentre livelli considerevoli sono raggiunti presso l'accesso del capannone della ditta di via Mistri 11 in cui l'accesso al capannone è ribassato rispetto al piano campagna circostante (altezze sino a quasi un metro dal piano campagna) o presso l'accesso di via Mistri 17, anch'esso in discesa verso l'edificio in disuso (altezze di quasi 50 cm).

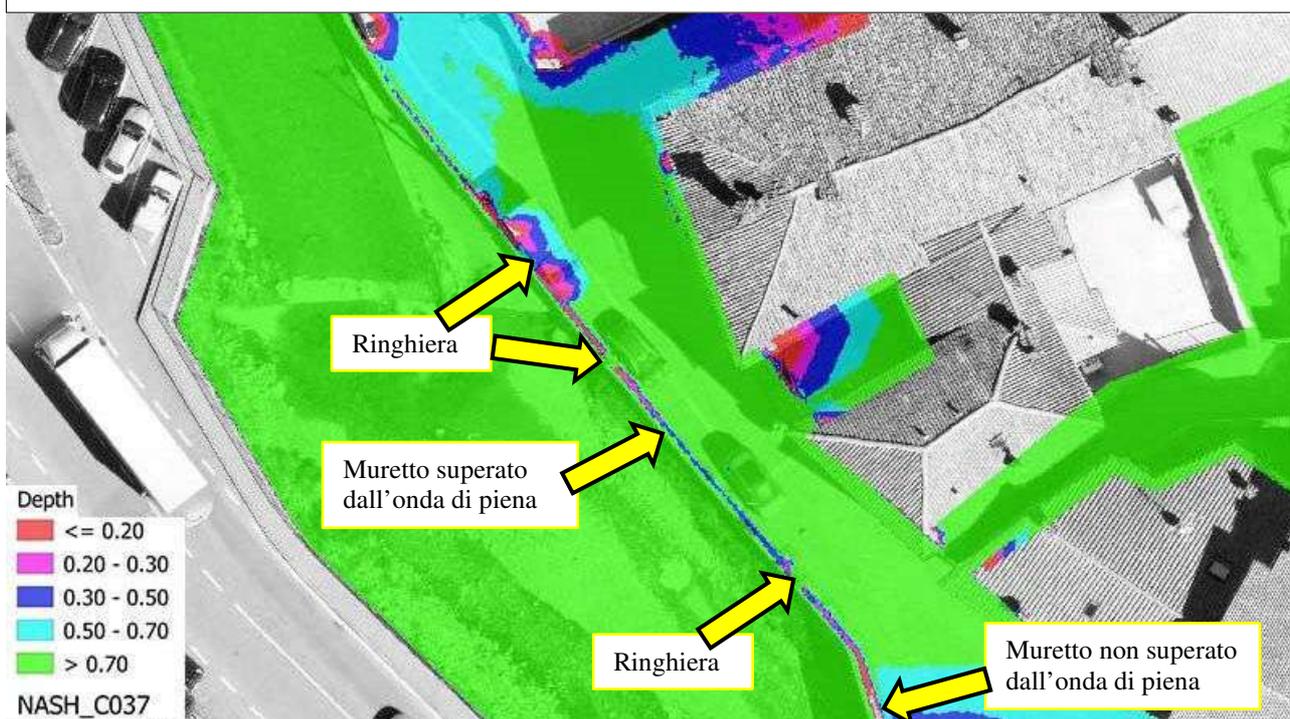


*Rappresentazione della zona di esondazione in via Mistri civici n.11 (in alto) e n.17 con acqua in trasparenza*

Per quanto riguarda il settore di via Pizzo i tiranti idrici sono considerevolmente superiori con allagamenti di maggior estensione. Nel tratto compreso tra via Albertoni e il ponte San Carlo il tirante idrico supera anche il metro di altezza (vedi sezione 26) e gli accessi carrali, soprattutto quello al civico n.11, permettono il deflusso verso i cortili interni ubicati a quote inferiori rispetto a via Pizzo dove si raccoglie oltre un metro di acqua. In questo settore il muro spondale è interrotto da ringhiere che favoriscono il deflusso dal torrente verso via Pizzo e in ogni caso il livello di piena raggiunto con la modellazione supera i muri esistenti di  $0,25 \div 0,35$  m (vedi figure seguenti).



*In alto: rappresentazione della zona di esondazione in via Pizzo tra via Albertoni e il ponte San Carlo (in trasparenza il livello d'acqua); in basso: particolare della mappa dei tiranti idrici in corrispondenza del muro spondale di via Pizzo*



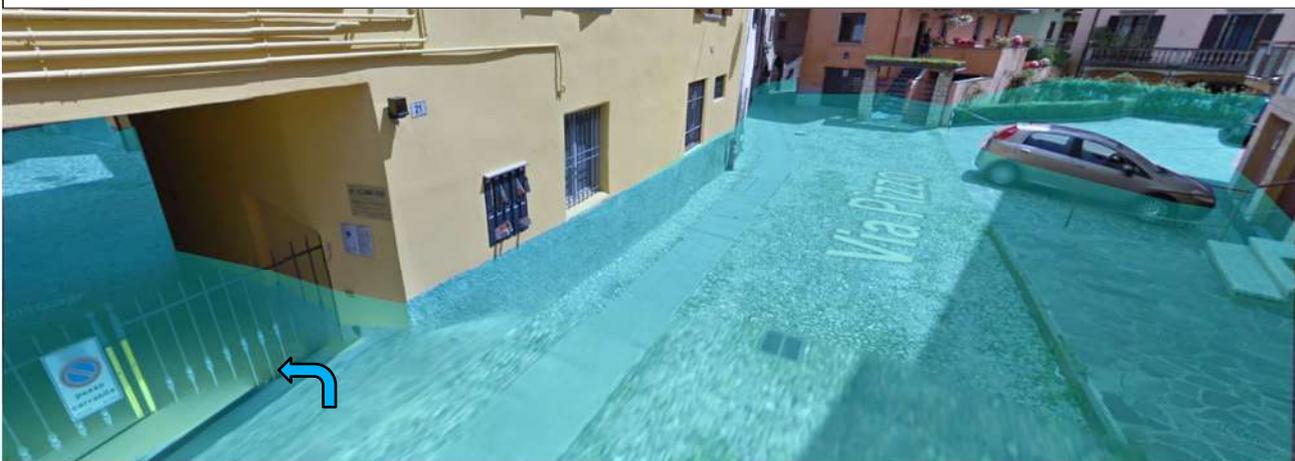


*zona di esondazione in via Pizzo n.11 tra via Albertoni e il ponte San Carlo (la freccia indica la direzione verso l'ingresso carrale del civico n.11; in trasparenza il livello d'acqua)*

Dal ponte San Carlo l'acqua di piena tracimata in via Pizzo defluisce nella stessa via con tiranti di media entità (30÷50 cm) allagando i civici che si affacciano su di essa, senza che il torrente superi il muro spondale in sinistra idrografica in questo tratto (vedi sezione 19). In alcune zone, ingresso box di via Pizzo n.5, cortile di via Pizzo n.21, aree a giardino dei civici n.8, n.14 e n.31 il livello cresce significativamente sino a superare anche il metro (vedi sezione 19).



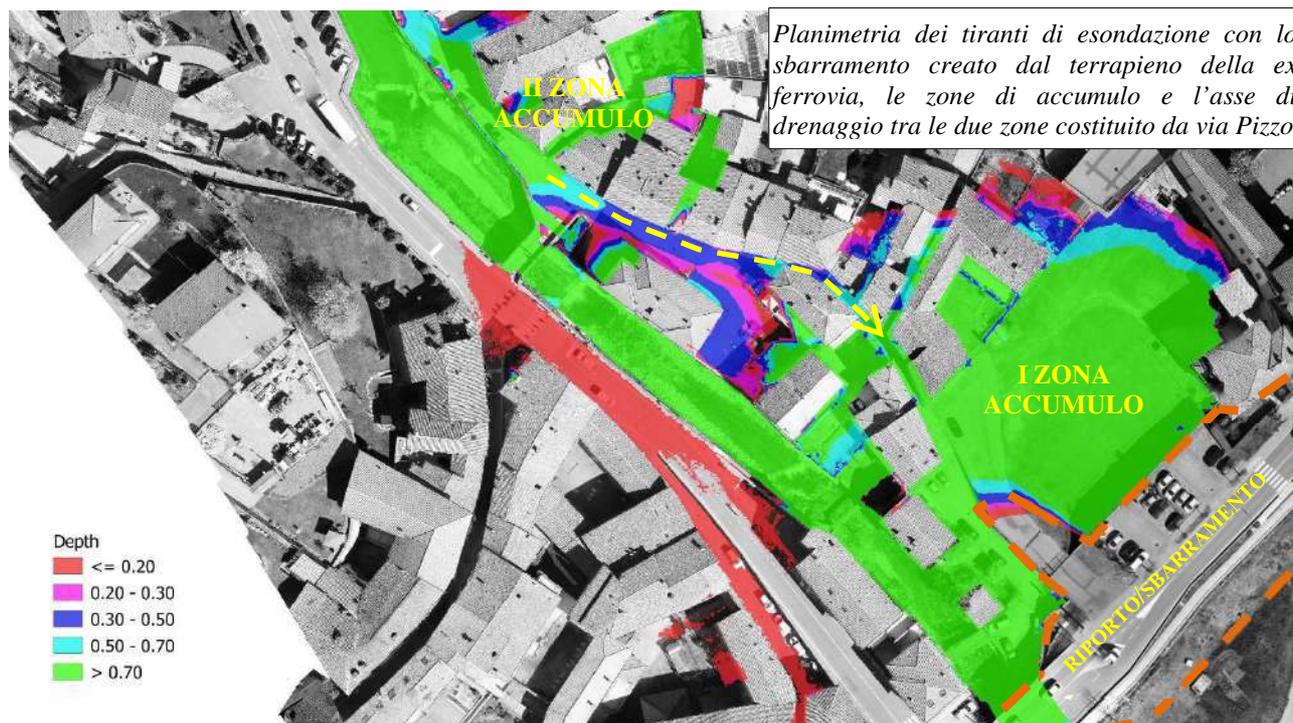
*zona di esondazione in via Pizzo dal ponte San Carlo (la freccia indica la direzione verso l'ingresso carrale del civico n.21; in trasparenza il livello d'acqua); l'acqua del torrente rimane in alveo in questo tratto.*



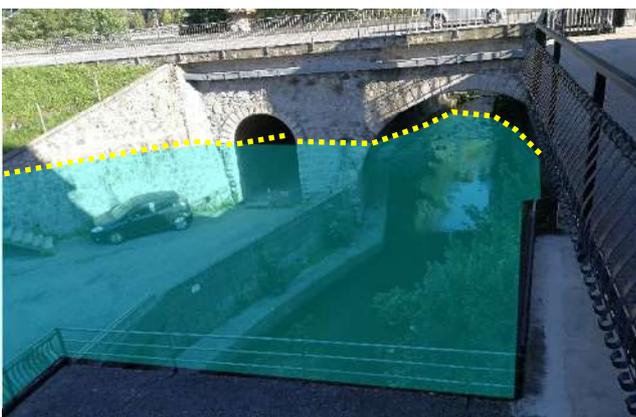


*Il budello di via Pizzo (dal civico 12 al civico 14 e dal civico 27 al civico 35 in cui defluisce l'esondazione del torrente Vertova (a, b, c) con anche l'accesso carrale in sinistra al civico 35 (d); la freccia indica la direzione verso l'ingresso carrale del civico n.35, in trasparenza il livello d'acqua.*

Il tirante idrico verso l'ultimo tratto di via Pizzo (ingresso carrale del civico n.35) inizia ad aumentare a causa dell'effetto sbarramento dell'acqua esondata dal torrente Vertova più a valle in corrispondenza del ponte di via don B. Ferrari dove ha già allagato il settore di via Pizzo immediatamente a monte del terrapieno della ex ferrovia (vedi sezione 14).



In tale contesto si osservano i livelli più alti dei tiranti idrici di esondazione (vedi sezione 14) dove si raggiungono oltre 2,6 m di altezza con l'allagamento oltre che di via Pizzo anche del grande prato antistante l'area del municipio e di Ca' del Fatur proprio a causa dello sbarramento del terrapieno della ex ferrovia e della scarsa luce di scarico del ponte di via don B. Ferrari e del sottopasso di via Pizzo in continuità con il ponte stesso.



*Il settore di via Pizzo immediatamente a monte del terrapieno della ex ferrovia e del ponte di via don B. Ferrari che si allarga in sinistra del torrente Vertova nell'ampio prato della Ca del Fatur e presso il municipio e la scuola elementare in una serie di foto a 360°; in trasparenza il livello d'acqua, la linea gialla tratteggiata identifica il livello. Questo è il settore con i livelli massimi raggiunti dall'esondazione del torrente Vertova.*

Il livello di 2,6 metri è sicuramente sovrastimato rispetto a quanto può avvenire in realtà poiché si è ipotizzato che l'acqua non entri all'interno degli edifici considerandoli come corpi impenetrabili ai fini di una semplificazione del modello, come descritto in precedenza. Dal punto di vista qualitativo dal momento che le aree coperte da edifici in questo settore rispetto alle aree allagate è circa del 50% significa che i volumi di acqua esondata potranno raggiungere altezze pari a circa la metà del valore realmente calcolato (circa 1,3 m). Si tratta in ogni caso di altezze idriche molto elevate che determinano un elevato grado di pericolosità.

L'ultimo settore interessato da esondazione sempre in sinistra idrografica è la zona di Prato del Foj immediatamente a valle del terrapieno della ex ferrovia. La modellazione indica come l'acqua raggiunga tale zona provenendo dall'esondazione in via Pizzo a monte del ponte di via don B. Ferrari attraverso il sottopasso che permette l'accesso a questa zona da via Pizzo. Il tirante è modesto ed inferiore a 50 cm (vedi sezione 11).



*La zona di esondazione in sinistra idrografica di Prato del Foj; in trasparenza il livello d'acqua.*

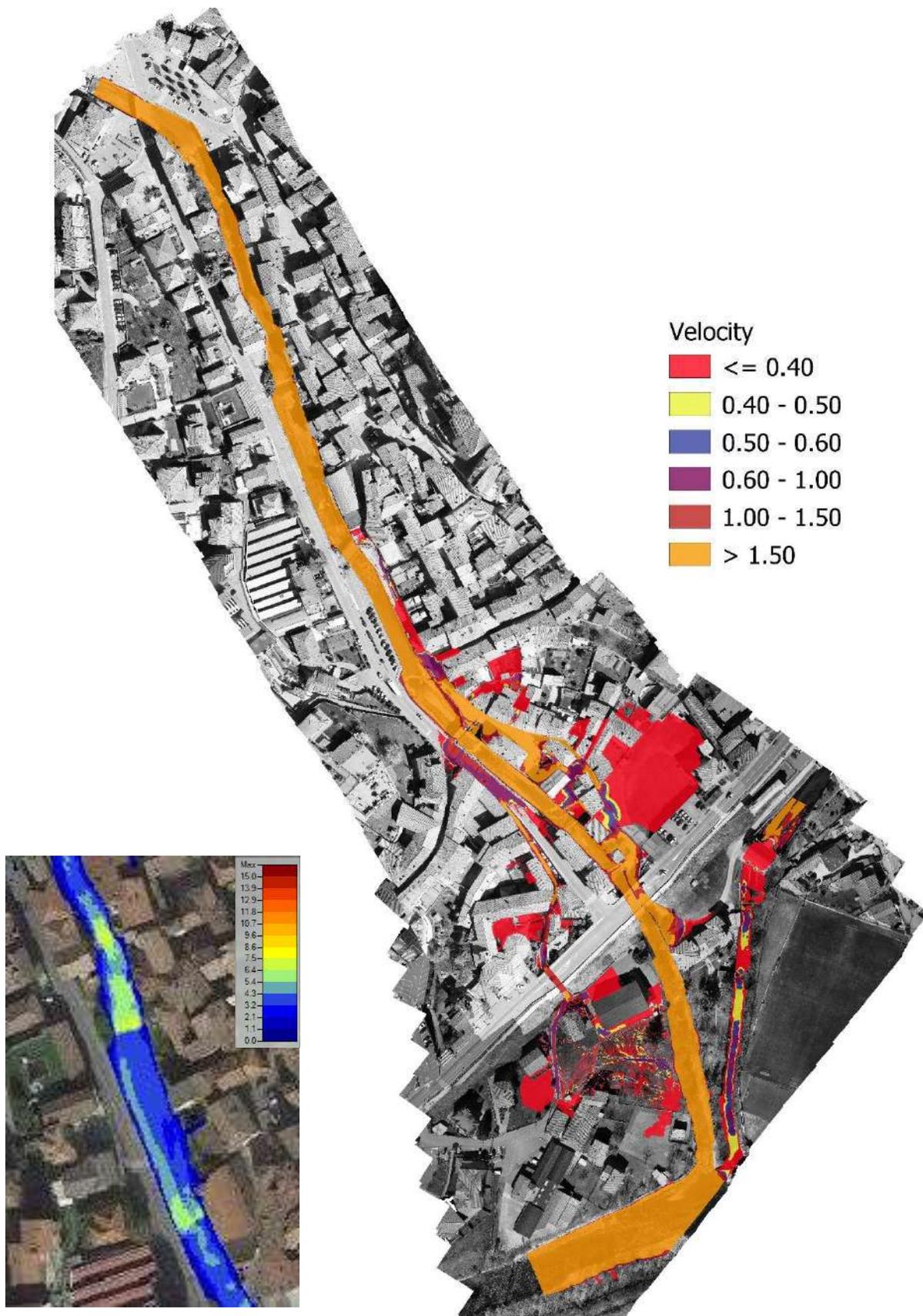
#### 6.8.5 VELOCITÀ DELL'ONDA DI PIENA NELL'ALVEO E NELLE ZONE DI ESONDAZIONE

La situazione illustrata ha messo sinora in evidenza le aree che possono essere soggette ad esondazione unicamente sulla base dei tiranti idrici ottenuti dalla modellazione.

Le verifiche bidimensionali effettuate con HEC-RAS permettono di definire non solo le altezze dei tiranti presenti all'interno dell'alveo del torrente o nelle zone limitrofe che risultano allagate per esondazione del torrente, ma anche le velocità dell'acqua in ogni suo punto. Sulla tavola 1a infatti è rappresentata non solo l'altezza dei tiranti idrici, ma anche la rappresentazione planimetrica delle velocità raggiunte in ogni cella di calcolo che per completezza viene riportata anche nella pagina seguente unitamente.

La determinazione della velocità è fondamentale per la determinazione della classe di pericolosità di ciascuna cella caratterizzata dall'incrocio tra il valore del tirante e quello della velocità secondo uno schema definito nell'allegato 4 della dgr 2616/2011.

Dall'analisi della mappa delle velocità (qui rappresentata per meglio definire i vari campi di pericolosità di esondazione) si osserva, come ovvio, che le velocità maggiori sono in corrispondenza dell'asse del torrente Vertova e del fiume Serio con valori sempre superiori a 1,5 m/s. Un'analisi di dettaglio che definisca in modo più specifico anche le velocità maggiori chiarisce che all'interno dell'alveo si hanno variazioni di velocità soprattutto in corrispondenza dei salti di fondo e/o briglie come tipicamente accade in tale contesto con valori che localmente possono raggiungere i 7 m/s.



Modellazione HEC-RAS con metodo di Nash (coeff. deflusso 0,370) con rappresentazione delle velocità di deflusso della corrente; in basso a sinistra dettaglio dell'alveo con rappresentazione estesa dei valori di velocità

Per quanto riguarda le velocità nelle zone di esondazione si osservano le seguenti caratteristiche:

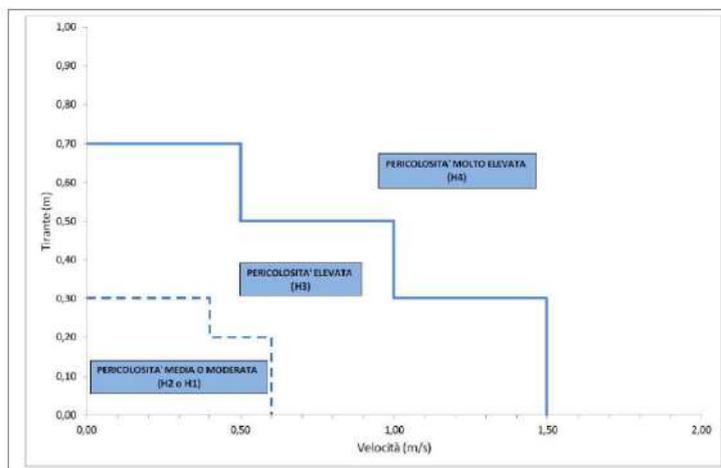
- le zone soggette ad allagamento con scarso deflusso (in sinistra idrografica via Foggeroli e le aree tra le case dei numeri civico dispari di via Pizzo di fronte al ponte San Carlo o nella zona del prato della Cà del Fatur; in destra idrografica la zona di via IV Novembre e le aree dove si allagano i cortili di via Mistri) sono anche caratterizzate da bassi valori di velocità di deflusso ( $v < 0.4$  m/s);
- le zone dove invece si ha deflusso del tirante idrico facilitato dal percorso di vie e strade ricadono invece in prevalenza nella categoria con velocità superiori a 1,5 m/s; anche nei tratti con pendenza media la velocità non scende al di sotto di 0,5 m/s (via Pizzo tra ponte San Carlo e piccolo parcheggio presso ponte via don B. Ferrari, via IV Novembre prima dell'innesto in via Mistri e la stessa via Mistri).

### 6.8.6 PERICOLOSITÀ DI ESONDAZIONE

La correlazione tra i dati di tirante idrico e di velocità della corrente è necessaria per la valutazione della pericolosità per esondazione, secondo i criteri dell'allegato 4 della dgr 2616/2011. Lo schema per la determinazione della pericolosità è riportato nel grafico seguente.

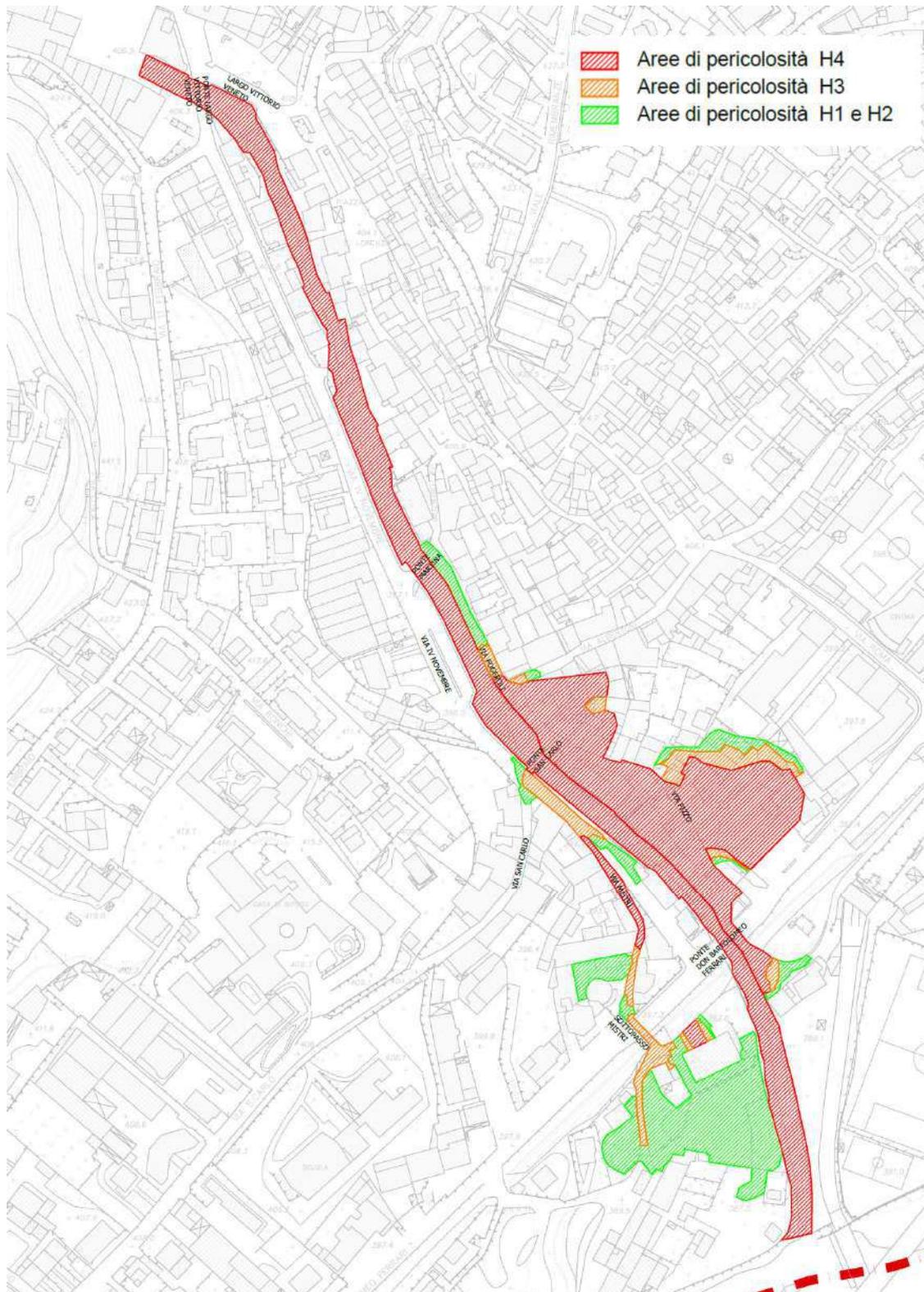
La tavola 1 rappresenta l'elaborazione della pericolosità per esondazione ottenuta dai soli dati di modellazione che viene qui di seguito riportata.

Le aree a pericolosità di esondazione molto elevata (Ee), corrispondenti alla pericolosità H4 comprendono ovviamente l'alveo e parte di alcune delle strade come un tratto di via Mistri o la zona infossata di accesso al capannone di via Mistri 11. Rientra in questa classe di pericolosità anche gran parte del settore di via Pizzo, sia per gli edifici in adiacenza al torrente, anche se interessati dal deflusso proveniente dalla tracimazione presso il ponte San Carlo, sia per i numeri civici dispari di via Pizzo dove invece nei cortili chiusi o con scarsa possibilità di deflusso, anche a causa del terrapieno della ex ferrovia, si accumula gran parte del volume di acqua della portata del torrente Vertova prima di essere smaltito. Anche la zona di Prato del Foj a valle del terrapieno prima richiamato ricada in parte in zona a pericolosità H4 corrispondente alla pericolosità di esondazione molto elevata (Ee).



Le aree a pericolosità elevata (Eb) corrispondono alle zone di pericolosità H3 confinate in settori a minor deflusso lungo le strade (via IV Novembre, parte di via Mistri e aree contermini all'area di via Pizzo verso la parte più distale della piana alluvionale lì presente). Anche piccoli settori di via Foggeroli o di via Albertoni rientrano in questa categoria.

Infine, le aree a pericolosità media o moderata (Em) sono definite dalle classi di pericolosità H1 e H2 che equivalgono a gran parte di via Fogeroli, alle aree ancor più estreme a quella del settore di via Pizzo e a tutte le aree interne a cortili e fabbricati che circondano via Mistri.



Rappresentazione della pericolosità di esondazione del torrente Vertova

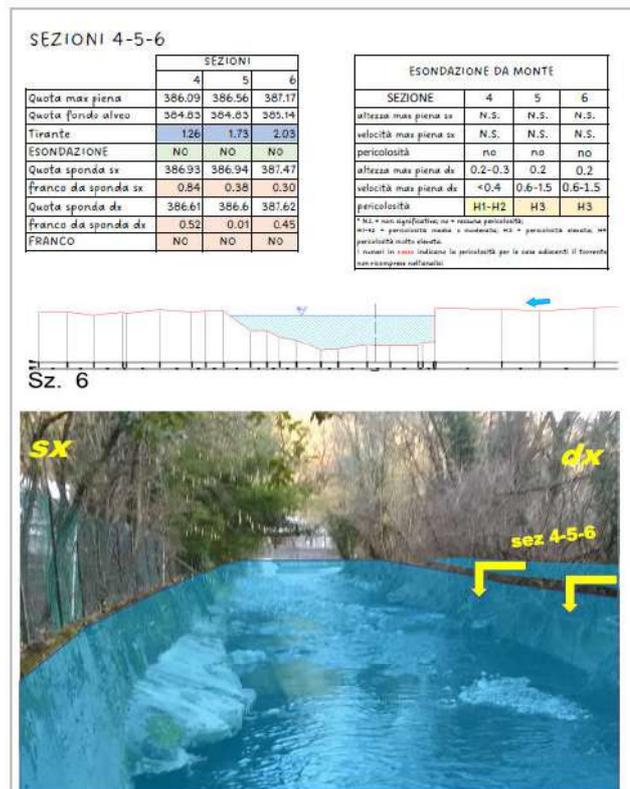
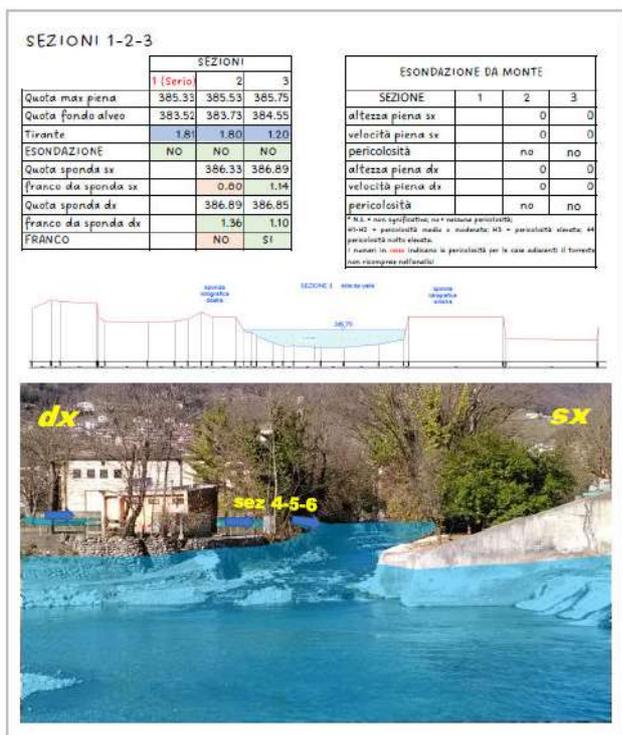
### 6.8.7 VALUTAZIONE DELLE AREE CONTERMINI A QUELLE INDIVIDUATE DALLA PERICOLOSITÀ PER ESONDAZIONE A CAUSA DELLA PRESENZA DI EDIFICI E/O FABBRICATI A QUOTE SOGGETTE ALL'ONDA DI PIENA

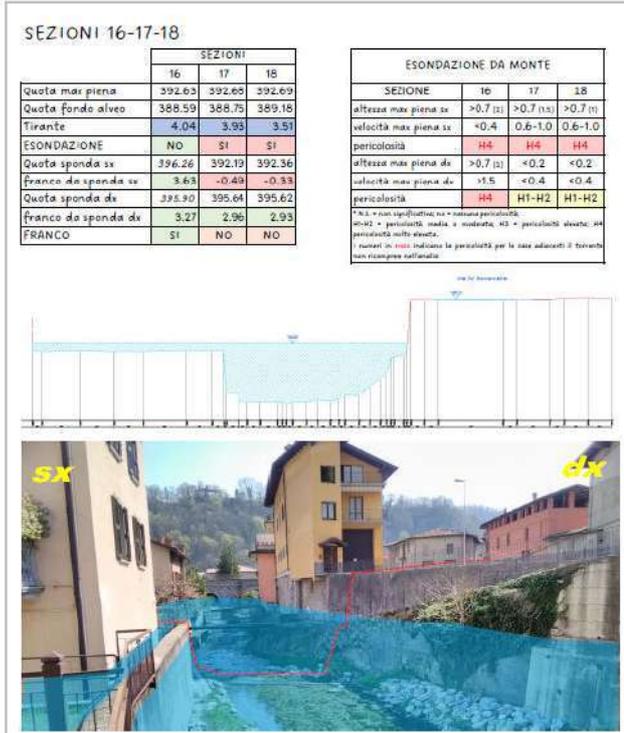
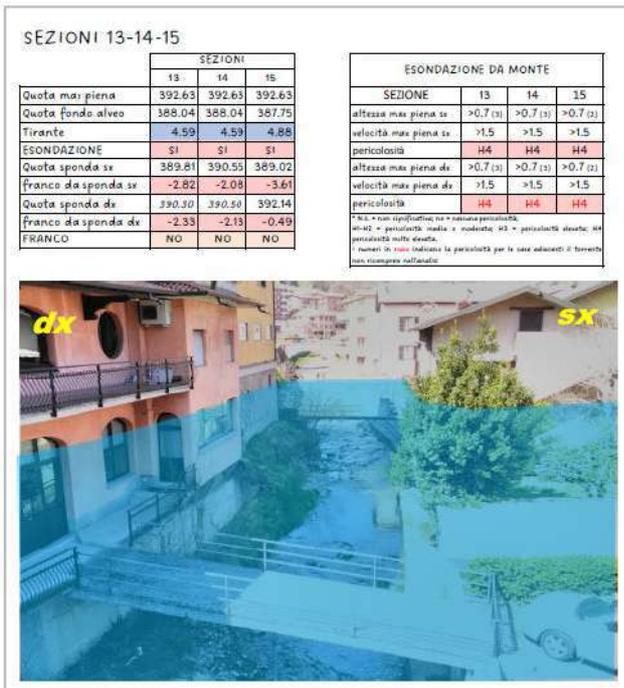
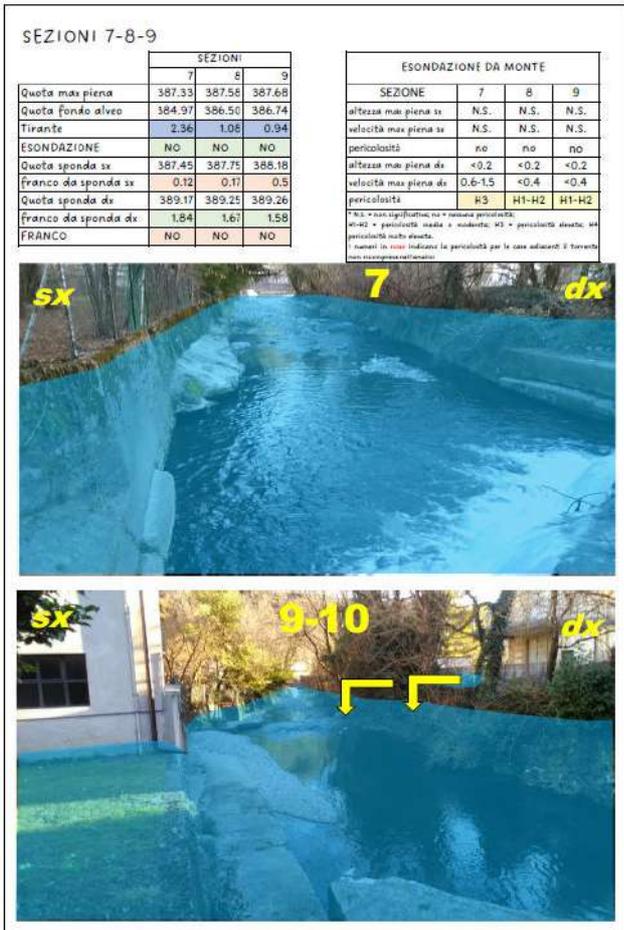
Le aree a differente pericolosità individuate dalla modellazione idraulica sono in gran parte limitrofe o adiacenti a fabbricati in corrispondenza dell'alveo o delle zone di esondazione.

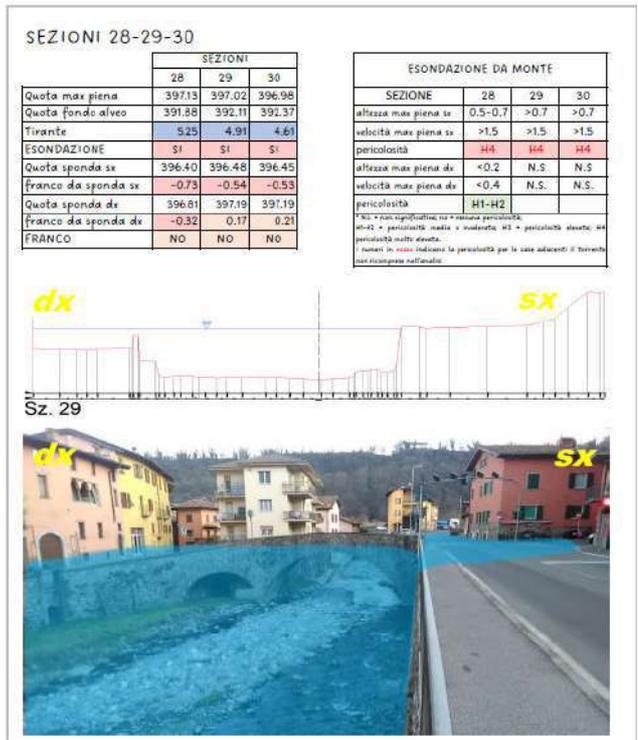
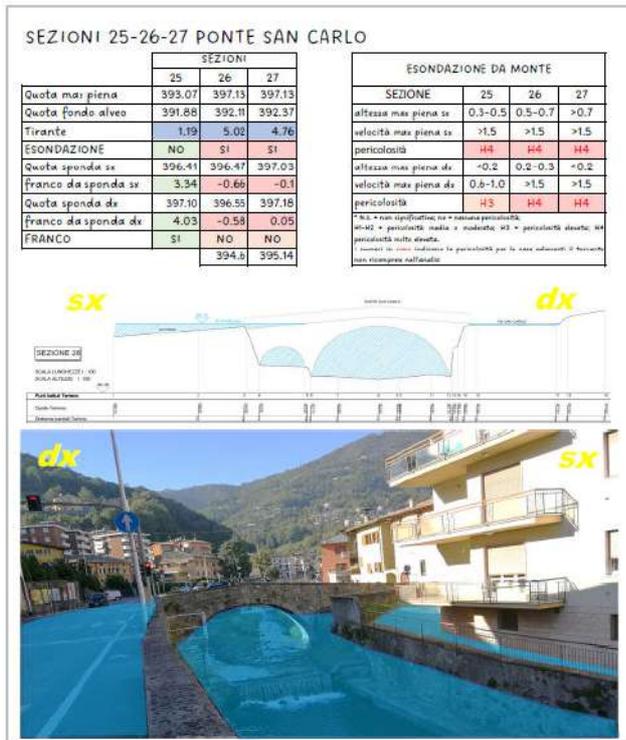
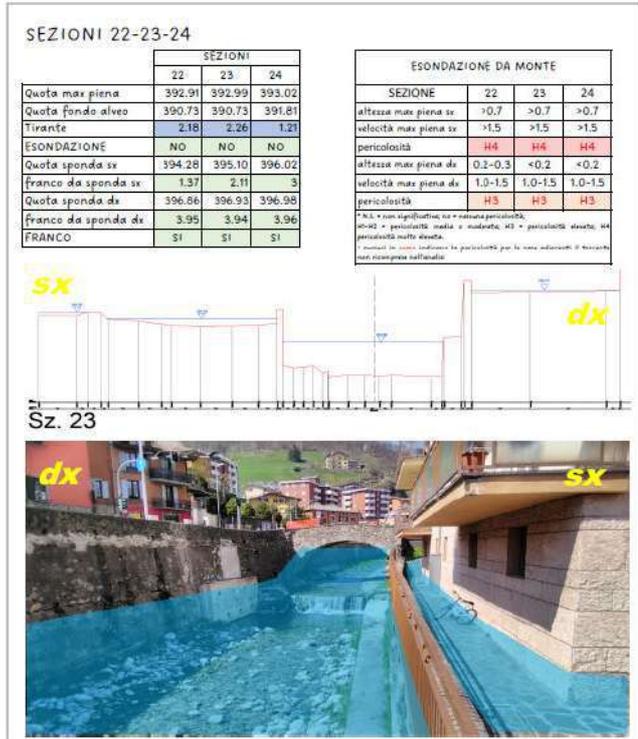
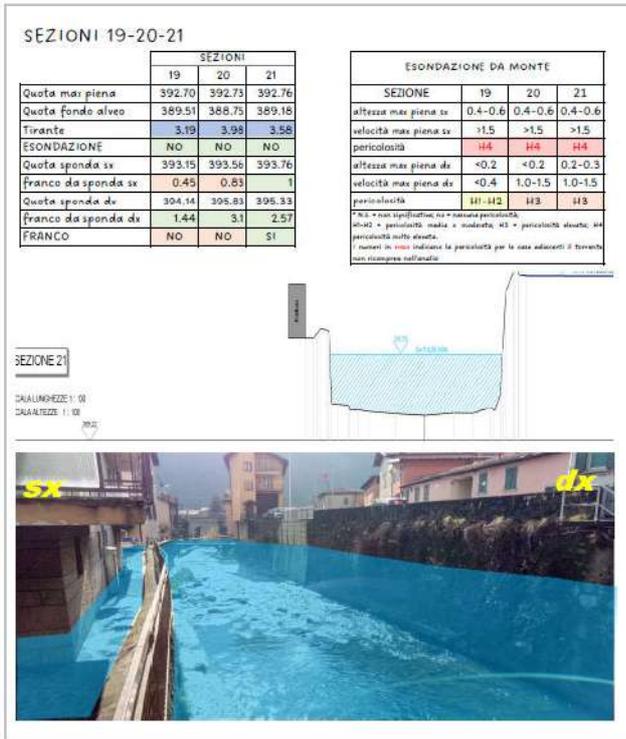
Dal momento che la modellazione ha valutato gli edifici come corpi impermeabili, all'interno dei quali non entri l'acqua, occorre valutare, come fatto anche con la rappresentazione dell'esondazione in uno dei capitoli precedenti se gli edifici possono essere interessati o meno dai tiranti idrici dell'onda di piena.

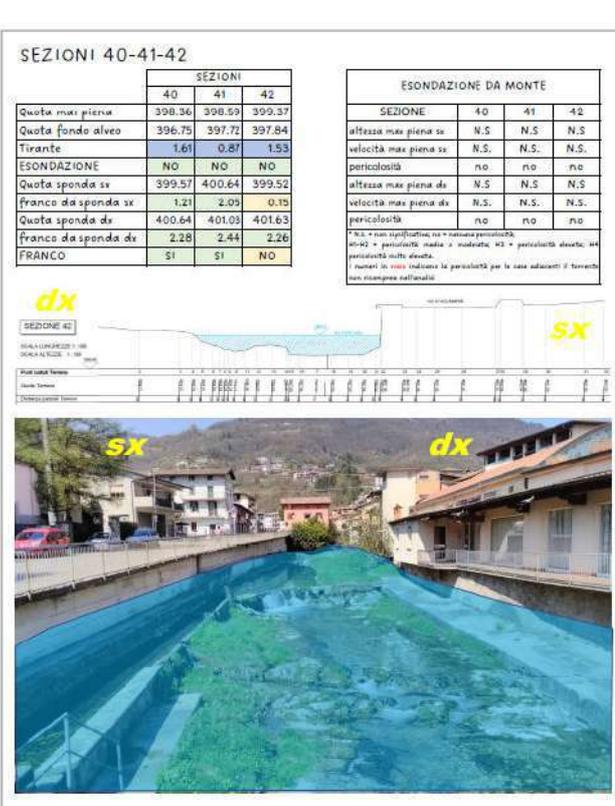
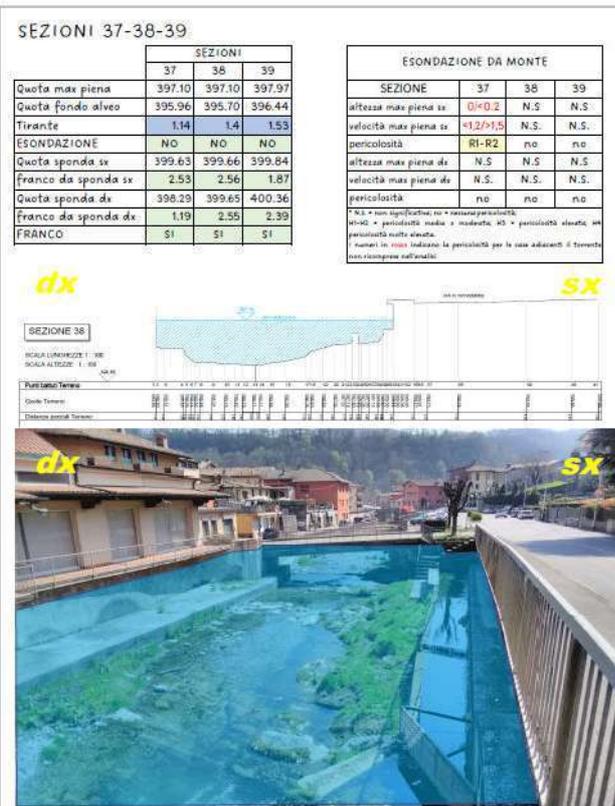
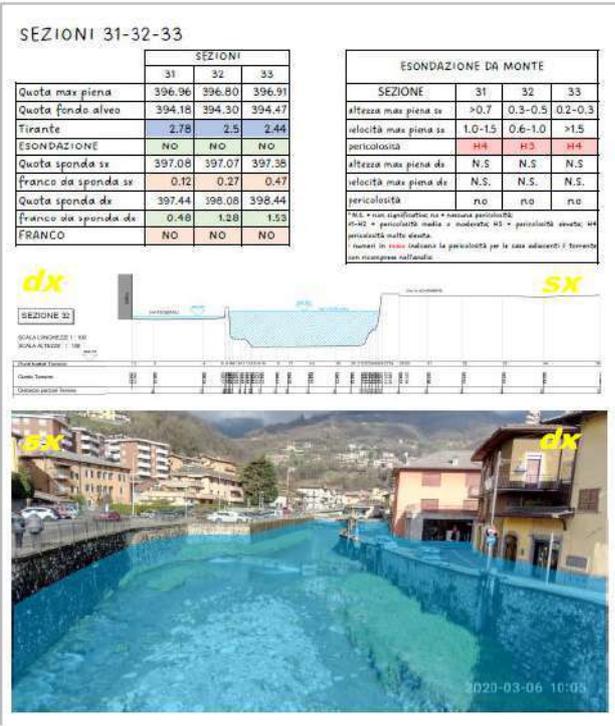
Per tale motivo è stato costruito un sistema di schede che rappresenta porzioni del torrente Vertova considerati che comprendono tre delle sezioni consecutive realizzate con il rilievo topografico nelle quali sono indicate le quote raggiunte dalla massima piena, la possibilità di esondazione in corrispondenza della sezione, l'eventuale franco del ciglio di sponda rispetto alla quota di massima piena e la situazione nelle aree limitrofe al torrente in funzione dei livelli idrici raggiunti dalla piena.

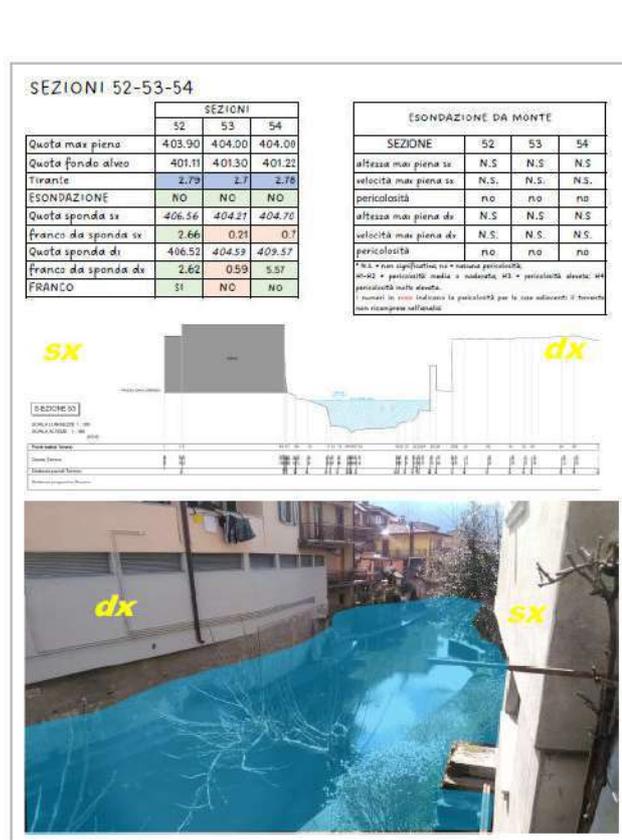
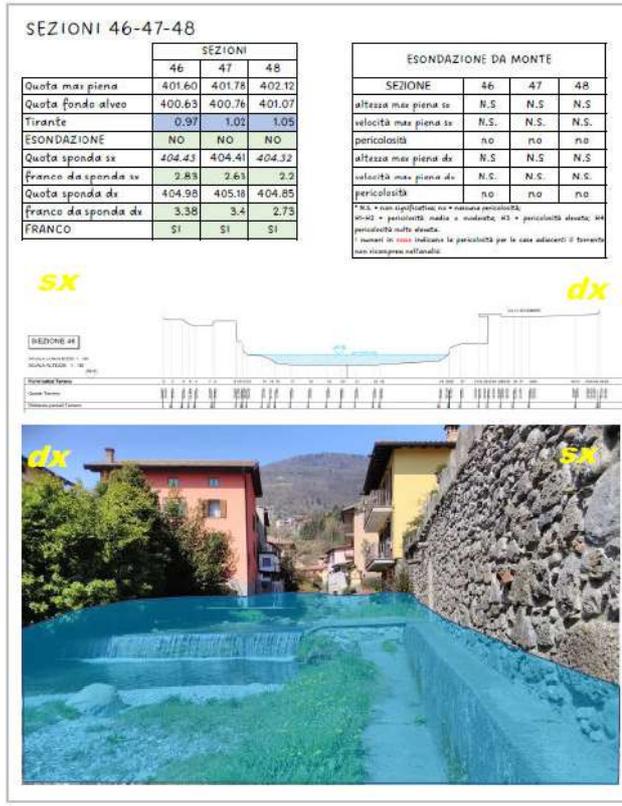
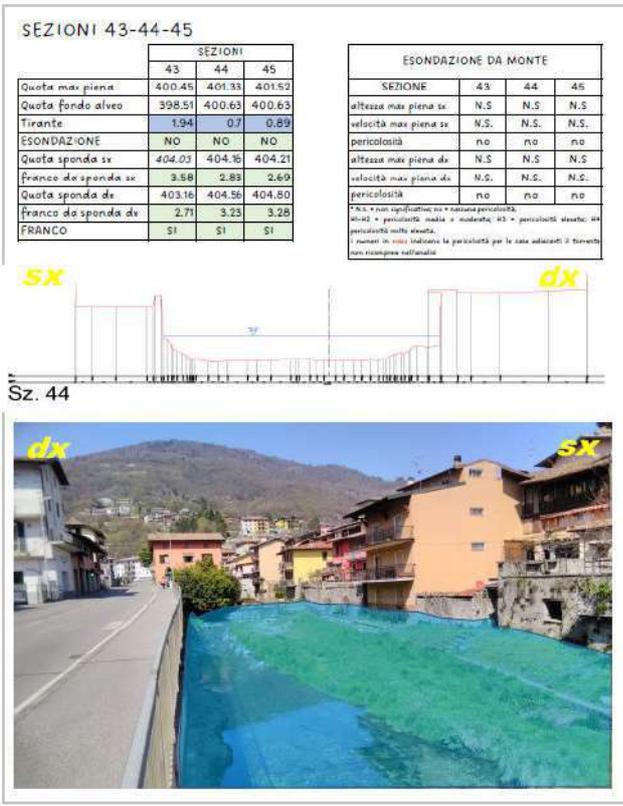
Queste schede sono qui di seguito riportate e permettono di evidenziare come lungo il torrente alcuni fabbricati debbano essere considerati all'interno della medesima area di pericolosità del torrente, mentre altre vadano considerate in classe di pericolosità H1 o H2 per la loro adiacenza al torrente senza essere direttamente interessate dall'onda di piena. Queste informazioni ampliano la mappa precedentemente presentata e costituiscono il riferimento ultimo per quanto riguarda la pericolosità (vedi tavola 1b).

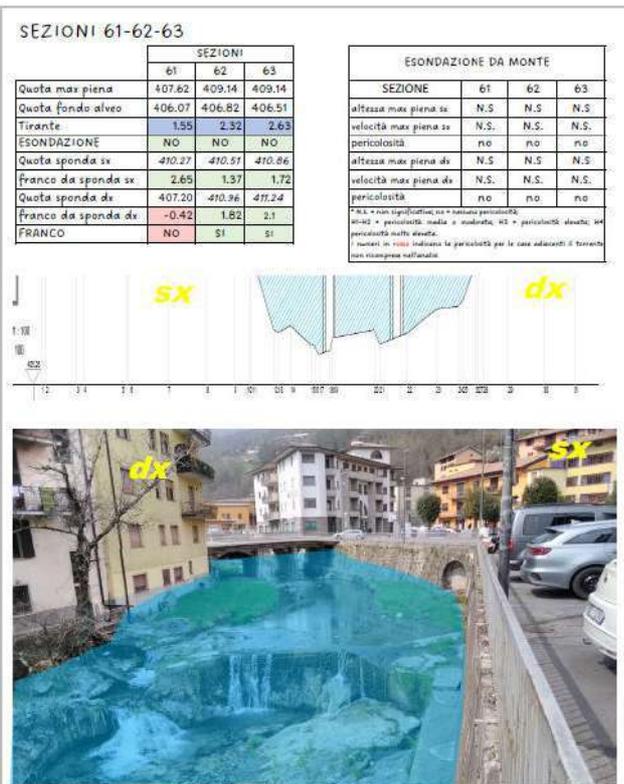
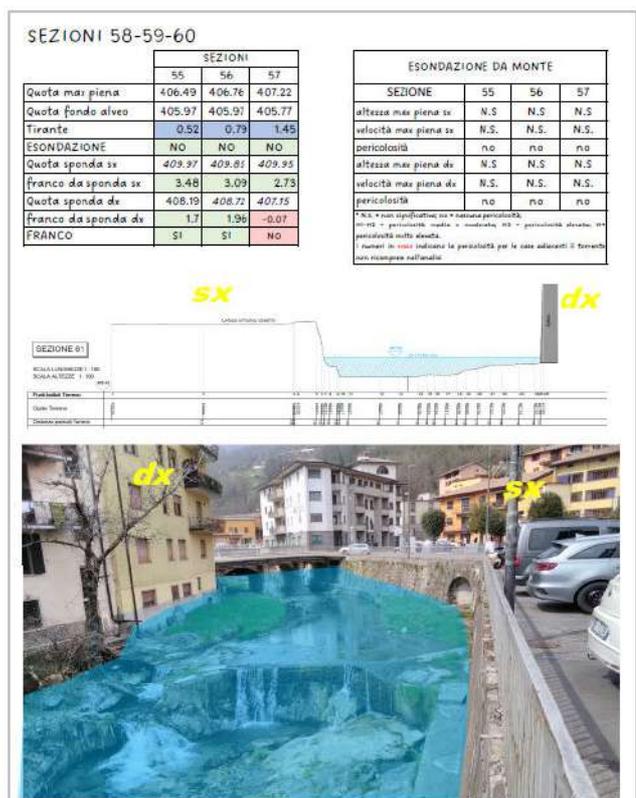












### 6.8.8 PERICOLOSITÀ DA CRITERI IDRAULICI E DA VALUTAZIONI MORFOLOGICHE

La tavola 1b presenta la rappresentazione finale della pericolosità di esondazione del torrente Vertova all'interno della quale oltre alla mappa di pericolosità individuata dalla modellazione idraulica viene affiancata anche la mappa di pericolosità derivata dalla valutazione della posizione degli edifici rispetto ai livelli di piena (quadro sinottico).

Il risultato finale è che per quasi tutti gli edifici che si affacciano sul torrente Vertova lungo via IV Novembre o lungo via Lorenzoni occorre attribuire la classe di pericolosità H1 ad esclusione di alcuni edifici collocati in aree di elevata sommergenza dell'onda di piena o in cui i manufatti sono interessati dalla stessa. Questi ultimi, partendo da Largo Vittorio Veneto e spostandosi verso la foce del torrente Vertova nel fiume Serio sono sulla sponda idrografica destra:

- i primi due edifici che si affacciano sul torrente immediatamente a valle del ponte su via IV Novembre – Largo Vittorio Veneto, presso la vecchia derivazione della vecchia roggia (via IV Novembre civici pari dal n.46 al n.54);
- l'ultimo edificio di via IV Novembre prima che il fiume sia direttamente a lato della strada (via IV Novembre n.16);
- gli edifici di via IV Novembre compresi tra la via ed il torrente immediatamente a monte del ponte di via don B. Ferrari (via IV Novembre dal civico n.8 al civico n.2) che hanno accesso carrale anche da via Pizzo;
- i due edifici/capannoni di via Mistri all'uscita dal sottopasso della stessa via sotto via don B. Ferrari (via Mistri n .11 e n.13).

Sulla sinistra idrografica:

- gli edifici di via Lorenzoni con i giardini e i cortili a ridosso del torrente tra piazza San Lorenzo e la piccola piazzetta col parcheggio che si raggiunge dal ponte Martina (zona H4);
- in via Pizzo i cortili interni dei civici dal n.23 al n.31 (zona H3);
- l'edificio in località prato del Foj (zona H1).



## 7. VERIFICHE IDRAULICHE LOCALITÀ PONTE DELLA FABRICHETTA

(con la collaborazione dell'ing. E.Zucchelli di SAI PROGETTI)

Le verifiche idrauliche sono state effettuate sulla valle Vertova, nel tratto che si snoda in corrispondenza del Ponte della Fabrichetta di sviluppo pari a circa 115 m (vedi tavola 6, 7, 8, 9, 10 e 11). Il modello è stato sviluppato a partire dal rilievo topografico condotto dallo studio tecnico Matteo Grassi nel mese di settembre 2021 appositamente incaricato dal comune di Vertova.

### Caratteristiche rilievo topografico

Vista la presenza di vegetazione fitta che di fatto impediva completamente la vista aerea sul torrente, il rilievo è stato effettuato con metodologia tradizionale attraverso l'impiego di stazione totale TOPCON GM 50. La collocazione geometrica del rilievo è stata impostata su un sistema locale spaziale XYZ facilmente riproducibile, e orientato in rapporto all'asse Z da punti di riferimento su carta aerofotogrammetrica.

Ove possibile, le Stazioni Topografiche principali dello schema poligonometrico del rilievo, collocate fuori alveo, sono state materializzate mediante specifici chiodi topografici atti a mantenere stabilmente il possibile ricollocamento strumentale.

Le operazioni si sono svolte costruendo un sistema a poligonale aperta, visto lo sviluppo dell'area da rilevare, che nelle varie fasi è stato verificato mediante l'iperdeterminazione di osservazioni di taluni punti fra le varie stazioni di osservazione. I cambi di stazione sono sempre stati fatti con sistema a centramento forzato mediante basette da poligonale su treppiede e le letture fra i vertici di poligonale sono state eseguite anche con osservazione della lettura coniugata. Da questa rete di poligonazione sono state effettuate con stazione totale celerimetrica le osservazioni strumentali per la descrizione plano altimetrica degli ambiti oggetto di interesse.

Le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata sono: **Topcon GM 50**

Misurazione della distanza	senza riflettore: Fino a 500 m	portata EDM del prisma: fino a 4.000 m	
Tempo di misurazione	<i>fine</i> : 0,9 s (iniziale 1,7 s)	<i>rapido</i> : 0,7 s (iniziale 1,4 s)	tracciamento: 0,4 s (iniziale 1,4 s)
Precisione EDM del prisma	con prisma: 1,5 mm + 2 ppm	senza prisma: 2 mm + 2 ppm (0,2 ÷ 200 m)	

### Modello idraulico

La sezioni di rilievo 12 (sezione di valle) e 1 (sezione di monte), corrispondono nelle simulazioni rispettivamente alle sezioni 0 e 106. Per la costruzione dei modelli, oltre alle n. 12 sezioni da 12 a 1, sono state ricavate n. 2 sezioni a partire dal rilievo fornito dallo studio tecnico Matteo Grassi a supporto di questa progettazione (sezioni 8a, 10a). Per una migliore descrizione dei fenomeni idraulici non è stata presa in considerazione la sezione 10 nella modellazione analitica.

Nella tabella a lato è indicata la corrispondenza tra gli indici di riferimento per le sezioni di rilievo e gli indici di riferimento per le sezioni di simulazione (valle Vertova).

Per il calcolo del profilo di moto vario si è utilizzato il programma Hec-Ras (River Analysis System-US Army Corps of Engineers-Hydrologic Center) nella versione 6.1.

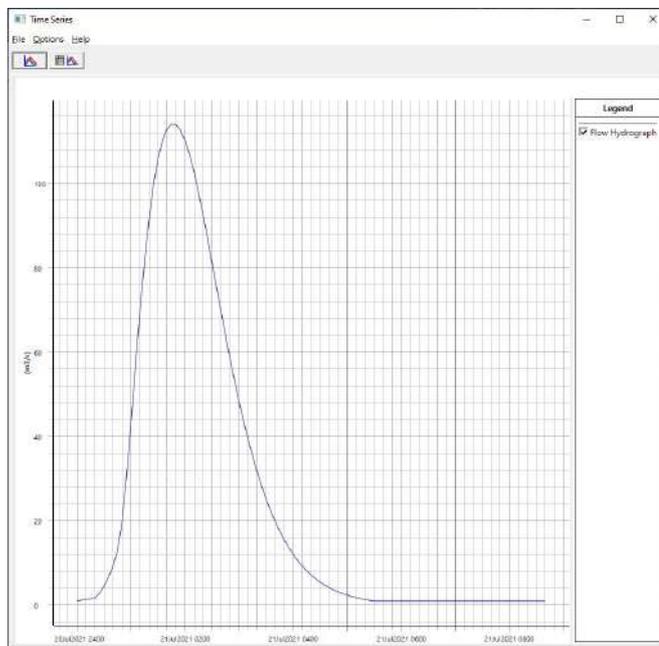
Sezione rilievo	River Station
12	0
11	6
10a	16
10	-
9	26
8a	30
8	40
7	46
6	56
5	66
4	76
3	86
2	96
1	106

In tale programma le perdite valutate sono quelle di attrito (equazione di Manning) e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica); l'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni.

A lato si riporta l'idrogramma di piena impiegato per le simulazioni in moto vario che è ancora quello utilizzato per lo studio del centro storico di Vertova.

Le condizioni al contorno adottate sono:

- condizione di valle: la condizione di valle per il calcolo del profilo in moto vario è stata posta pari all'altezza di moto uniforme (pendenza alveo 0.051);
- condizione di monte: la condizione di monte per il calcolo del profilo in moto vario, a partire dall'idrogramma di piena, è stata posta pari all'altezza di moto uniforme (pendenza alveo 0.02).



Unsteady Flow Data - serbatoio lineare c=0,37

File Options Help

Description: serbatoio lineare c=0,37

Boundary Conditions Initial Conditions Meteorological Data Observed Data

Boundary Condition Types

Stage Hydrograph	Flow Hydrograph	Stage/Flow Hydr.	Rating Curve
Normal Depth	Lateral Inflow Hydr.	Uniform Lateral Inflow	Groundwater Interflow
T.S. Gate Openings	Elev. Controlled Gates	Navigation Dams	IB Stage/Flow
Rules	Precipitation		

Add Boundary Condition Location

Add RS ... Add SA/2D Flow Area ... Add SA/2D Area Conn ... Add Pump Station ...

Select Location in table then select Boundary Condition Type

River	Reach	RS	Boundary Condition	
1	Vertova	Vertova	106	Flow Hydrograph
2	Vertova	Vertova	0	Normal Depth

Normal Depth Downstream Boundary

River: Vertova Reach: Vertova RS: 0

Friction Slope: 0.051

2D Flow Area Boundary Condition Parameters

Compute separate water surface elevation per face along BC Line

Compute single water surface for entire BC Line

OK Cancel

EG Slope for distributing flow along BC Line: 0.02

### Coefficienti di scabrezza

Sulla base di quanto riscontrato durante i sopralluoghi condotti relativamente alle condizioni di fondo alveo, si è deciso per la Valle Vertova di adottare un coefficiente di Manning pari a  $n=0,014$  per le rive ed un coefficiente di Manning pari a  $n=0,030$  per l'alveo.

Edit Manning's n or k Values

River: Vertova Reach: Vertova All Regions

Channel n Values have a light green background

Selected Area Edit Options: Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L.Ch R. ...

River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 106	n	0.014	0.03	0.014
2 96	n	0.014	0.03	0.014
3 86	n	0.014	0.03	0.014
4 76	n	0.014	0.03	0.014
5 66	n	0.014	0.03	0.014
6 56	n	0.014	0.03	0.014
7 46	n	0.014	0.03	0.014
8 40	Bridge			
9 30	n	0.014	0.03	0.014
10 26	n	0.014	0.03	0.014
11 16	n	0.014	0.03	0.014
12 6	n	0.014	0.03	0.014
13 0	n	0.014	0.03	0.014

### Valori di portata

In accordo con quanto riportato nei paragrafi precedenti, la portata al colmo considerata nelle simulazioni condotte per tempi di ritorno di 100 anni è:

$$Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (per } c=0,37)$$

### 7.1 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Di seguito vengono riportati in sintesi con grafici e tabelle i risultati delle simulazioni effettuate.



Schema planimetrico delle sezioni – modello

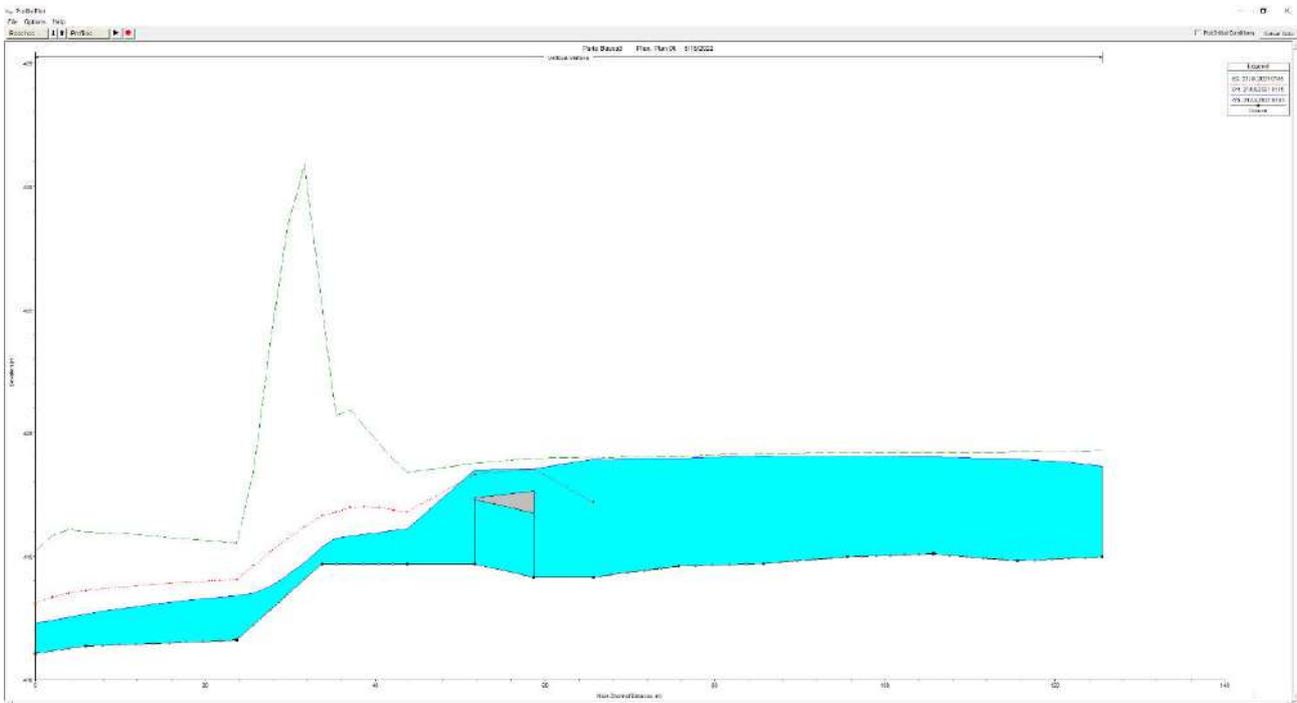
Le simulazioni condotte, i cui risultati sono rappresentati anche nelle sezioni allegate (TAVOLE 6, 7, 8, 9, 10, 11 con indicazione per ciascuna sezione di rilievo dei battenti calcolati per la portata PF100 anni), evidenziano come il deflusso della portata al colmo con tempo di ritorno pari a 100 anni, avvenga esondando in alcuni tratti oltre le sponde nel tratto interessato dallo studio.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Vertova	106	21JUL2021 0145	114,07	414,98	418,64		419,28	0,002629	3,29	32,91	13,31	0,60
Vertova	96	21JUL2021 0145	114,07	414,81	418,92		419,22	0,001465	2,45	47,40	22,50	0,45
Vertova	86	21JUL2021 0145	114,06	415,10	419,03		419,21	0,000619	1,92	60,94	26,06	0,32
Vertova	76	21JUL2021 0145	114,06	414,98	419,04		419,20	0,000505	1,71	66,80	27,27	0,29
Vertova	66	21JUL2021 0145	114,05	414,70	419,06		419,17	0,000375	1,50	79,63	33,43	0,24
Vertova	56	21JUL2021 0145	114,04	414,59	418,95		419,03	0,000299	1,25	91,79	58,63	0,22
Vertova	46	21JUL2021 0145	114,04	414,15	418,93	417,17	419,01	0,000362	1,29	88,40	53,90	0,21
Vertova	40	Bridge										
Vertova	30	21JUL2021 0145	114,04	414,68	416,09	416,78	418,40	0,035167	6,72	16,96	14,25	1,97
Vertova	26	21JUL2021 0145	114,04	414,67	415,38	416,65	425,26	0,387465	13,92	8,19	14,59	5,94
Vertova	16	21JUL2021 0145	114,03	411,60	413,39	414,05	415,53	0,027841	6,47	17,63	12,91	1,77
Vertova	6	21JUL2021 0145	114,03	411,36	412,65	413,59	415,98	0,056791	8,08	14,11	12,76	2,45
Vertova	0	21JUL2021 0145	114,03	411,06	412,29	413,12	415,19	0,051033	7,54	15,11	14,21	2,34

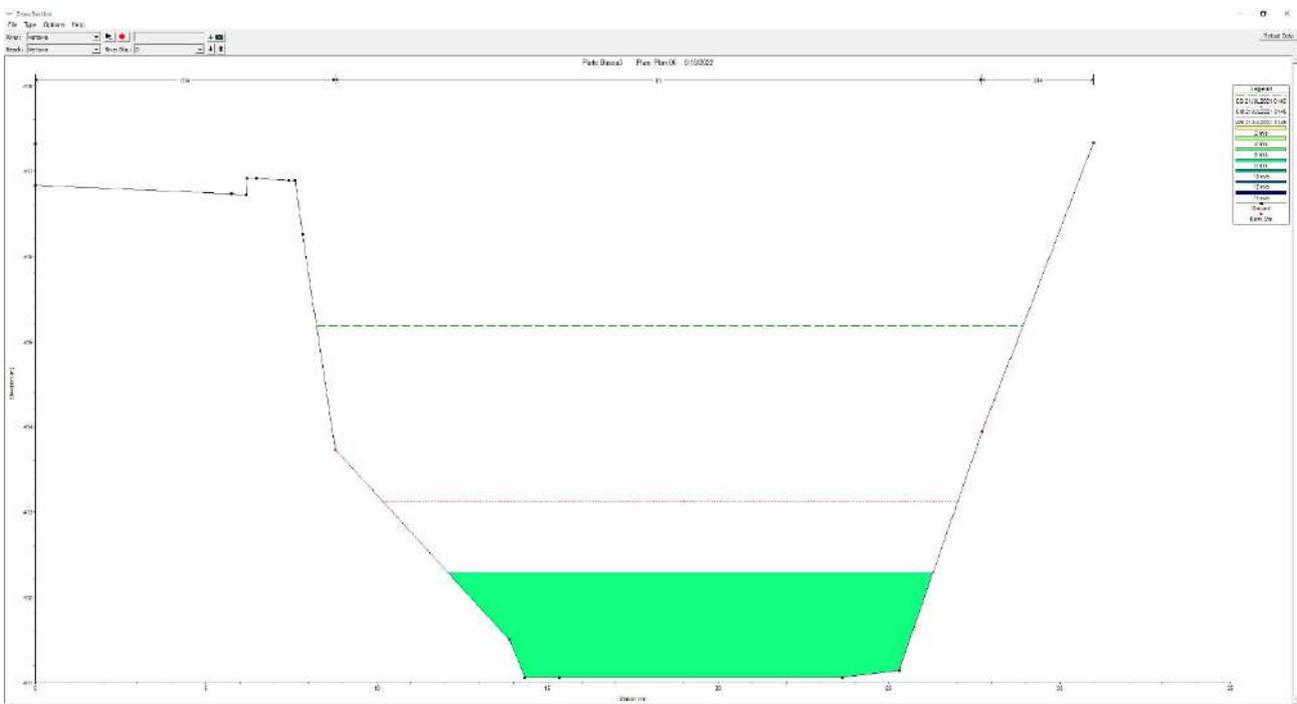
Legenda:  
 - River station: riferimento alla sezione individuata sull'alveo (si vedano tabelle di corrispondenza e elaborati grafici allegati);  
 - Profile: riferimento al profilo del pelo libero della corrente;  
 - Qtotal: valore in m<sup>3</sup>/s della portata di piena;  
 - Min Ch El: quota in m s.l.m. del punto più basso del letto del fiume per la sezione corrispondente;  
 - W.S. Elev: quota in m s.l.m. del pelo libero della corrente;  
 - Crit W.S.: quota in m s.l.m. dell'altezza di stato critico;  
 - E.G. Elev.: quota in m s.l.m. dell'energia della corrente;  
 - Vel Chnl: velocità della corrente in m/s;  
 - Froude Chl: numero di Froude che definisce una corrente veloce per valori > di 1 e corrente lenta per valori < 1.  
 - Flow Area: superficie della sezione bagnata in m<sup>2</sup>

Tabella riassuntiva Valle Vertova – modello portate PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ )

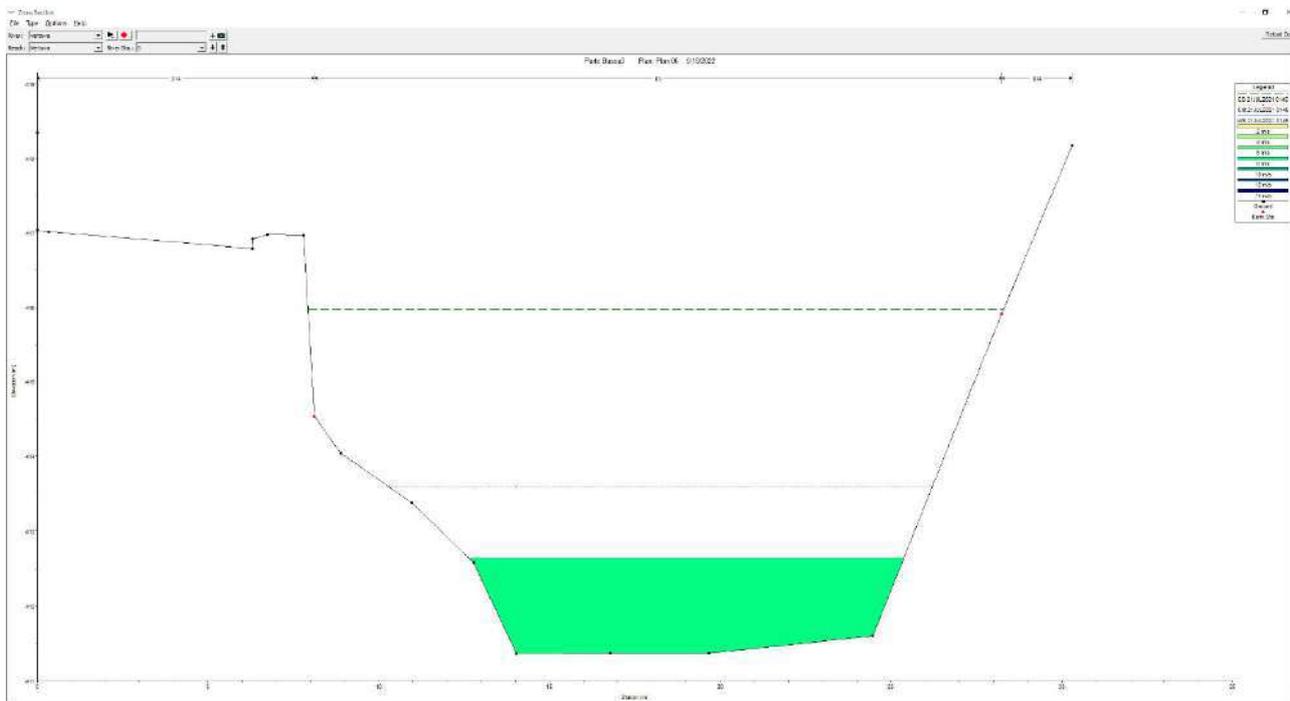
L'esame del profilo longitudinale permette di osservare la formazione di risalti idraulici connessi a modeste variazioni di pendenza dell'alveo in corrispondenza di soglie antropiche (derivazione roggia degli edifici), ma anche di step naturali presenti in alveo.



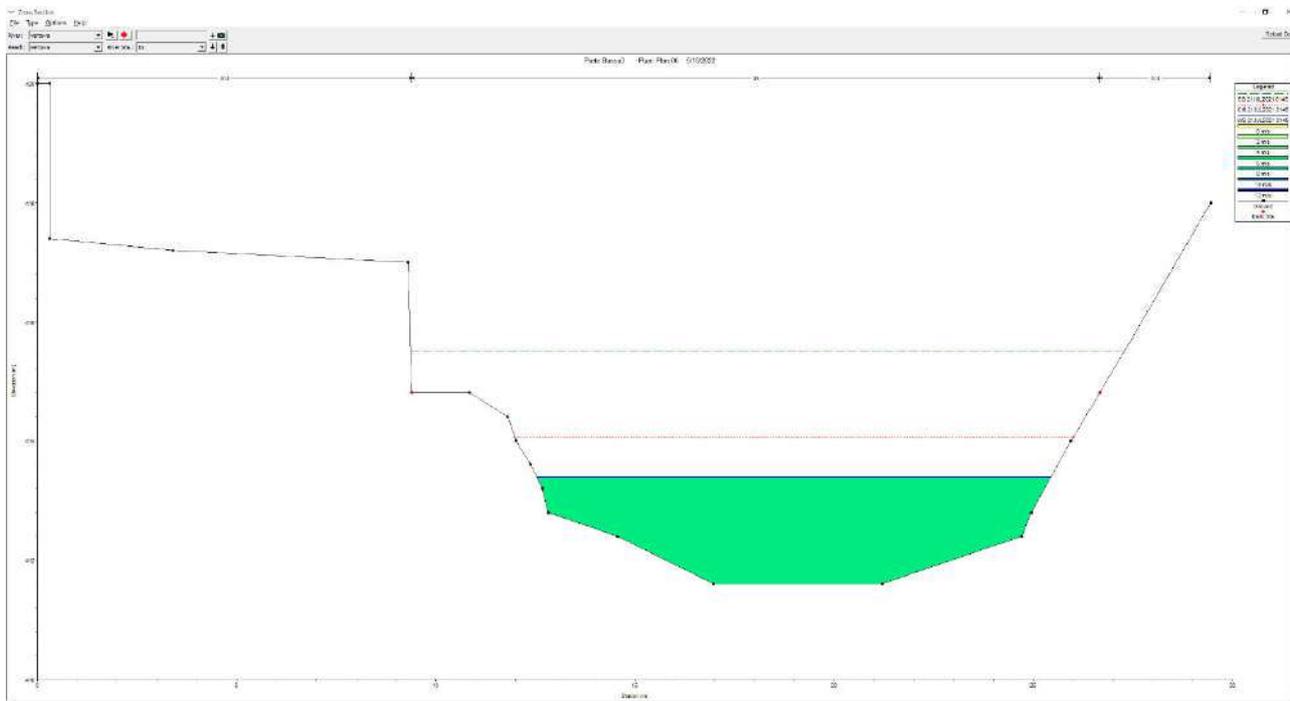
Rappresentazione profilo longitudinale – modello portate PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ )



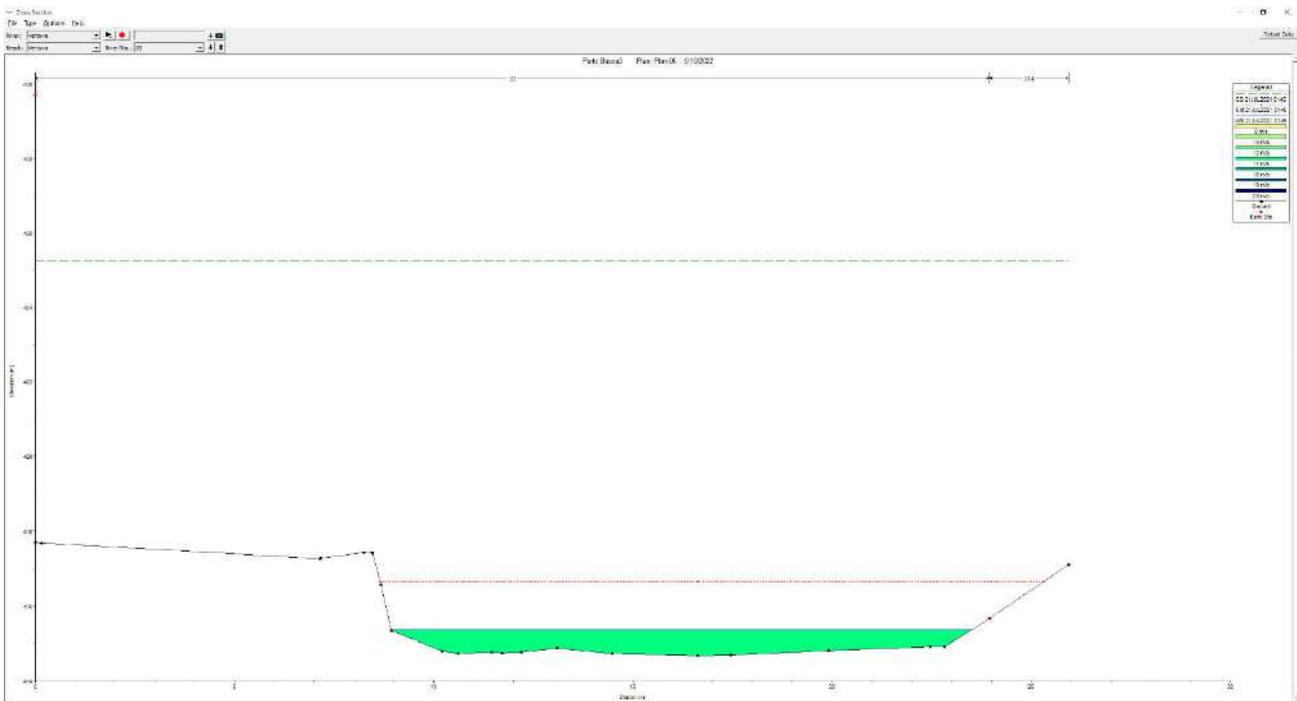
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 12 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



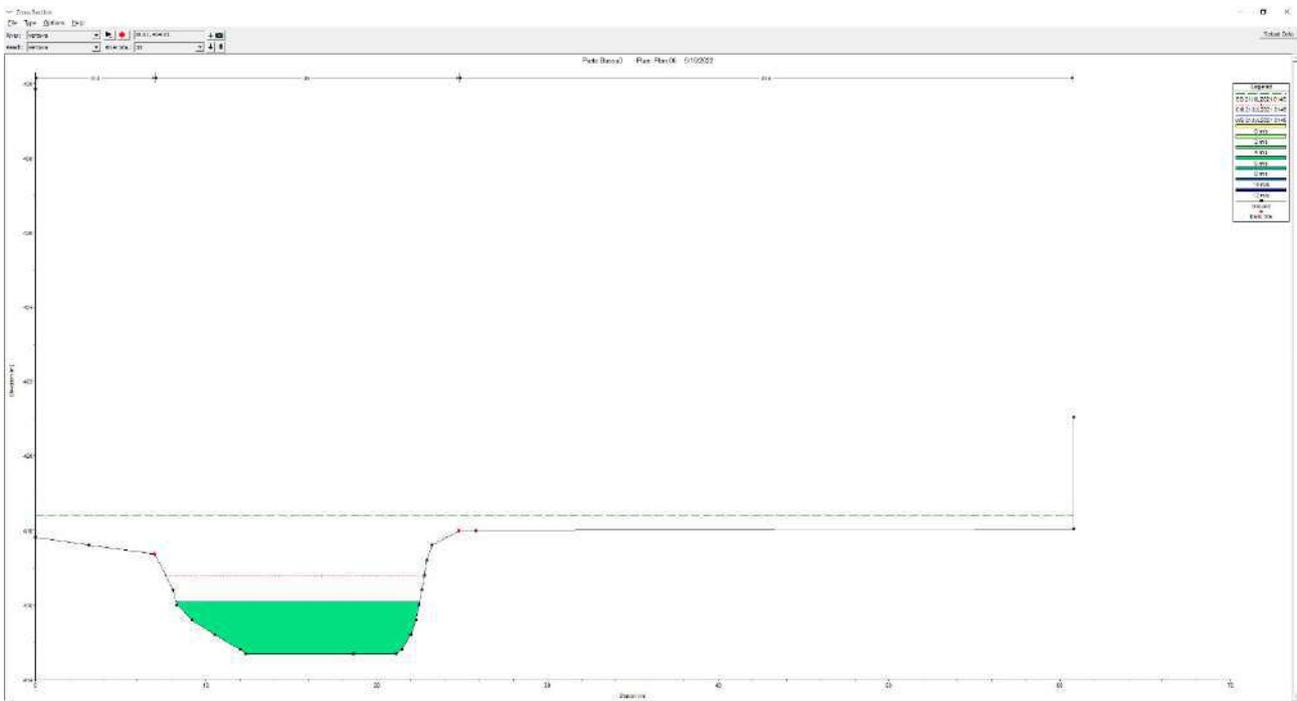
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 11 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 10a con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori

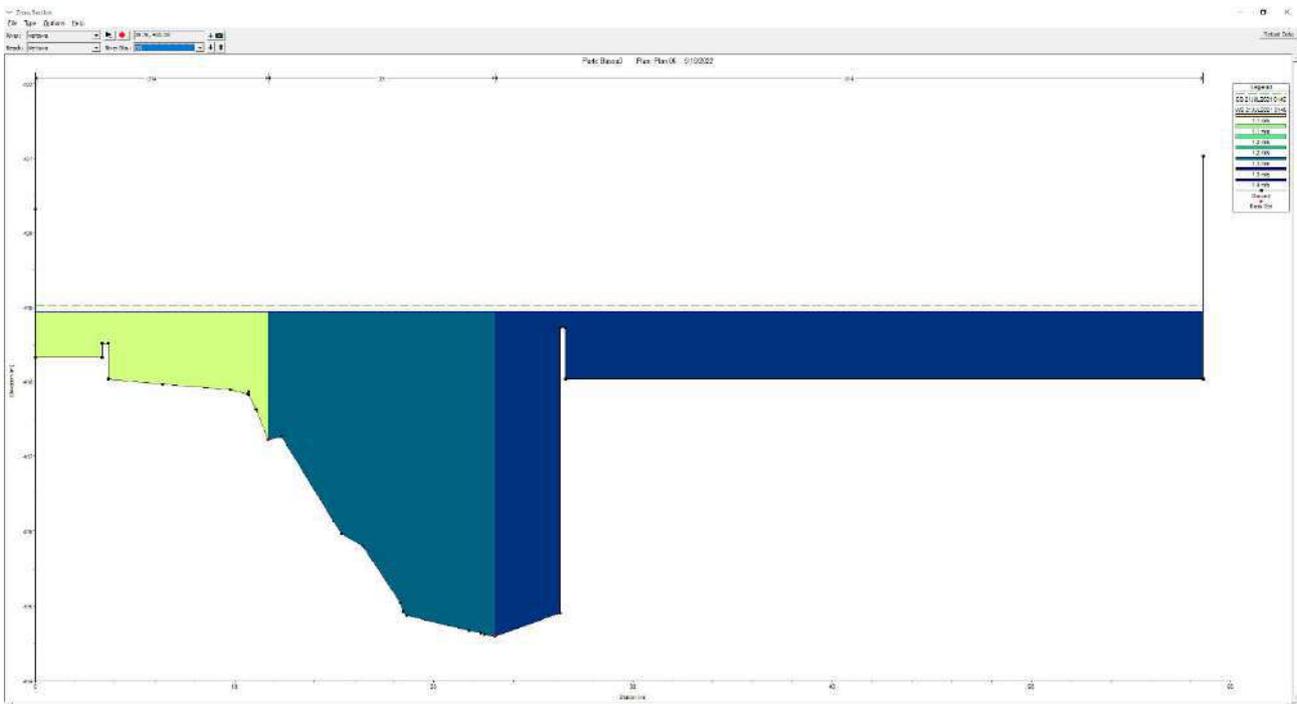


Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 9 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori

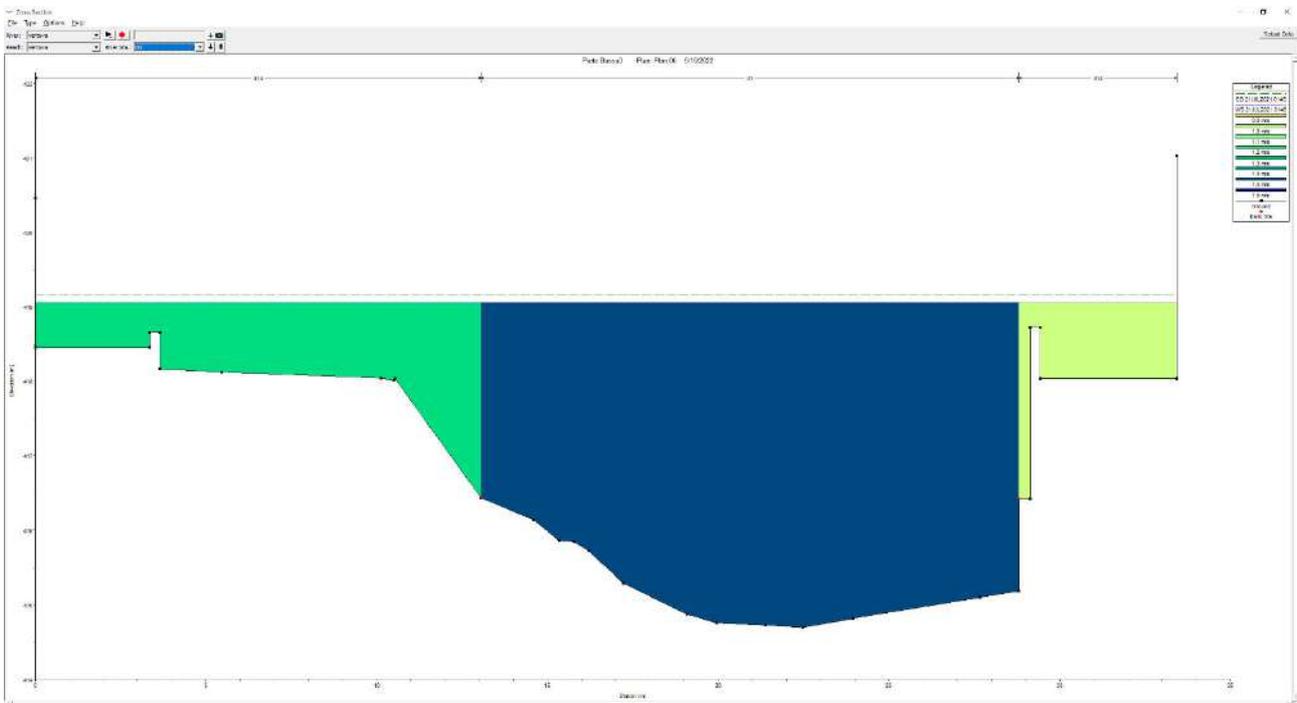


Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 8a con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori

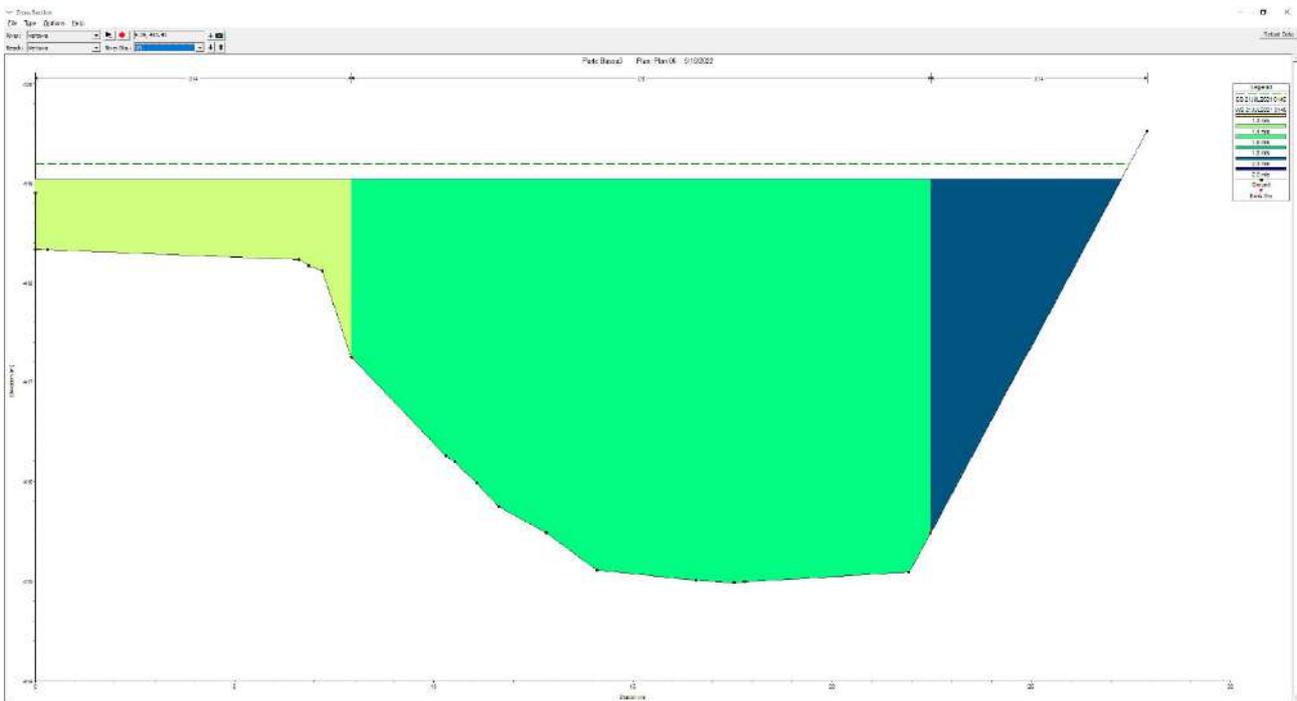




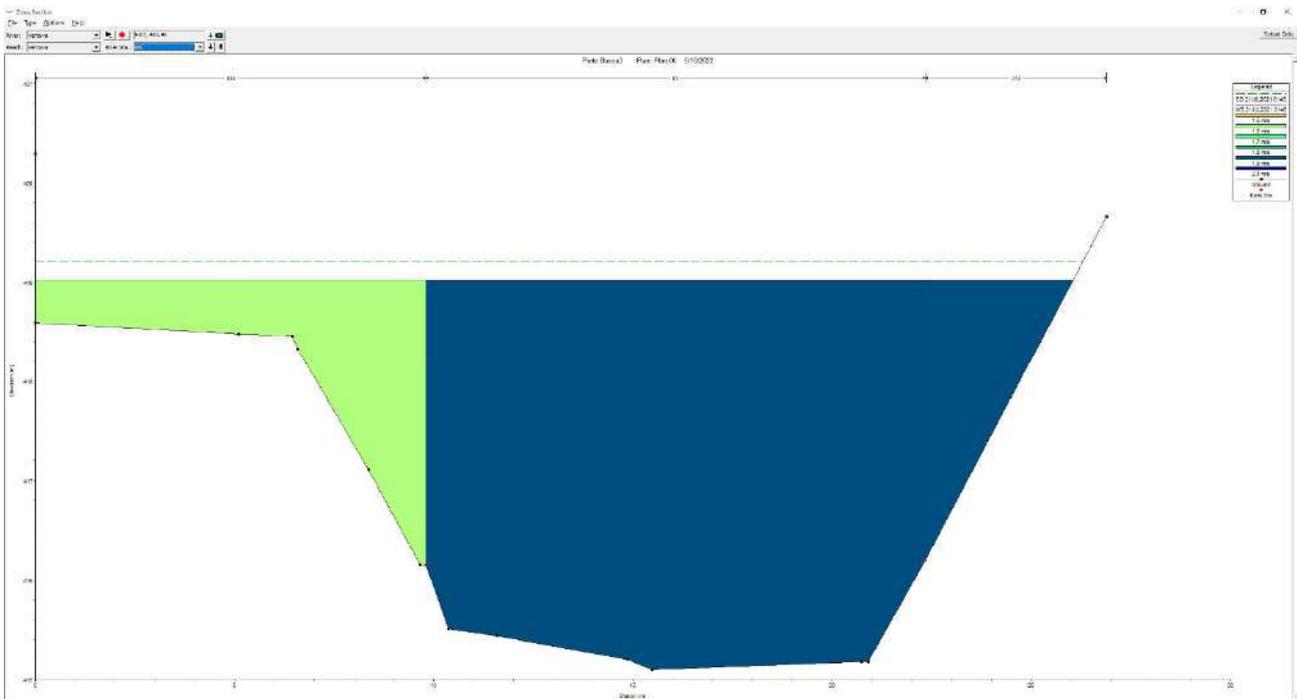
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 6 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



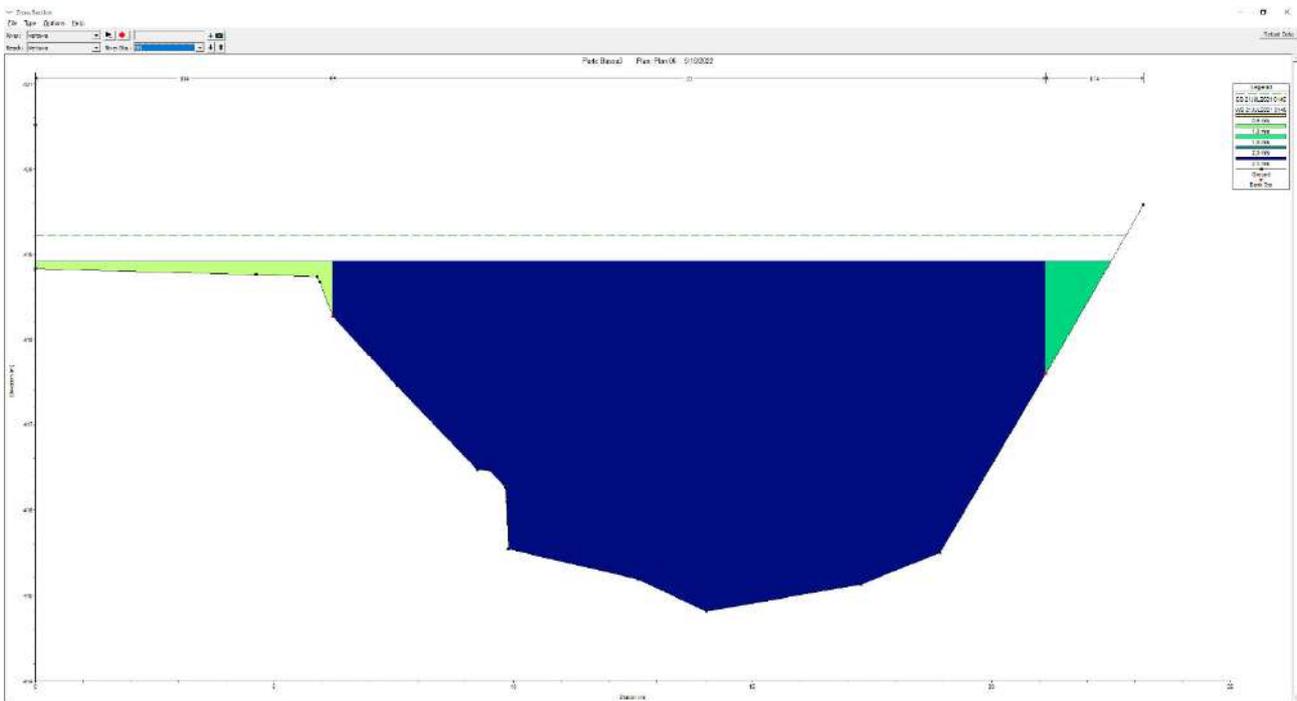
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 5 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



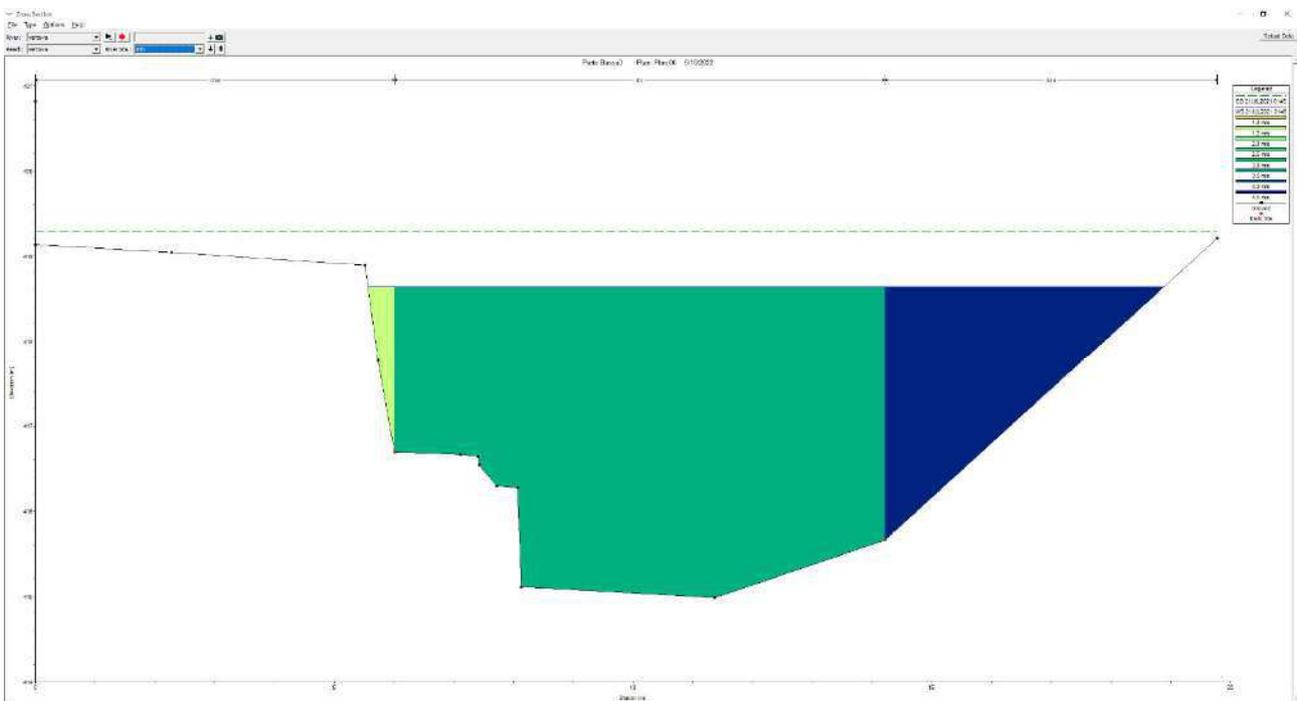
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 4 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 3 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 2 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 1 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*

Per quanto riguarda l'esondazione essa è significativa su via V Martiri nei pressi e immediatamente a monte del ponte della Fabrichetta, mentre a partire dalla sezione di rilievo 3 i tiranti idrici sono in genere contenuti in qualche decimetro ( $0,09 \div 0,57$  m) come evidenzia la sottostante tabella. I valori massimi lungo la strada si rilevano in prossimità del ponte, sia su lato strada ( $0,40 \div 1,12$  m) che sul lato opposto, nell'area adibita a parcheggio ( $0,09 \div 1,03$  m). Ciò è dovuto al restringimento della sezione in corrispondenza del ponte ad arco.

Sezione di rilievo	River Sta	Portata PF 100	Quota Minima Alveo	Quota Piena	Quota via V Martiri		Quota min. parcheggio	Quota min. ponte	Tirante su via V Martiri		Tirante su parcheggio	Tirante su ponte
					MIN	MAX			MIN	MAX		
		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	106	114.07	414.98	418.64	418.89	419.13			-0.49	-0.25		
2	96	114.07	414.81	418.92	418.74	418.83			0.09	0.18		
3	86	114.06	415.1	419.03	418.46	418.59			0.44	0.57		
4	76	114.06	414.98	419.04	418.23	418.34			0.70	0.81		
5	66	114.05	414.7	419.06	418.66	418.01	418.03		1.05	0.40	1.03	
6	56	114.04	414.59	418.95	418.52	417.83	418.03		1.12	0.43	0.92	
7	46	114.04	414.15	418.93	417.93	417.64	418.03		1.29	1.00	0.9	
8	40	Ponte		418.53	417.53	417.82	418.03	417.53	0.71	1.00	0.5	1
8a	30	114.04	414.68	416.09	417.36	417.82	417.99		-1.73	-1.27	-1.9	
9	26	114.04	414.67	415.38	417.26	417.69			-2.31	-1.88		
10a	16	114.03	411.6	413.39	417	417.4			-4.01	-3.61		
11	6	114.03	411.36	412.65	416.79	417.04			-4.39	-4.14		
12	0	114.03	411.06	412.29	416.72	416.83			-4.54	-4.43		

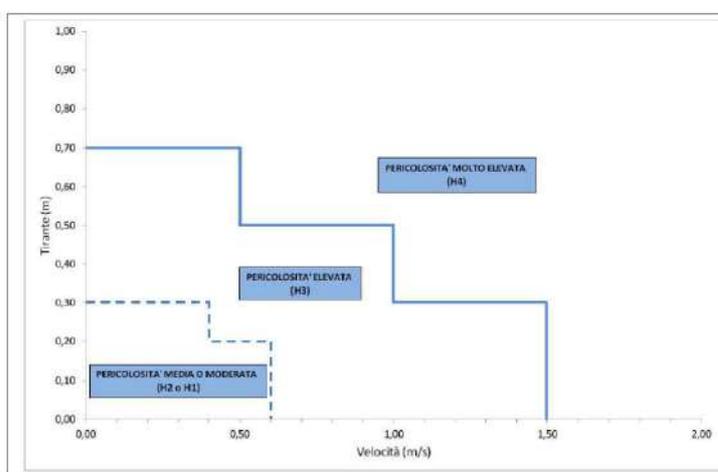
Legenda:

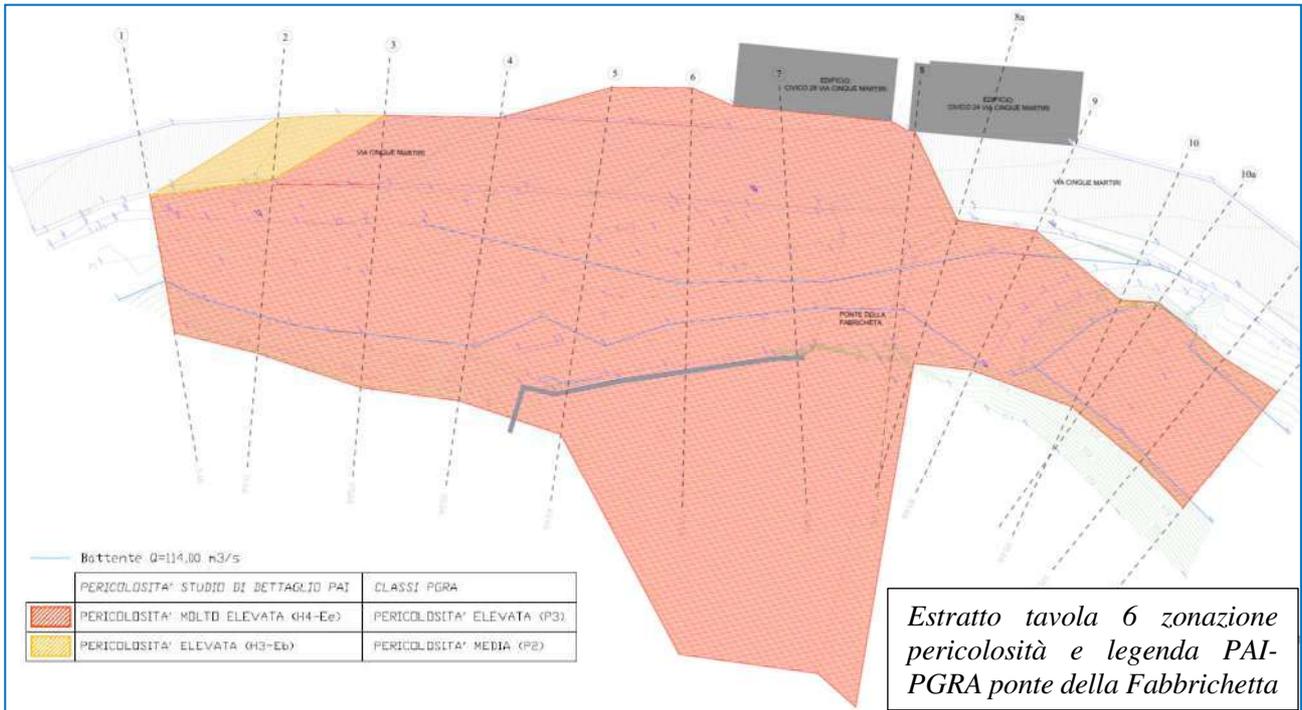
Sezione rilievo = sezione rilievo topografico; River Sta = sezione di modellazione idraulica; QUOTA PIENA = Quota massima raggiunta dalla piena con portata specifica; Quota via V Martiri = Quota massima e minima della sede stradale; Quota minima parcheggio = quota minima dell'area utilizzata come parcheggio; Quota minima ponte = quota minima estradosso ponte della Fabrichetta;  
 TIRANTE SU VIA V MARTIRI = altezza del deflusso sulla strada (in rosso i valori di superamento del livello stradale, in verde situazione di contenimento della sponda sinistra del torrente Vertova)  
 TIRANTE SU PARCHEGGIO = altezza massima del deflusso idrico sul parcheggio (in rosso i valori di superamento, in verde situazione di contenimento della sponda destra del torrente Vertova)  
 TIRANTE SU PONTE = altezza massima del deflusso idrico estradosso ponte della Fabrichetta (in rosso i valori di superamento)

## 7.2 MAPPATURA PERICOLOSITA'

Sulla base dei tiranti idrici e delle velocità registrate dalla modellazione è stata ricostruita in planimetria la pericolosità (tavola 6) secondo quanto specificato dall'allegato 4 ed in funzione del grafico qui a lato rappresentato.

Dall'analisi della pericolosità emerge che l'alveo, un tratto di via 5 Martiri e il parcheggio presente in sponda destra dell'alveo sono inseriti in classe di pericolosità H4 corrispondente ad aree a pericolosità di esondazione molto elevata (Ee) per quanto riguarda la classificazione PAI e ad aree a pericolosità elevata (P3) per quanto riguarda la classificazione PGRA. Solo una piccolissima area di via 5 Martiri, dove il torrente inizia ad esondare, ricade in classe di pericolosità H3 corrispondente ad aree a pericolosità elevata (Eb) per la classificazione PAI e ad aree a pericolosità media (P2) per quella PGRA.





*zona di esondazione presso il ponte della Fabbrichetta che interessa via 5 Martiri e il piazzale del parcheggio; in trasparenza il livello d'acqua)*

## 8. VERIFICHE IDRAULICHE LOCALITÀ PONTE MISTRI

(con la collaborazione dell'ing. E.Zucchelli di SAI PROGETTI)

Le verifiche idrauliche sono state effettuate sulla Valle Vertova, nel tratto che si snoda in corrispondenza del Ponte Mistri di sviluppo pari a circa 189 m (vedi tavola 12, 13, 14, 15, 16 e 17). Il modello è stato sviluppato a partire dal rilievo topografico condotto dallo studio tecnico Matteo Grassi nel mese di settembre 2021 appositamente incaricato dal comune di Vertova.

### Caratteristiche rilievo topografico

Vista la presenza di vegetazione fitta che di fatto impediva completamente la vista aerea sul torrente, il rilievo è stato effettuato con metodologia tradizionale attraverso l'impiego di stazione totale TOPCON GM 50. La collocazione geometrica del rilievo è stata impostata su un sistema locale spaziale XYZ facilmente riproducibile, e orientato in rapporto all'asse Z da punti di riferimento su carta aerofotogrammetrica.

Ove possibile, le Stazioni Topografiche principali dello schema poligonometrico del rilievo, collocate fuori alveo, sono state materializzate mediante specifici chiodi topografici atti a mantenere stabilmente il possibile ricollocamento strumentale.

Le operazioni si sono svolte costruendo un sistema a poligonale aperta, visto lo sviluppo dell'area da rilevare, che nelle varie fasi è stato verificato mediante l'iperdeterminazione di osservazioni di taluni punti fra le varie stazioni di osservazione. I cambi di stazione sono sempre stati fatti con sistema a centramento forzato mediante basette da poligonale su treppiede e le letture fra i vertici di poligonale sono state eseguite anche con osservazione della lettura coniugata. Da questa rete di poligonazione sono state effettuate con stazione totale celerimetrica le osservazioni strumentali per la descrizione plano altimetrica degli ambiti oggetto di interesse.

Le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata sono: **Topcon GM 50**

Misurazione della distanza	senza riflettore: Fino a 500 m	portata EDM del prisma: fino a 4.000 m	
Tempo di misurazione	<i>fine</i> : 0,9 s (iniziale 1,7 s)	<i>rapido</i> : 0,7 s (iniziale 1,4 s)	tracciamento: 0,4 s (iniziale 1,4 s)
Precisione EDM del prisma	con prisma: 1,5 mm + 2 ppm	senza prisma: 2 mm + 2 ppm (0,2 ÷ 200 m)	

### Modello idraulico

La sezioni di rilievo 20 (sezione di valle) e 1 (sezione di monte), corrispondono nelle simulazioni rispettivamente alle sezioni 10 e 200. Per la costruzione dei modelli, oltre alle n. 20 sezioni da 20 a 1, sono state ricavate n. 1 sezioni a partire dal rilievo fornito dallo studio tecnico Matteo Grassi a supporto di questa progettazione (sezione modello 136 posta in corrispondenza del ponte).

Nella tabella seguente è indicata la corrispondenza tra gli indici di riferimento per le sezioni di rilievo e gli indici di riferimento per le sezioni di simulazione (Valle Vertova).

Sezione rilievo	River Station	Sezione rilievo	River Station
		10	110
20	10	9	120
19	20	8	130
18	30	-	136
17	40	7	140
16	50	6	150
15	60	5	160
14	70	4	170
13	80	3	180
12	90	2	190
11	100	1	200

Per il calcolo del profilo di moto vario si è utilizzato il programma Hec-Ras (River Analysis System-

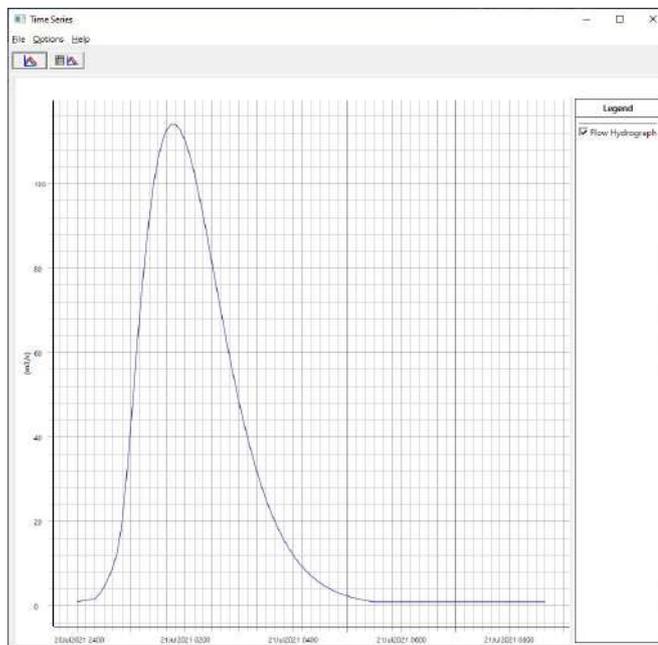
US Army Corps of Engineers-Hydrologic Center) nella versione 6.1.

In tale programma le perdite valutate sono quelle di attrito (equazione di Manning) e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica); l'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni.

A lato si riporta l'idrogramma di piena impiegato per le simulazioni in moto vario che è ancora quello utilizzato per lo studio del centro storico di Vertova.

Le condizioni al contorno adottate sono:

- condizione di valle: la condizione di valle per il calcolo del profilo in moto vario è stata posta pari all'altezza di moto uniforme (pendenza alveo 0.0162);
- condizione di monte: la condizione di monte per il calcolo del profilo in moto vario, a partire dall'idrogramma di piena, è stata posta pari all'altezza di moto uniforme (pendenza alveo 0.02).



Unsteady Flow Data - serbatoio lineare c=0.37

File Options Help

Description:

Boundary Conditions | Initial Conditions | Meteorological Data | Observed Data

Boundary Condition Types			
Stage Hydrograph	Flow Hydrograph	Stage/Flow Hydr.	Rating Curve
Normal Depth	Lateral Inflow Hydr.	Uniform Lateral Inflow	Groundwater Interflow
T.S. Gate Openings	Elev. Controlled Gates	Navigation Dams	IB Stage/Flow
Rules	Precipitation		

Add Boundary Condition Location

Add RS ... Add SA/2D Flow Area ... Add SA/2D Area Conn ... Add Pump Station ...

River	Reach	RS	Boundary Condition
1 Vertova	Parte Alta	200	Flow Hydrograph
2 Vertova	Parte Alta	10	Normal Depth

Normal Depth Downstream Boundary

River: Vertova Reach: Parte Alta RS: 10

Friction Slope: 0.0162

2D Flow Area Boundary Condition Parameters

Compute separate water surface elevation per face along BC Line

Compute single water surface for entire BC Line

OK Cancel

EG Slope for distributing flow along BC Line: 0.02

### Coefficienti di scabrezza

Sulla base di quanto riscontrato durante i sopralluoghi condotti relativamente alle condizioni di fondo alveo, si è deciso per la Valle Vertova di adottare un coefficiente di Manning pari a  $n=0,014$  per le rive impermeabilizzate ed un coefficiente di Manning pari a  $n=0,030$  per l'alveo e per le rive non impermeabilizzate.

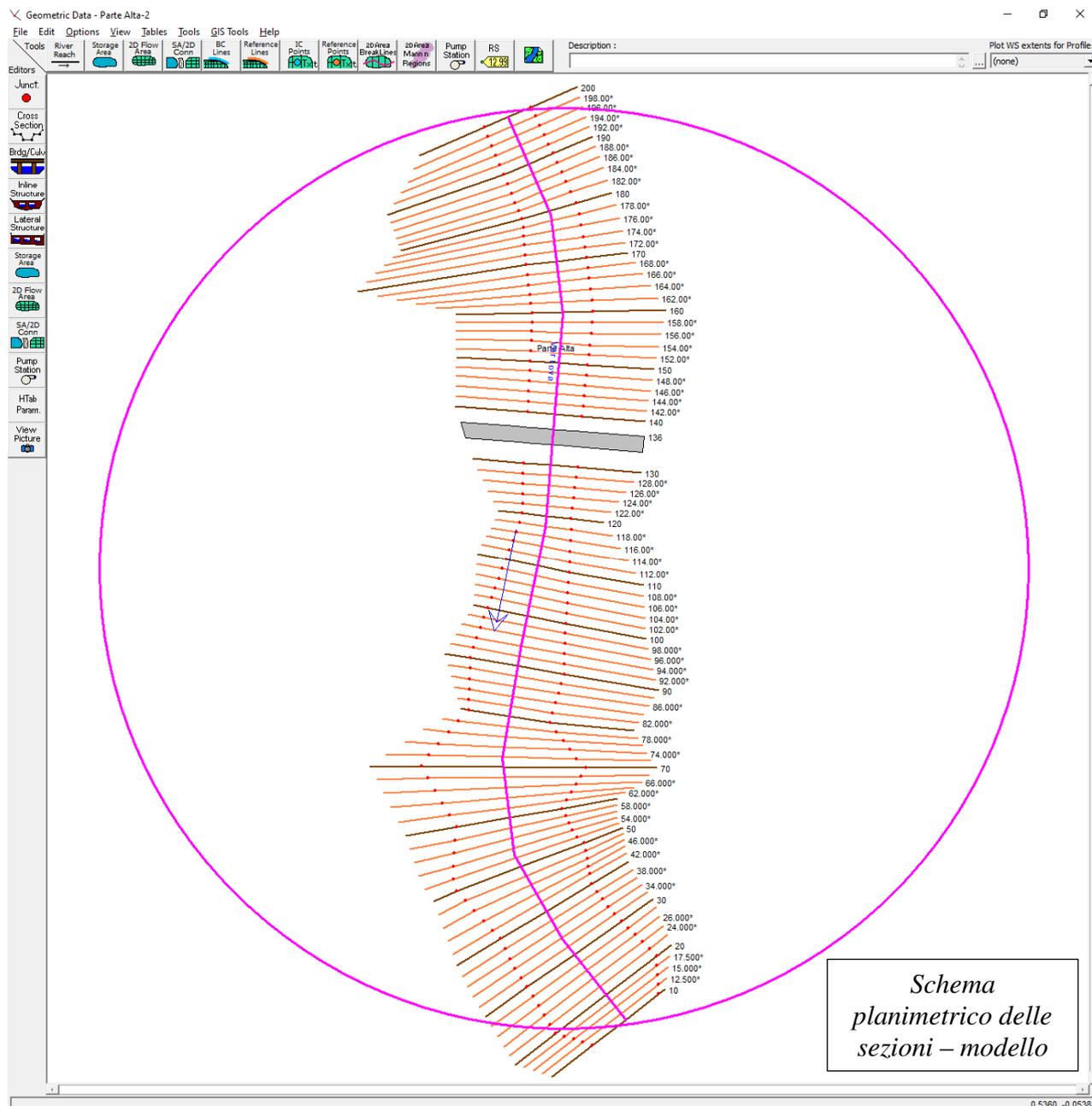
### Valori di portata

In accordo con quanto riportato nei paragrafi precedenti, la portata al colmo considerata nelle simulazioni condotte per tempi di ritorno di 100 anni è:

$$Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (per } c=0,37)$$

## 8.1 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Di seguito vengono riportati in sintesi con grafici e tabelle i risultati delle simulazioni effettuate.



Le simulazioni condotte, i cui risultati sono rappresentati anche nelle sezioni allegate (TAVOLE 12, 13, 14, 15, 16, 17 con indicazione per ciascuna sezione di rilievo dei battenti calcolati per la portata PF100 anni), evidenziano come il deflusso della portata al colmo con tempo di ritorno pari a 100 anni, avvenga esondando in alcuni tratti oltre le sponde nel tratto interessato dallo studio.

L'esame del profilo longitudinale permette di osservare la formazione di risalti idraulici connessi a modeste variazioni di pendenza dell'alveo in corrispondenza di soglie e guadi antropici, ma anche di step naturali presenti in alveo.

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 07 River: Vertova Reach: Parte Alta Profile: Max WS

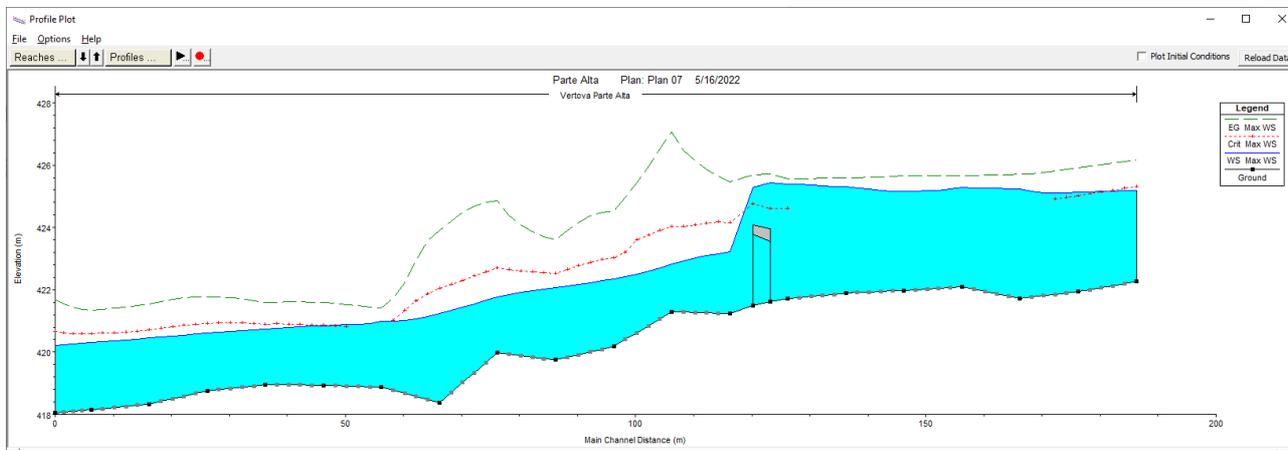
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Parte Alta	200	Max WS	114.05	422.26	425.19	425.31	426.18	0.006724	4.48	27.42	19.14	0.92
Parte Alta	190	Max WS	114.04	421.94	425.13	425.01	425.91	0.004878	3.99	31.40	21.12	0.79
Parte Alta	180	Max WS	114.04	421.72	425.23		425.70	0.002915	3.23	41.01	24.83	0.62
Parte Alta	170	Max WS	114.04	422.09	425.28		425.67	0.002666	2.96	45.93	30.01	0.58
Parte Alta	160	Max WS	114.04	421.98	425.16		425.66	0.002989	3.26	37.88	31.54	0.64
Parte Alta	150	Max WS	114.04	421.89	425.30		425.60	0.001460	2.56	51.68	32.39	0.47
Parte Alta	140	Max WS	114.04	421.72	425.39	424.60	425.56	0.000659	1.83	61.89	32.71	0.32
Parte Alta	136			Bridge								
Parte Alta	130	Max WS	114.04	421.24	423.22	424.16	425.45	0.024768	6.64	17.25	10.53	1.63
Parte Alta	120	Max WS	114.04	421.29	422.82	424.02	427.07	0.064909	9.30	12.76	11.02	2.62
Parte Alta	110	Max WS	114.04	420.18	422.36	423.03	424.53	0.030367	6.53	17.58	13.51	1.77
Parte Alta	100	Max WS	114.04	419.75	422.07	422.52	423.60	0.021409	5.52	21.05	17.33	1.54
Parte Alta	90	Max WS	114.04	419.98	421.76	422.69	424.87	0.050384	7.80	14.61	12.51	2.31
Parte Alta	80	Max WS	114.04	418.38	421.24	422.04	423.90	0.047181	7.23	15.76	13.01	2.10
Parte Alta	70	Max WS	114.04	418.87	420.98		421.42	0.004565	2.96	38.59	24.29	0.75
Parte Alta	60	Max WS	114.04	418.94	420.85	420.85	421.60	0.007856	3.89	30.20	20.81	0.99
Parte Alta	50	Max WS	114.04	418.95	420.75	420.88	421.59	0.011737	4.06	28.13	22.97	1.16
Parte Alta	40	Max WS	114.04	418.76	420.61	420.91	421.78	0.015145	4.80	23.86	18.52	1.33
Parte Alta	30	Max WS	114.04	418.33	420.45	420.70	421.54	0.014291	4.63	24.64	18.40	1.28
Parte Alta	20	Max WS	114.04	418.14	420.31	420.58	421.33	0.013427	4.48	25.48	19.36	1.25
Parte Alta	10	Max WS	114.04	418.04	420.22	420.66	421.70	0.016180	5.42	21.51	15.59	1.40

Total flow in cross section.

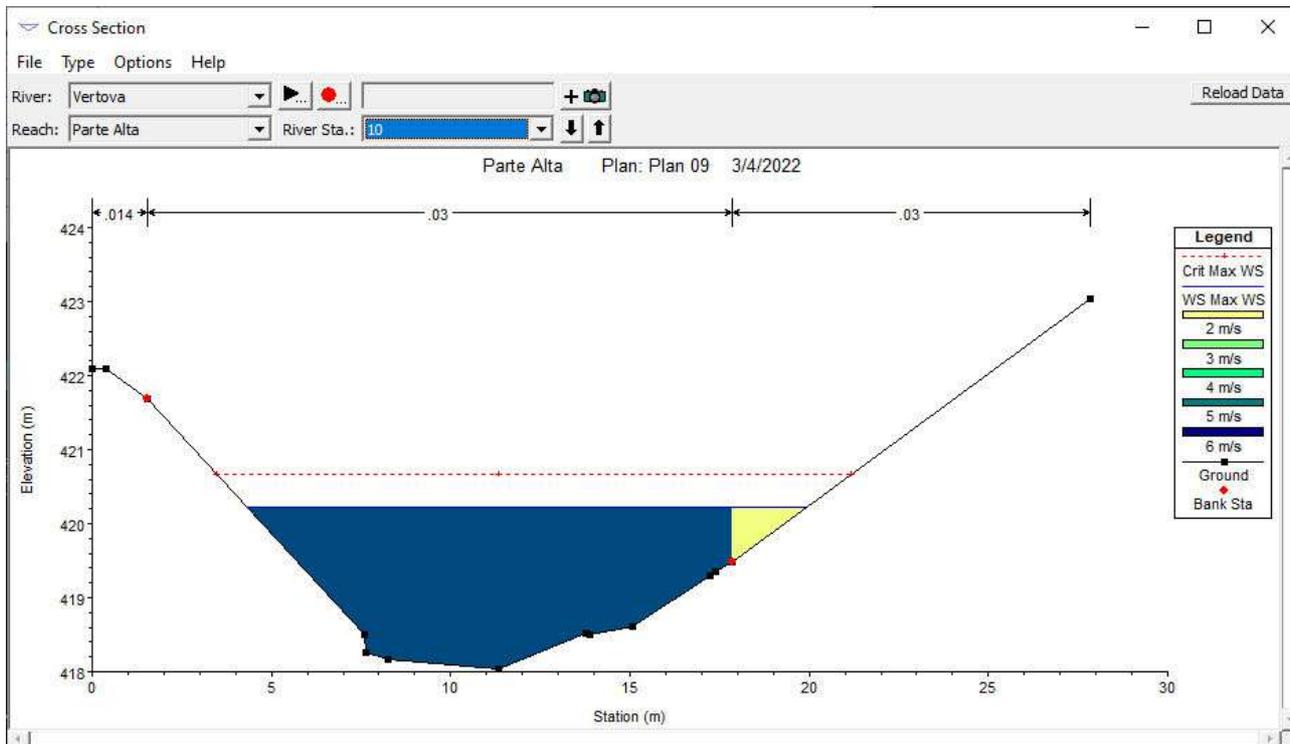
Legenda:

- River station: riferimento alla sezione individuata sull'alveo (si vedano tabelle di corrispondenza e elaborati grafici allegati);	- Crit W.S.: quota in m s.l.m. dell'altezza di stato critico;
- Profile: riferimento al profilo del pelo libero della corrente;	- E.G. Elev.: quota in m s.l.m. dell'energia della corrente;
- Qtotal: valore in m <sup>3</sup> /s della portata di piena;	- Vel Chnl: velocità della corrente in m/s;
- Mm Ch El: quota in m s.l.m. del punto più basso del letto del fiume per la sezione corrispondente;	- Froude Chl: numero di Froude che definisce una corrente veloce per valori > di 1 e corrente lenta per valori < 1.
- W.S. Elev: quota in m s.l.m. del pelo libero della corrente;	- Flow Area: superficie della sezione bagnata in m <sup>2</sup>

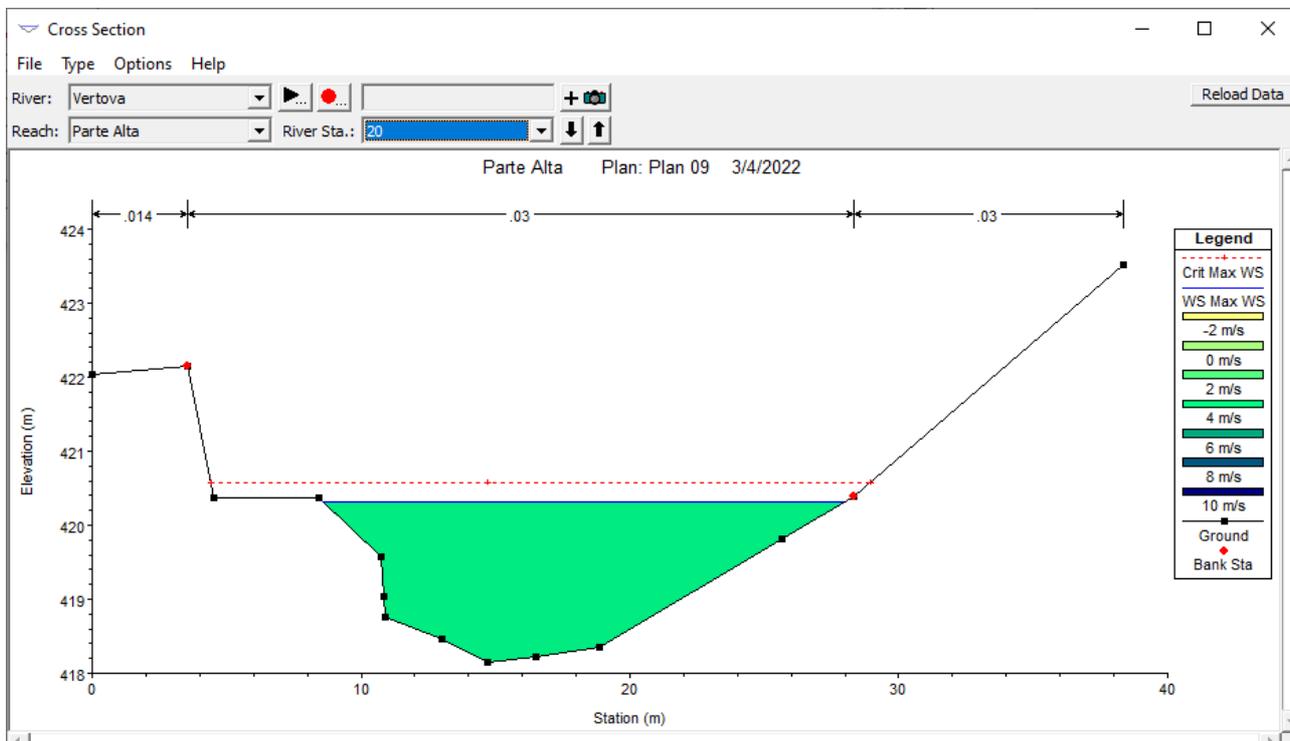
Tabella riassuntiva Valle Vertova – modello portate PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ )



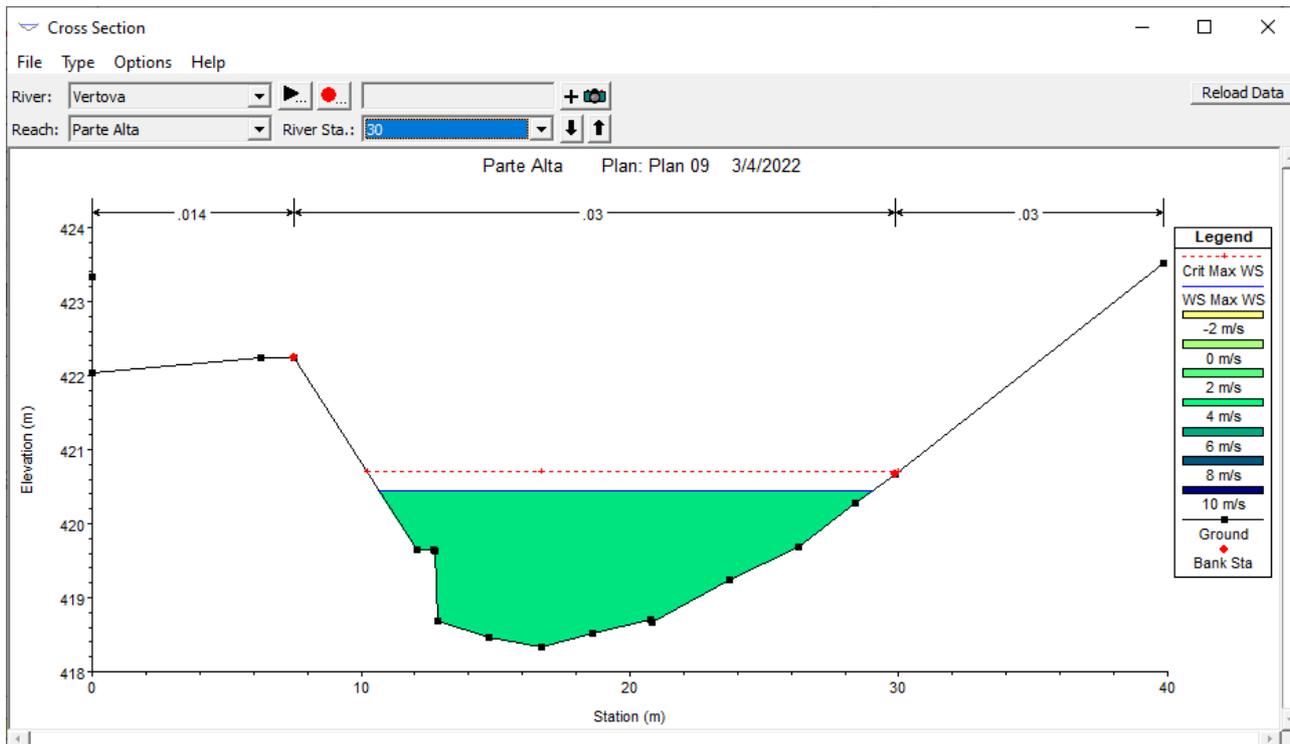
Rappresentazione profilo longitudinale – modello portate PF1 100 anni  $Q = 114,07 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ )



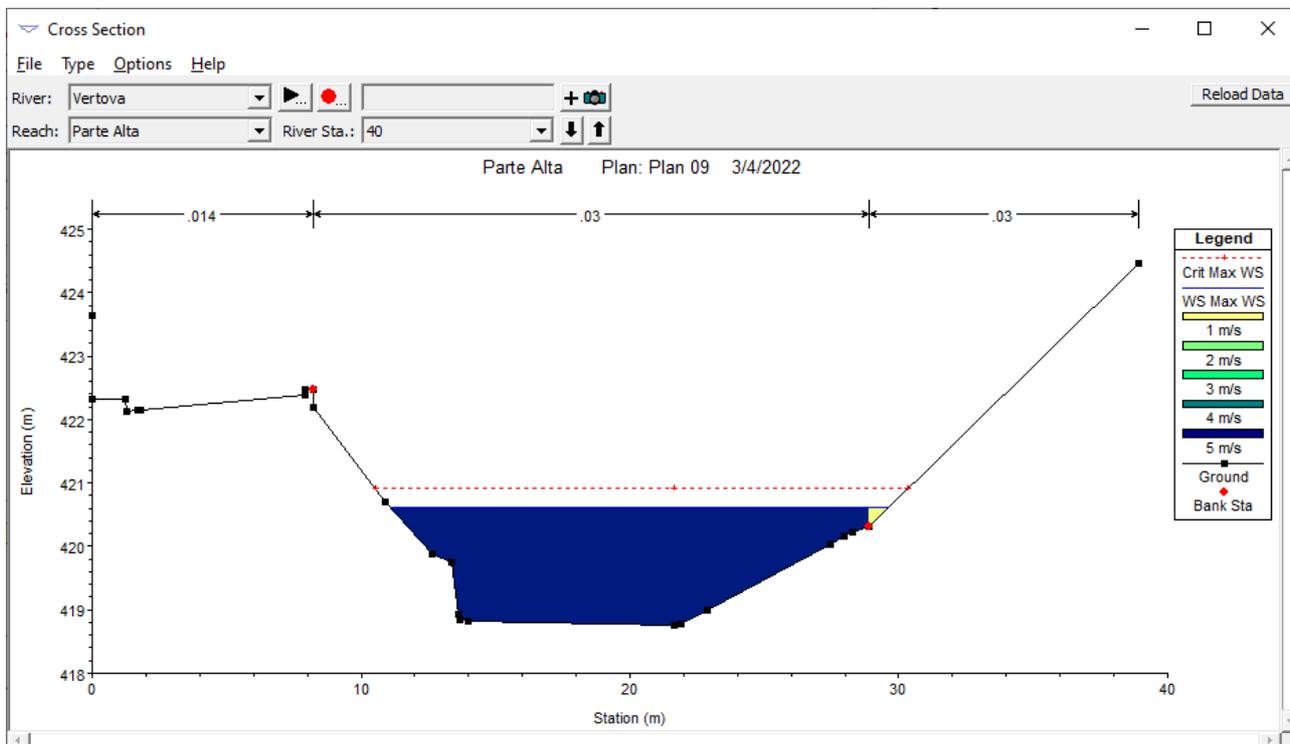
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 20 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



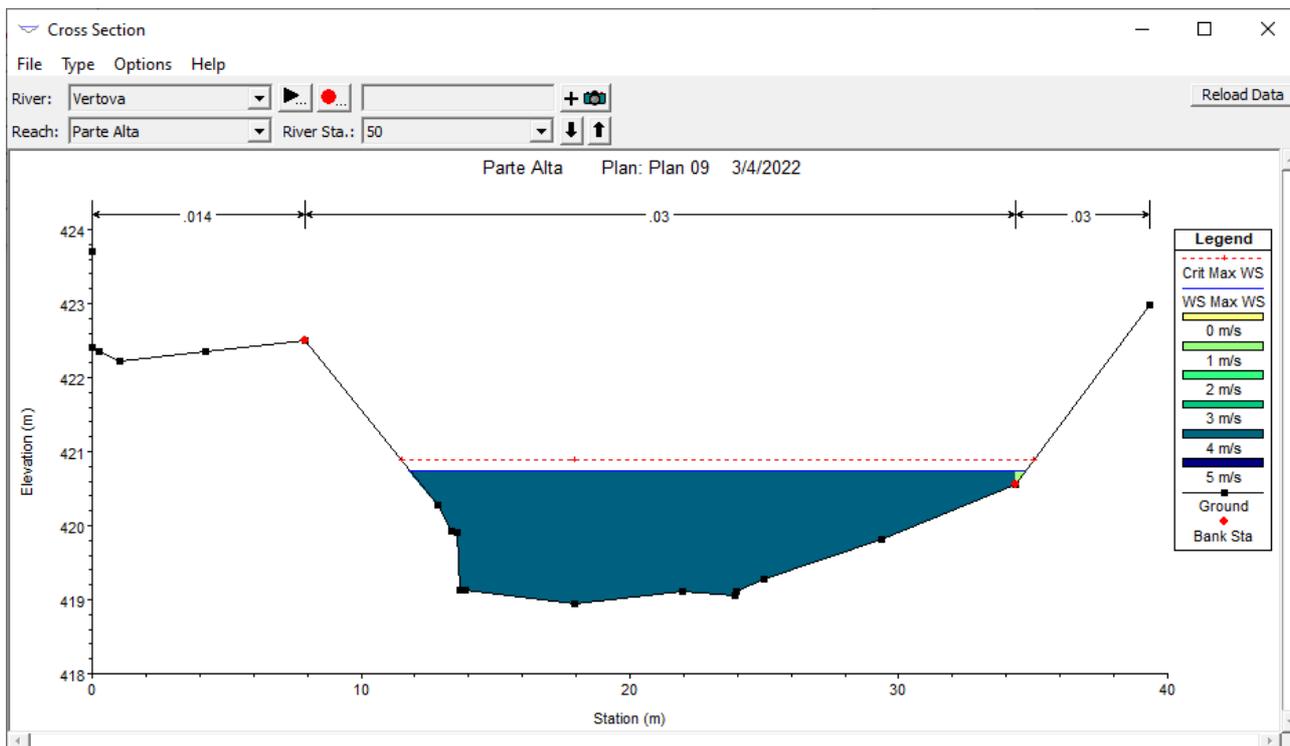
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 19 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



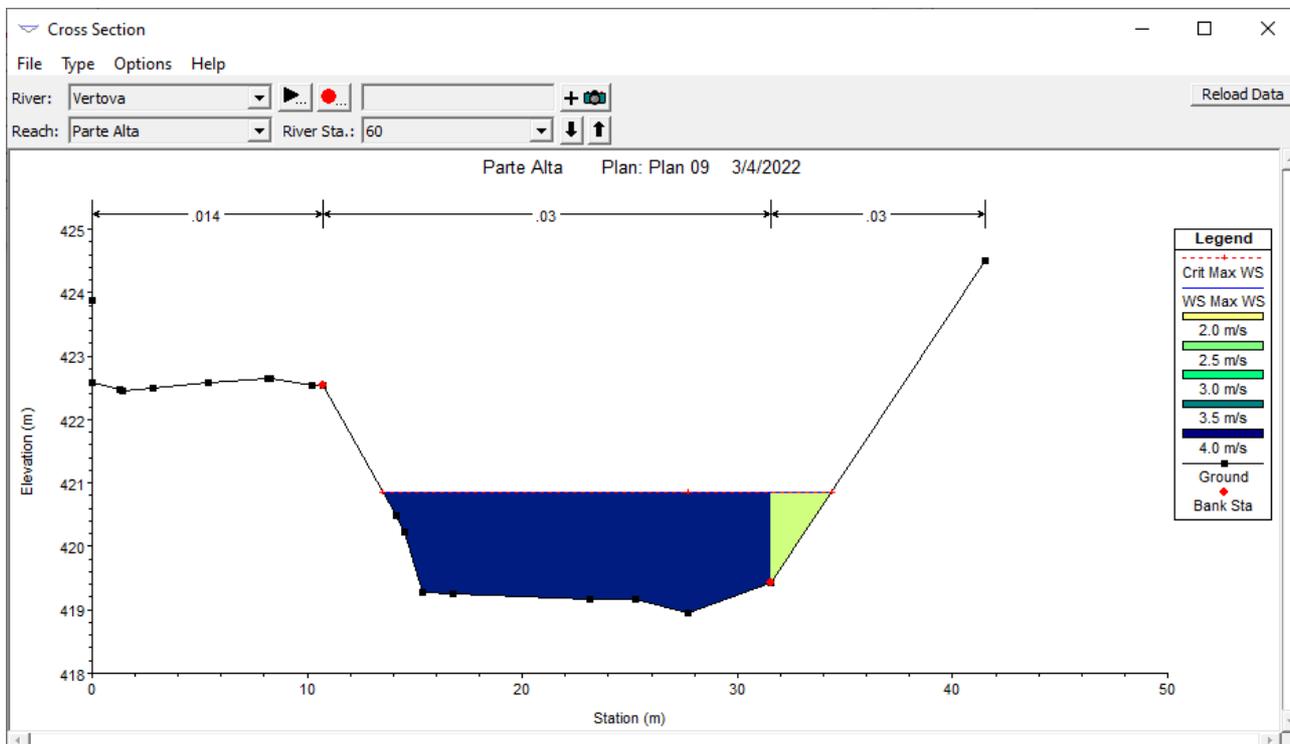
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 18 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



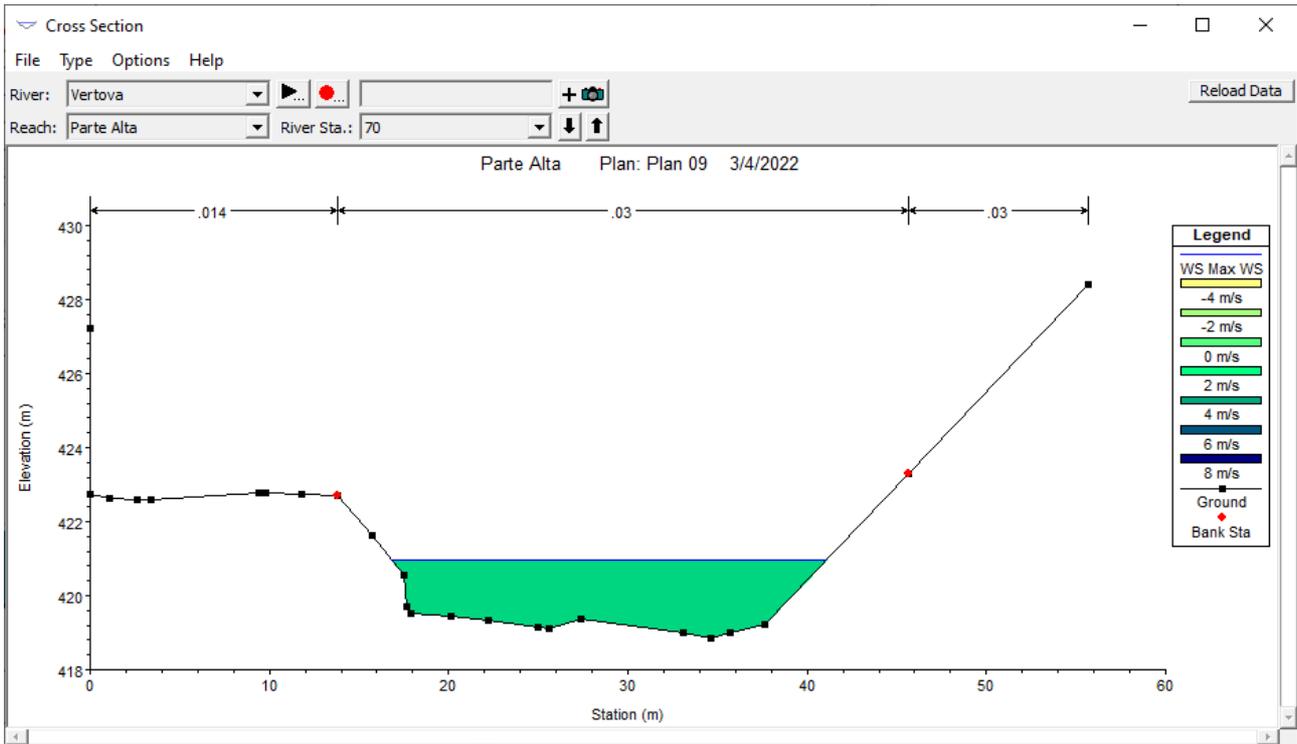
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 17 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



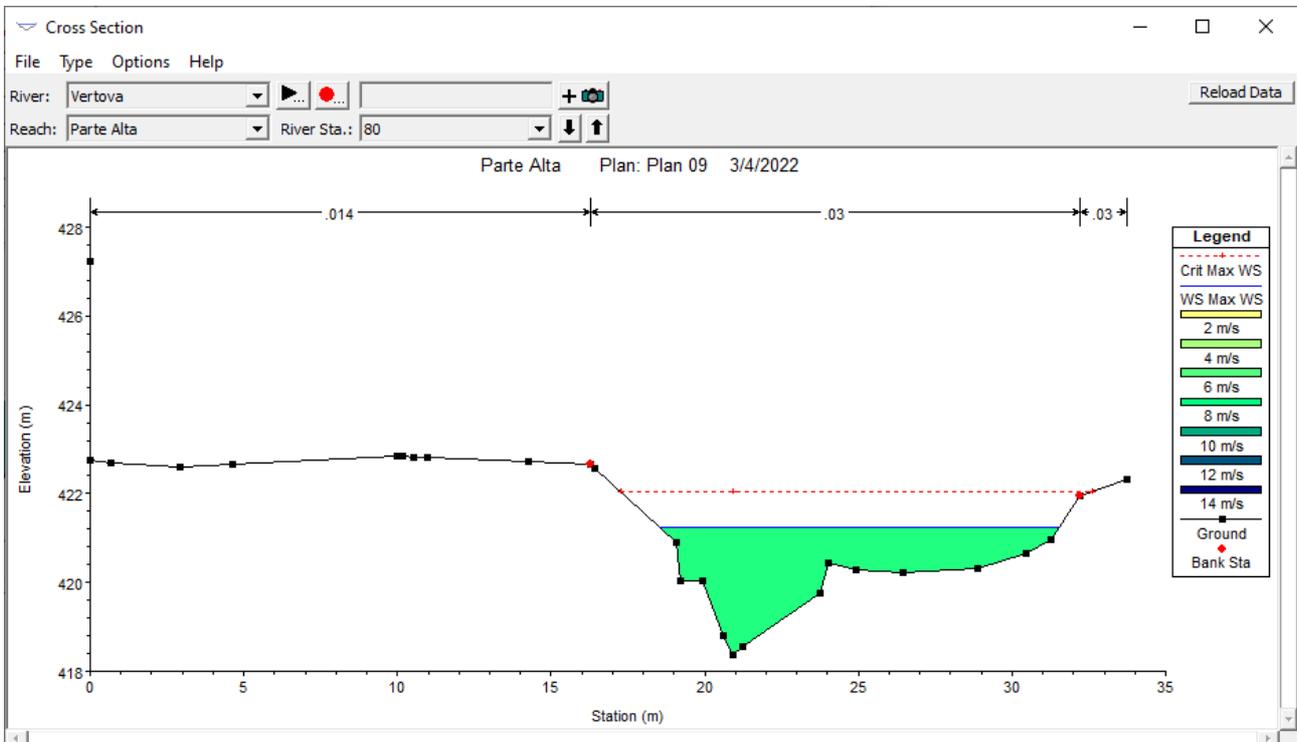
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 16 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



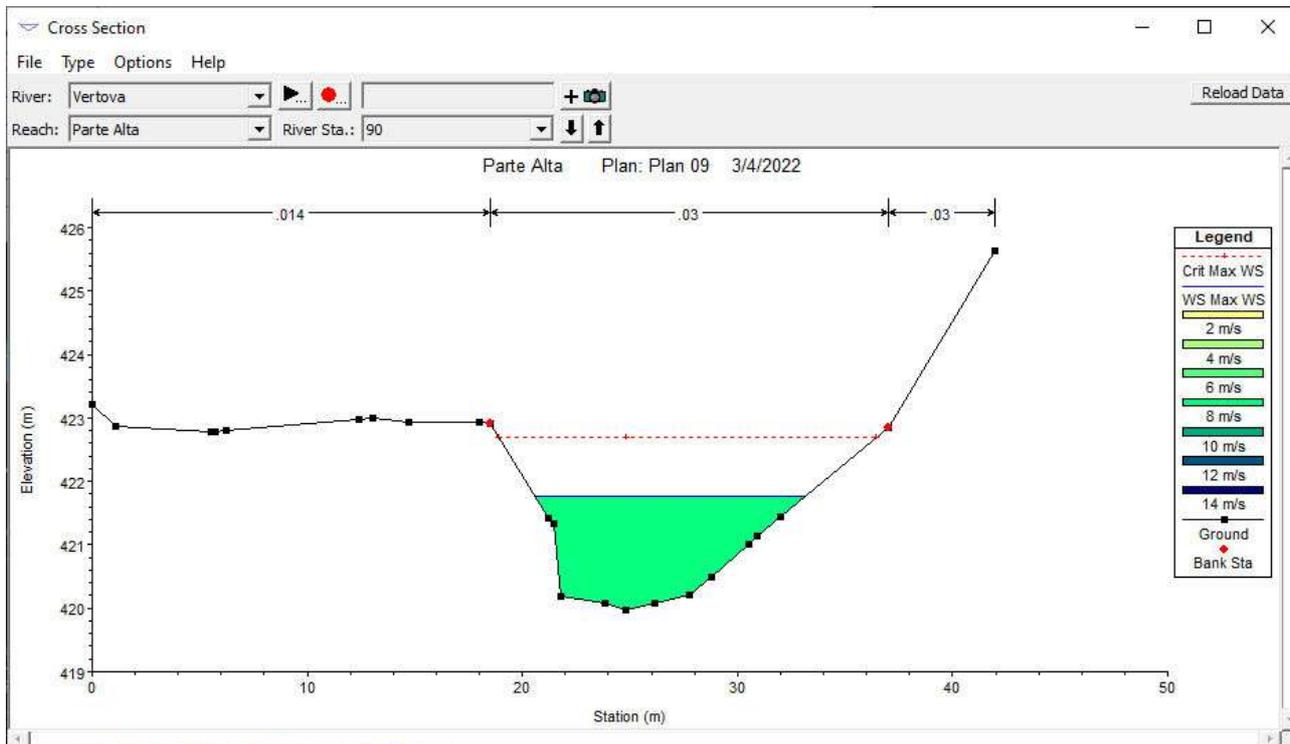
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 15 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



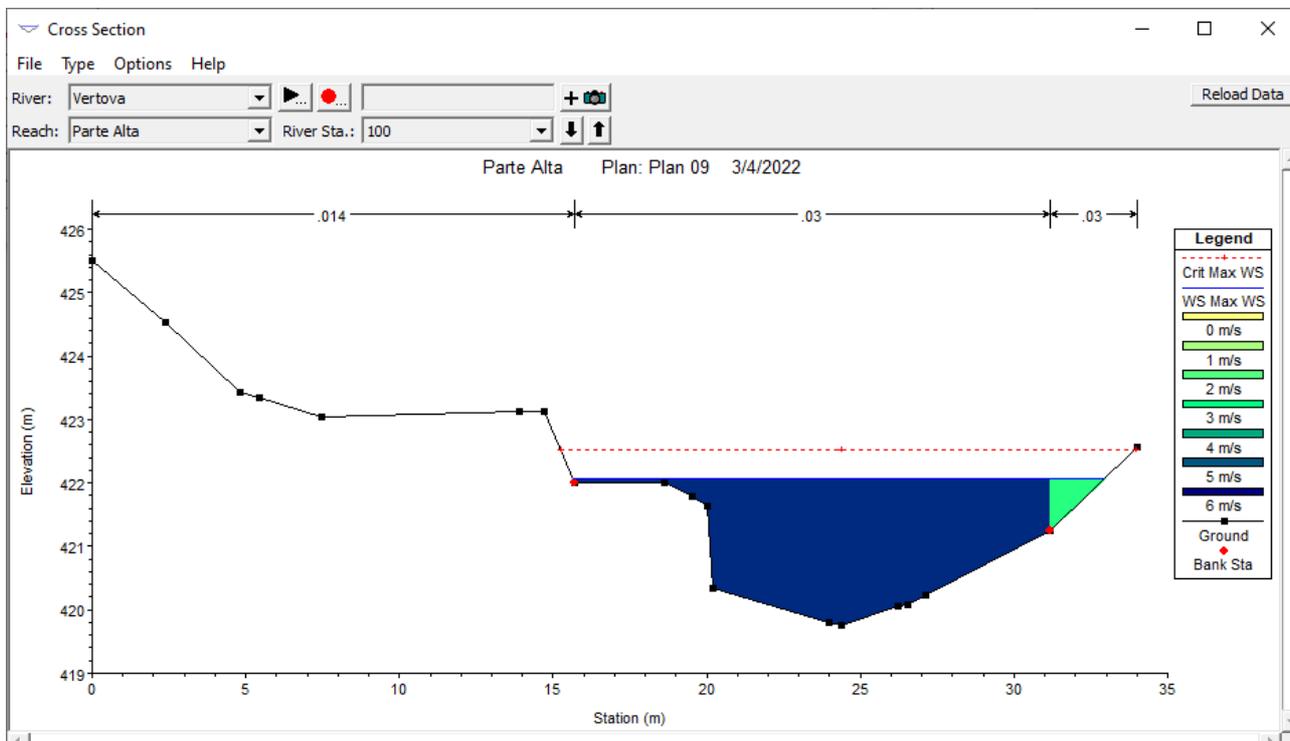
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 14 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



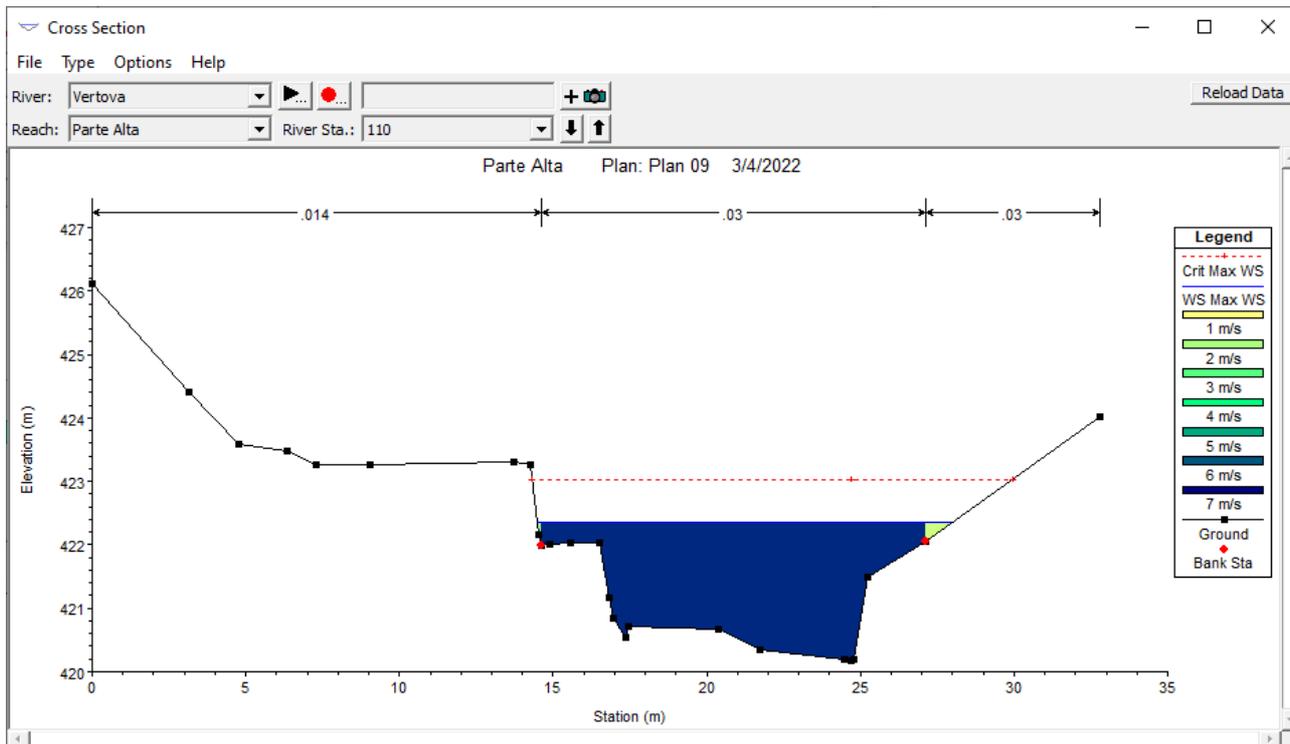
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 13 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



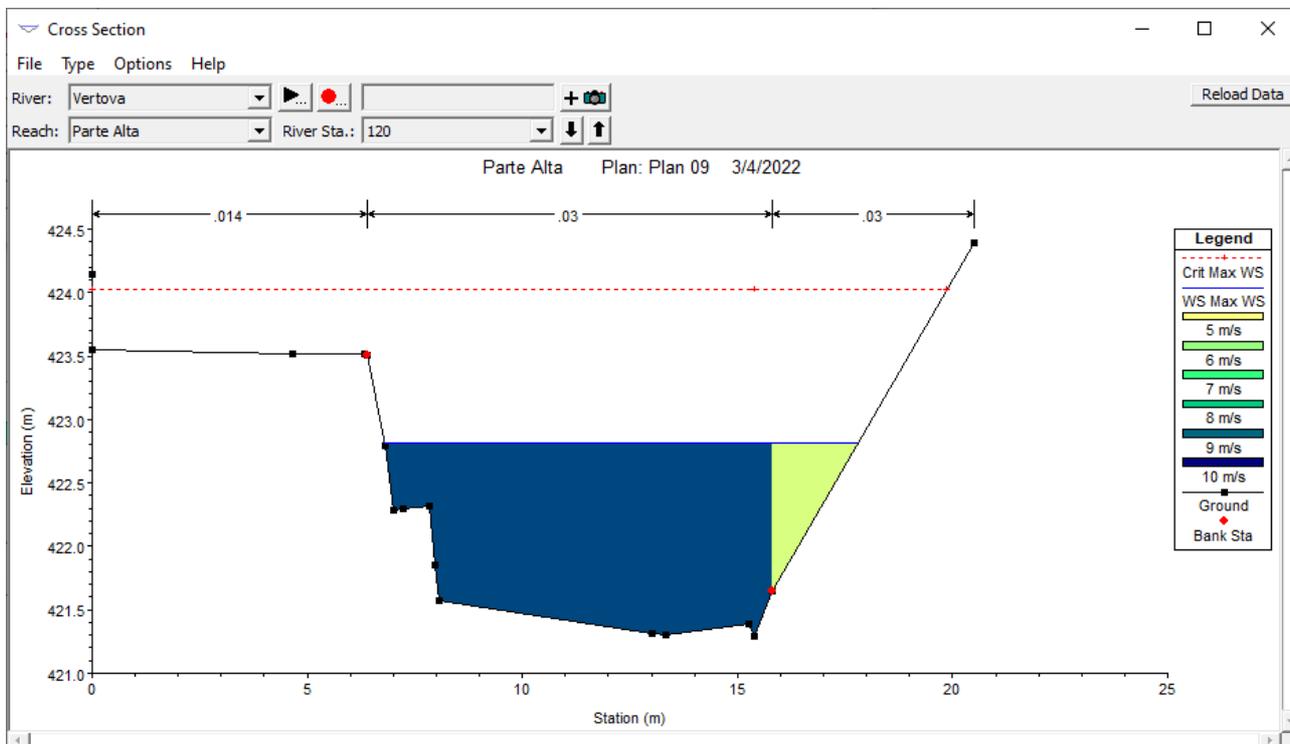
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 12 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



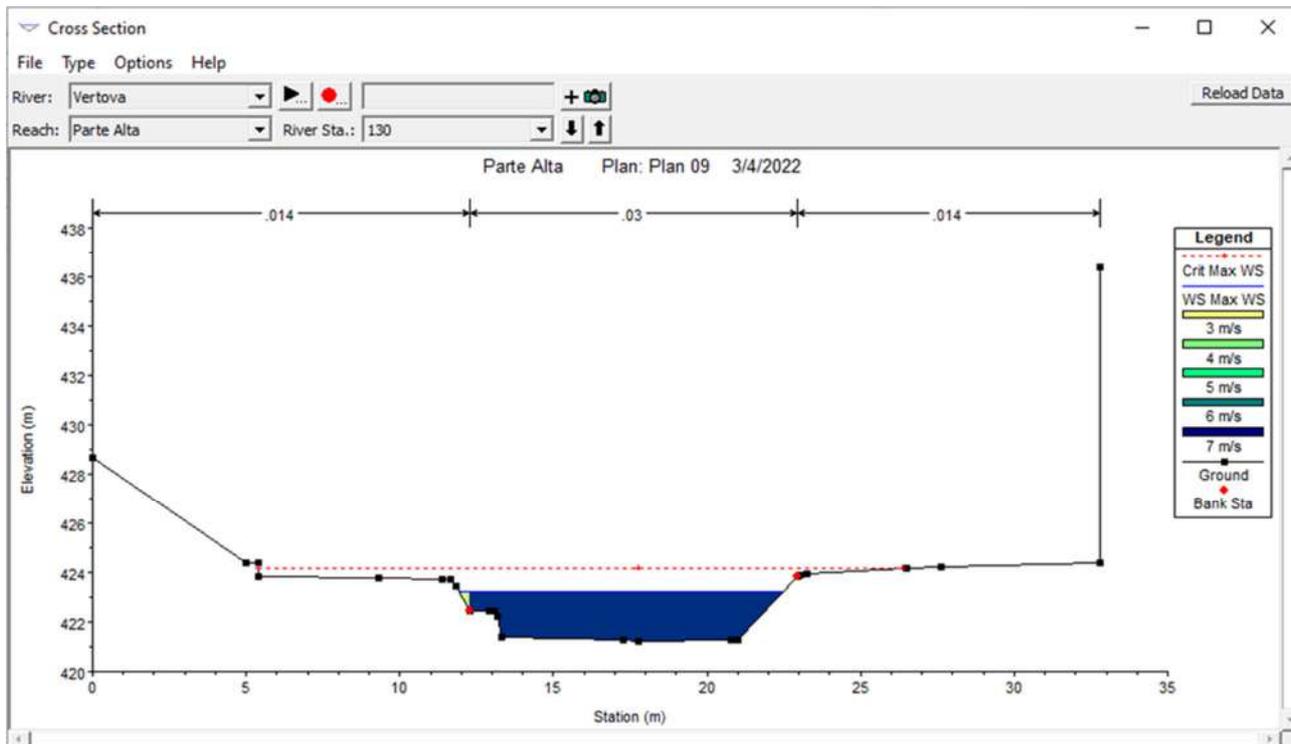
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 11 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



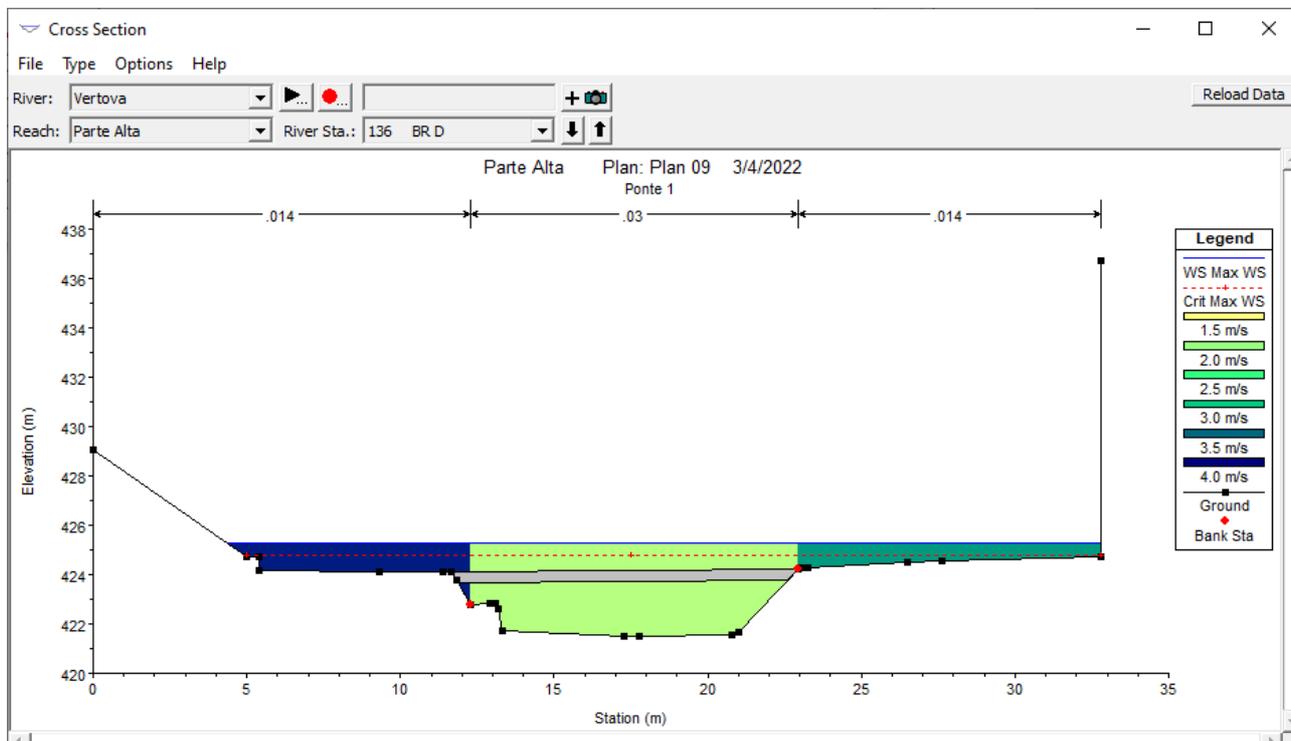
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 10 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



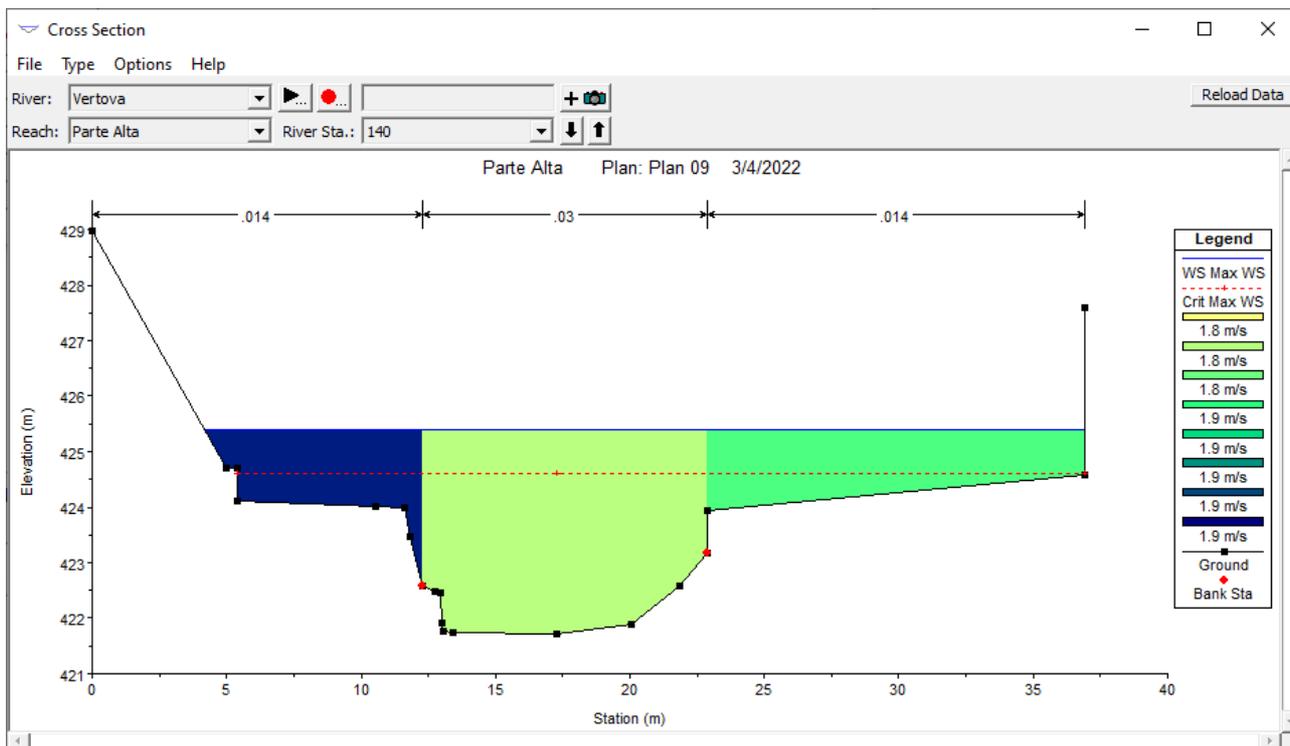
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 9 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



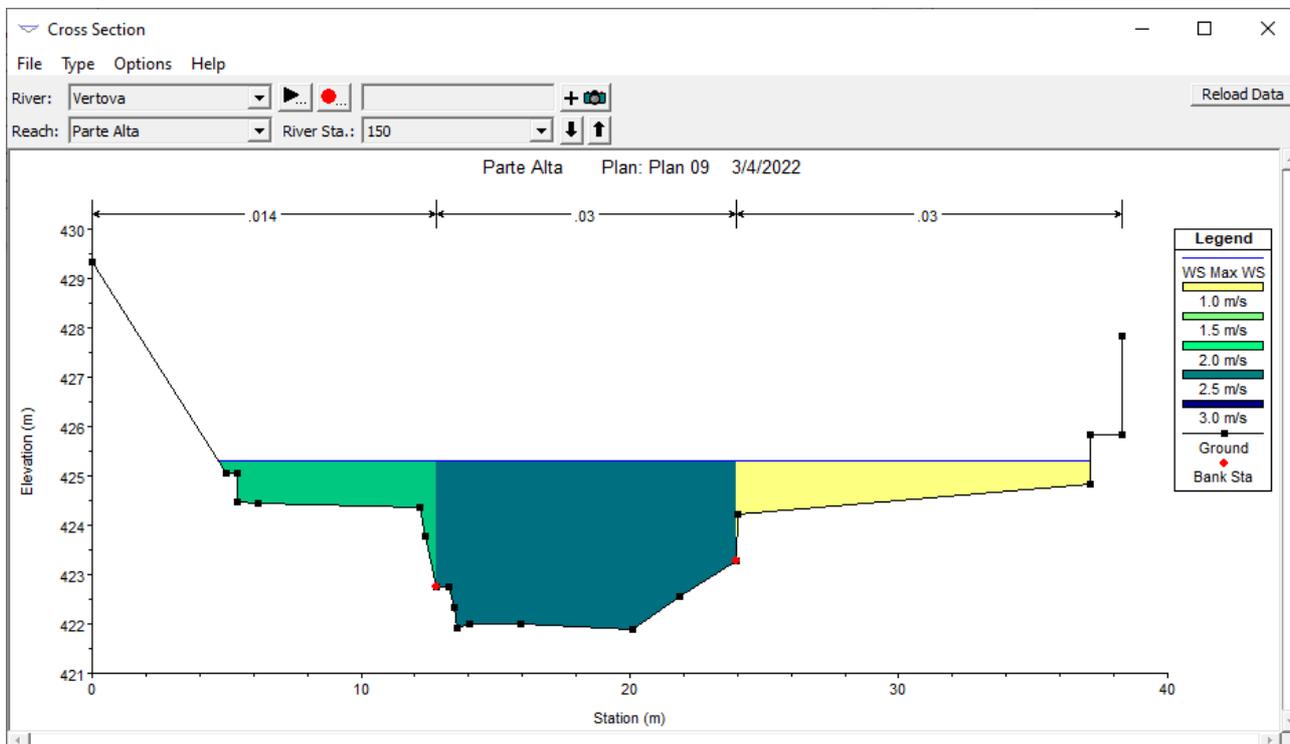
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 8 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



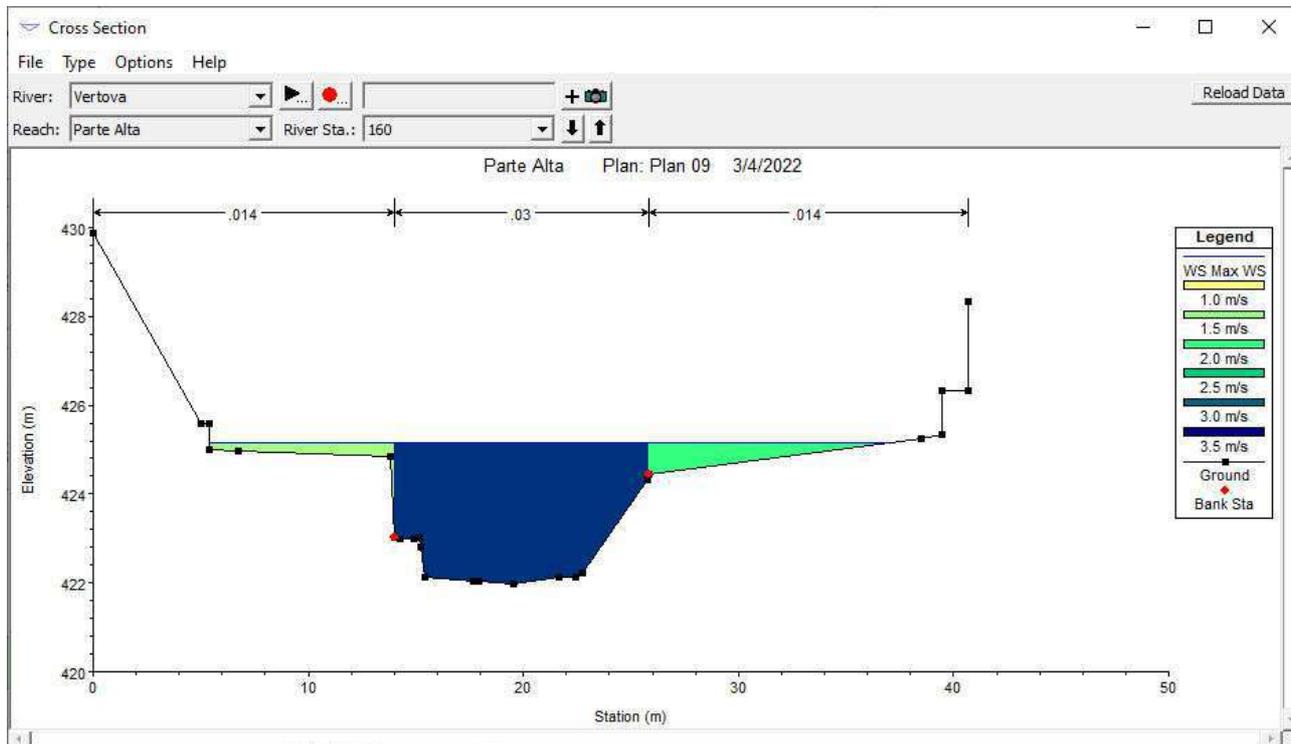
Sezioni idrauliche schematiche – Sezione posta in corrispondenza del ponte con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



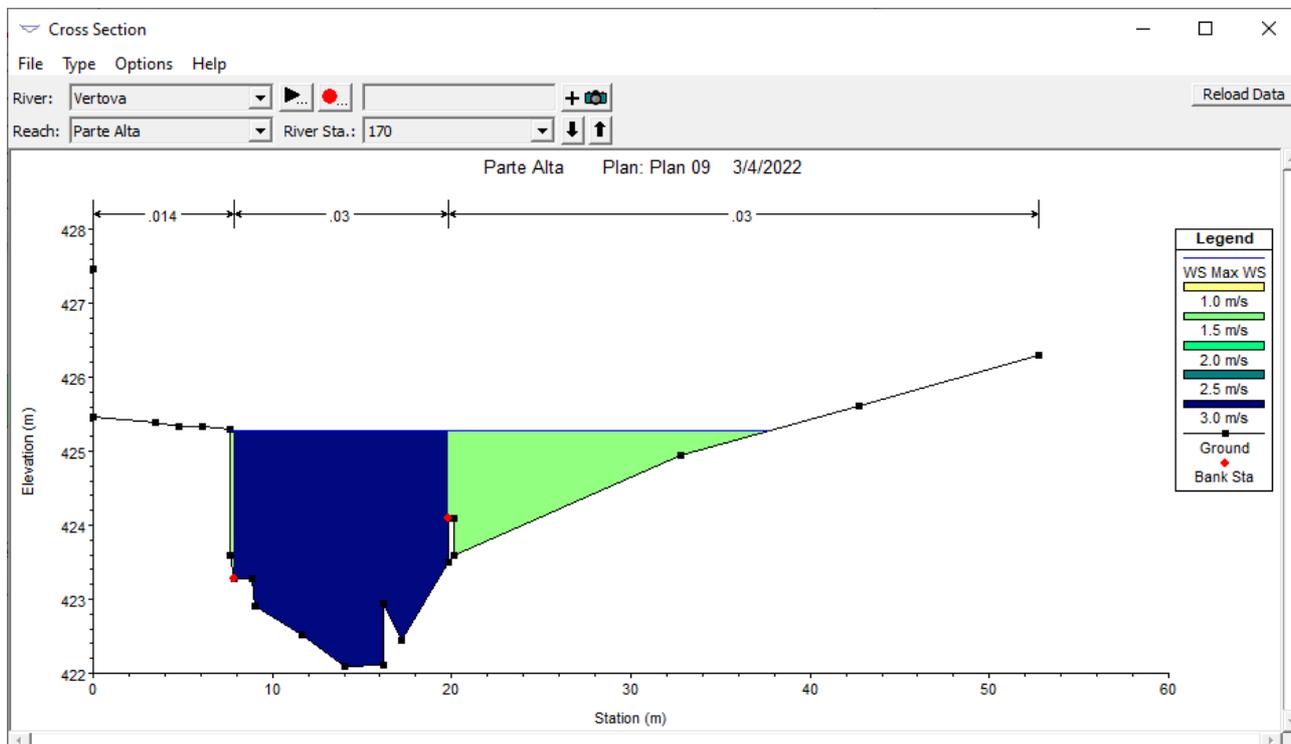
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 7 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



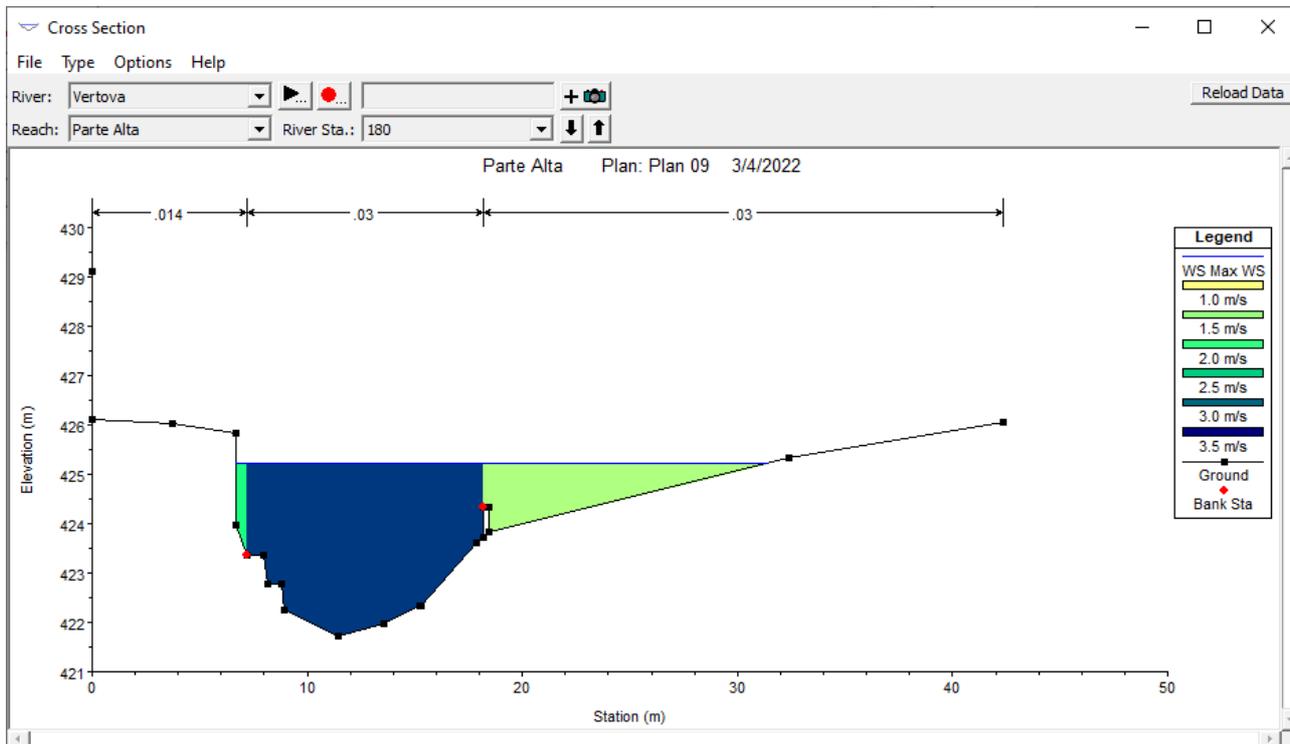
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 6 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



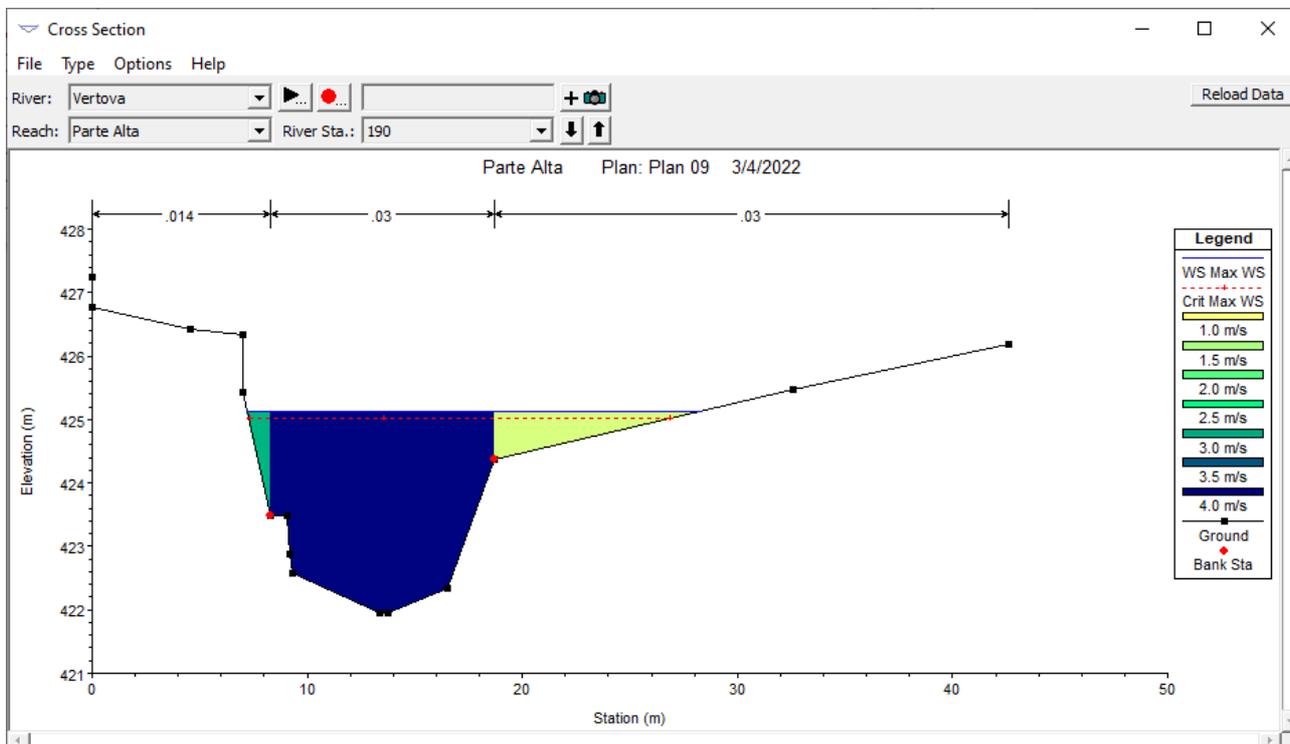
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 5 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



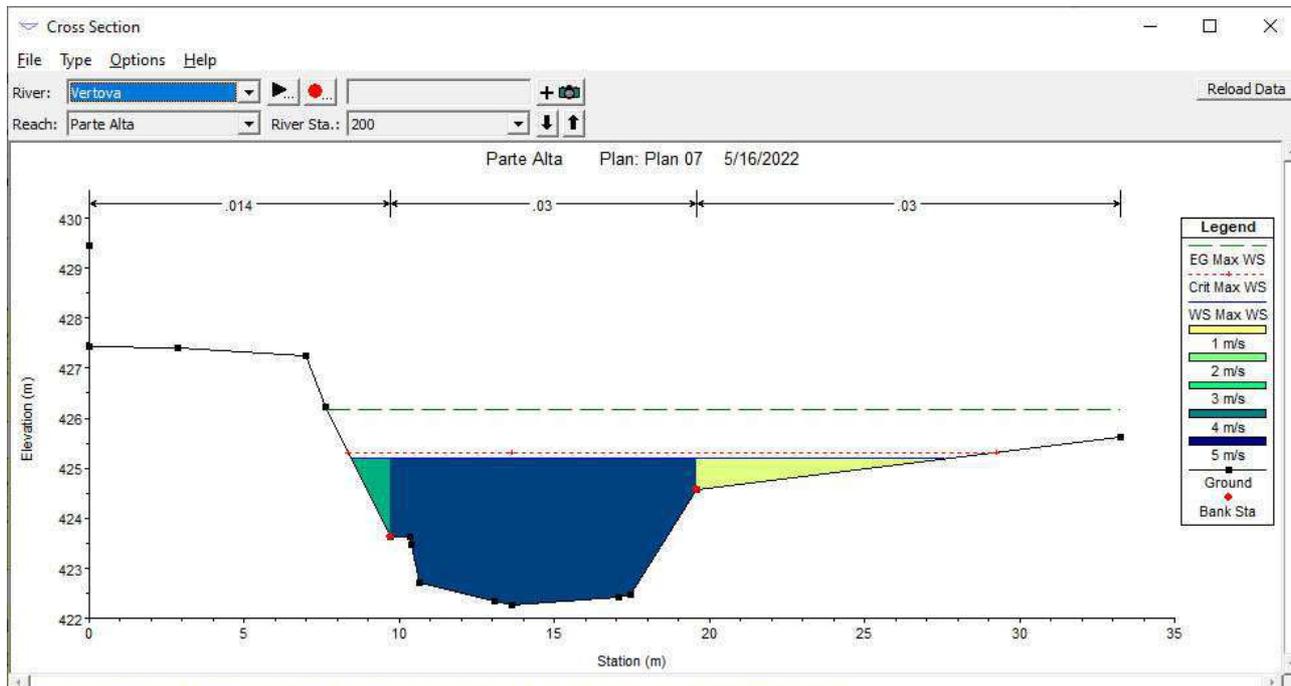
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 4 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 3 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 2 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori



Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 1 con indicazione dei battenti per la portata PF1 100 anni  $Q = 114,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,37$ ). Indicazione per la portata PF1 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori

Per quanto riguarda l’esonazione essa è indicata dal modello su via V Martiri nei pressi e immediatamente a monte del ponte Mistri, mentre a monte dalla sezione di rilievo 4 l’onda di piena non coinvolge la piattaforma stradale.

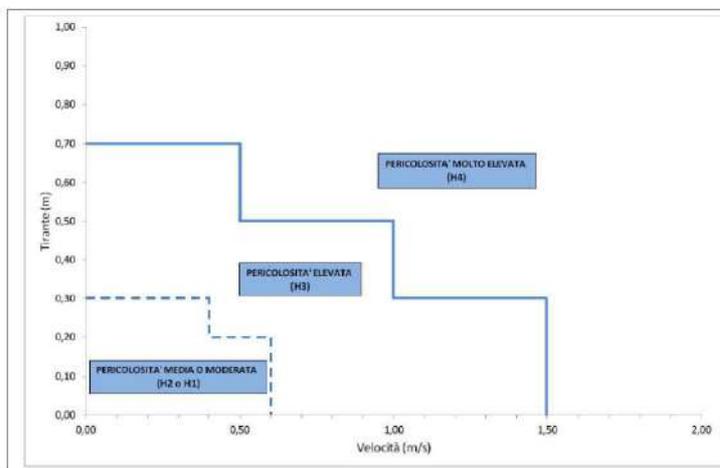
I tiranti idrici variano da qualche decimetro a valori significativi (0,15÷1,40 m) come evidenzia la sottostante tabella. Ciò è dovuto alla presenza del ponte che, con una luce piuttosto modesta rispetto ai battenti, costituisce un importante ostacolo per il deflusso della corrente.

Sezione di rilievo	River Sta	Portata PF 100	Quota Minima Alveo	Quota Piena	Quota via V Martiri		Quota min. ponte	Tirante su via V Martiri		Tirante su ponte
					MIN	MAX		MIN	MAX	
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	200	114.05	422.26	425.19	427.24	427.44	-2.25	-2.05		
2	190	114.04	421.94	425.13	426.43	426.76	-1.63	-1.30		
3	180	114.04	421.72	425.23	425.82	426.1	-0.87	-0.59		
4	170	114.04	422.09	425.28	425.3	425.46	-0.18	-0.02		
5	160	114.04	421.98	425.16	425.01	424.84	0.32	0.15		
6	150	114.04	421.89	425.3	424.47	424.37	0.93	0.83		
7	140	114.04	421.72	425.39	424.11	423.99	1.40	1.28		
-	136	Bridge		425.27					424.09	1.18
8	130	114.04	421.24	423.22	423.81	423.74	-0.52	-0.59		
9	120	114.04	421.29	422.82	423.55	423.51	-0.69	-0.73		
10	110	114.04	420.18	422.36	423.27	423.26	-0.90	-0.91		
11	100	114.04	419.75	422.07	423.11	423.04	-0.97	-1.04		
12	90	114.04	419.98	421.76	422.97	422.8	-1.04	-1.21		
13	80	114.04	418.38	421.24	422.85	422.66	-1.42	-1.61		
14	70	114.04	418.87	420.98	422.79	422.6	-1.62	-1.81		
15	60	114.04	418.94	420.85	422.49	422.65	-1.80	-1.64		
16	50	114.04	418.95	420.75	422.36	422.5	-1.75	-1.61		
17	40	114.04	418.76	420.61	422.12	422.38	-1.77	-1.51		
18	30	114.04	418.33	420.45	422.03	422.25	-1.80	-1.58		
19	20	114.04	418.14	420.31	422.04	422.15	-1.84	-1.73		
20	10	114.04	418.04	420.22	422.09	422.1	-1.88	-1.87		

Legenda:  
 Sezione rilievo = sezione rilievo topografico;  
 River Sta = sezione di modellazione idraulica;  
 QUOTA PIENA = Quota massima raggiunta dalla piena con portata specifica;  
 Quota via V Martiri = Quota massima e minima della sede stradale;  
 Quota minima ponte = quota minima estradosso ponte Mistri;  
 TIRANTE SU VIA V MARTIRI = altezza del deflusso sulla strada (in rosso i valori di superamento del livello stradale, in verde situazione di contenimento della sponda sinistra del torrente Vertova)  
 TIRANTE SU PONTE = altezza massima del deflusso idrico estradosso ponte Mistri (in rosso i valori di superamento)

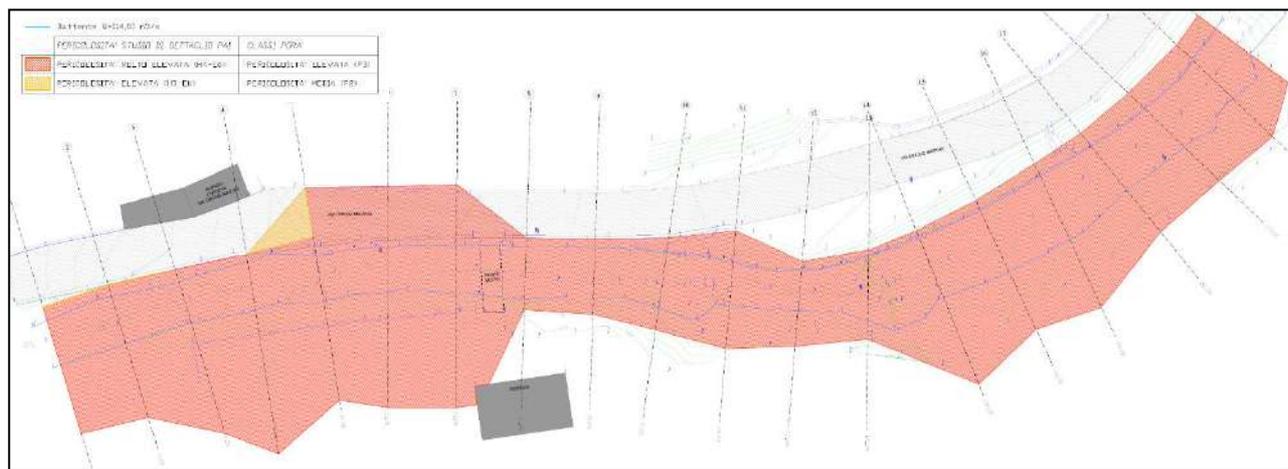
## 8.2 MAPPATURA PERICOLOSITA'

Sulla base dei tiranti idrici e delle velocità registrate dalla modellazione è stata ricostruita in planimetria la pericolosità (tavola 12) secondo quanto specificato dall'allegato 4 ed in funzione del grafico qui a lato rappresentato.



Dall'analisi della pericolosità emerge che l'alveo, un tratto di via 5 Martiri immediatamente a monte del ponte e soprattutto la sponda in destra idrografica e parte del piazzale di servizio all'abitazione al civico 52 sono inseriti in classe di pericolosità H4 corrispondente ad aree a pericolosità di esondazione molto elevata (Ee) per quanto riguarda la classificazione PAI e ad aree a pericolosità elevata (P3) per quanto riguarda la classificazione PGRA. Solo una piccolissima area di via 5 Martiri, dove il torrente inizia ad esondare, ricade in classe di pericolosità H3 corrispondente ad aree a pericolosità elevata (Eb) per la classificazione PAI e ad aree a pericolosità media (P2) per quella PGRA. Per questo motivo nella mappatura PAI complessiva del territorio di Vertova la pericolosità per esondazione verrà identificata unicamente come pericolosità molto elevata (Ee) PAI e pericolosità elevata (P3) PGRA.

Per quanto riguarda l'esondazione in sinistra idrografica è utile segnalare che i valori di portata utilizzata tengono già conto anche di quella del torrente valle degli Uccelli tributario di sinistra del torrente Vertova che si innesta nel Vertova presso l'edificio segnalato nella cartografia di dettaglio e che l'edificio in destra idrografica viene lambito marginalmente dall'onda di piena.



Estratto tavola 12 zonazione pericolosità e legenda PAI-PGRA ponte Mistri



*zona di esondazione presso il ponte Mistri che interessa in parte via 5 Martiri (sx idrografica) e il piazzale del civico 52 (dx idrografica)*



## 9. VERIFICHE IDRAULICHE LOCALITÀ PONTE LACNÌ

(con la collaborazione dell'ing. E. Zucchelli di SAI PROGETTI)

Le verifiche idrauliche sono state effettuate sulla valle Vertova, nel tratto che si snoda in corrispondenza della località Lacnì di sviluppo pari a circa 364 m. Il modello è stato sviluppato a partire dal rilievo topografico condotto dallo studio tecnico Sergio Grassi nel mese di luglio 2020 e lo studio idraulico è contenuto all'interno della relazione OPERE DI MESSA IN SICUREZZA TRATTO VIA 5 MARTIRI LOTTO 2 – RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA PER LE OPERE DI PROGETTO DEL II LOTTO RISPETTO AL TORRENTE VERTOVA - STUDIO GEOTER (DOTT. GEOL. SERGIO SANTAMBROGIO) e SAI PROGETTI (ING. EZIO ZUCHELLI, 2020). Qui viene riassunto lo studio con la finalità della determinazione delle aree a differente pericolosità (tavole 18, 19, 20, 21, 22 e 23).

### Modello idraulico

La sezioni di rilievo A (sezione di valle) e 36 (sezione di monte), corrispondono nelle simulazioni rispettivamente alle sezioni -1 e 48. Per la costruzione dei modelli, oltre alle n. 42 sezioni da A a 36, sono state ricavate n. 6 sezioni a partire dal rilievo fornito dallo studio tecnico Sergio Grassi a supporto di questa progettazione (sezioni 45, 43, 42, 13, 11, 8). Per una migliore descrizione dei fenomeni idraulici sono state poi inserite nel modello n. 2 sezioni poste sull'asta del torrente Belo (sezioni 6, 7), affluente della valle Vertova, sempre ricavate a partire dal rilievo topografico.

Nella tabella seguente è indicata la corrispondenza tra gli indici di riferimento per le sezioni di rilievo e gli indici di riferimento per le sezioni di simulazione (Valle Vertova).

Sezione rilievo	River Station						
36	48	27	36	14	23	5	10
35	47	26	35	13	22	4	9
34	46	25	34	12	21	-	8
-	45	24	33	11b	20	3	5
		23	32	11a	19	-	4
33	44	22	31	11	18	2	3
-	43	21	30	10	17	1b	2
-	42	20	29	9	16	1	1
32	41	19	28	8	15	1a	0
31	40	18	27	7	14	A	-1
30	39	17	26	-	13		
29	38	16	25	6	12		
28	37	15	24	-	11		

Per il calcolo del profilo di moto permanente si è utilizzato il programma Hec-Ras (River Analysis System-US Army Corps of Engineers-Hydrologic Center) nella versione 5.0.7. In tale programma le perdite valutate sono quelle di attrito (equazione di Manning) e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica); l'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni.

Le condizioni al contorno sono suddivise in tre parti:

a) tratto del torrente Vertova sino alla confluenza con il Torrente Belò:

- condizione di valle: unione con il Torrente Belò;
- condizione di monte: la condizione di monte per il calcolo del profilo in moto permanente è stata posta pari all'altezza critica (metodo di calcolo parabolico).

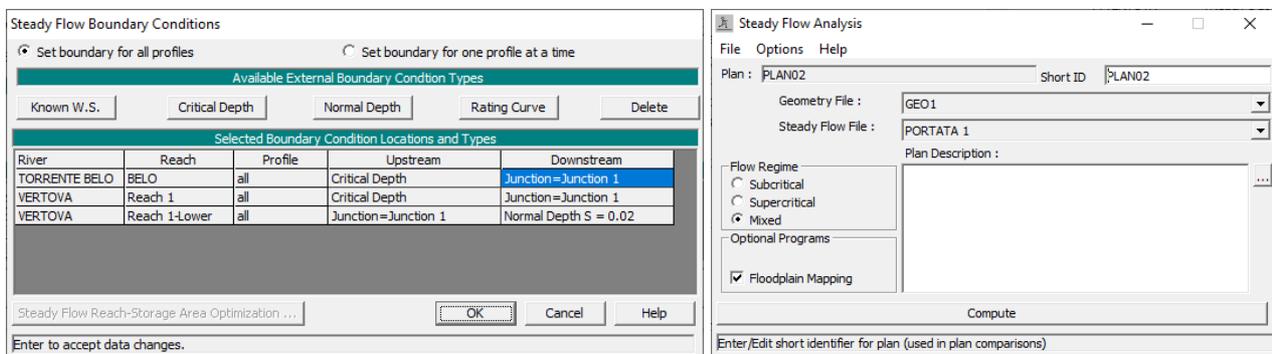
b) tratto del torrente Vertova a partire dalla confluenza con il Torrente Belò:

- condizione di valle: la condizione di valle per il calcolo del profilo in moto permanente è stata posta pari all'altezza di moto uniforme (pendenza alveo 0,020);
- condizione di monte: unione con il Torrente Belò.

c) tratto del torrente Belò nel tratto sino al congiungimento con la Valle Vertova:

- condizione di valle: unione con la Valle Vertova;
- condizione di monte: la condizione di monte per il calcolo del profilo in moto permanente è stata posta pari all'altezza critica (metodo di calcolo parabolico).

L'analisi è stata condotta impostando un regime della corrente variabile tra lento a veloce (Mixed) lungo il profilo di moto.



### Coefficienti di scabrezza

Sulla base di quanto riscontrato durante i sopralluoghi condotti relativamente alle condizioni di fondo alveo, si è deciso per la Valle Vertova di adottare un coefficiente di Manning pari a  $n=0,035$  per le sezioni del modello da 48 (Sezione di rilievo 36) a 14 (Sezione di rilievo 7) ed un coefficiente di Manning pari a  $n=0,030$  per le sezioni da 12 (Sezione di rilievo 6) a -1 (Sezione di rilievo A).

Per il Torrente Belò (Sezioni modello 6, 7) si è adottato un valore del coefficiente di Manning pari a  $n=0,035$ .

### Valori di portata

In accordo con quanto riportato nello studio prima citato, la portata al colmo considerata nelle simulazioni condotte per tempi di ritorno di 100 anni è:

Valle Vertova nel tratto sino al congiungimento con il Torrente Belo

$$Q = 72,81 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (per } c=0,327 \div 0,342) \text{ e } Q = 102,91 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (per } c=0,4466)$$

Valle Vertova nel tratto a partire dal congiungimento con il Torrente Belo

$$Q = 90,18 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (per } c=0,327 \div 0,342) \text{ e } Q = 125,38 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (per } c=0,4466)$$

Torrente Belo nel tratto sino al congiungimento con la Valle Vertova

$$Q = 17,37 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (per } c=0,327 \div 0,342) \text{ e } Q = 22,47 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (per } c=0,4466)$$

Steady Flow Data - PORTATA 1

Description: PORTATA 1

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 5 Reach Boundary Conditions ...

Locations of Flow Data Changes

River: VERTOVA

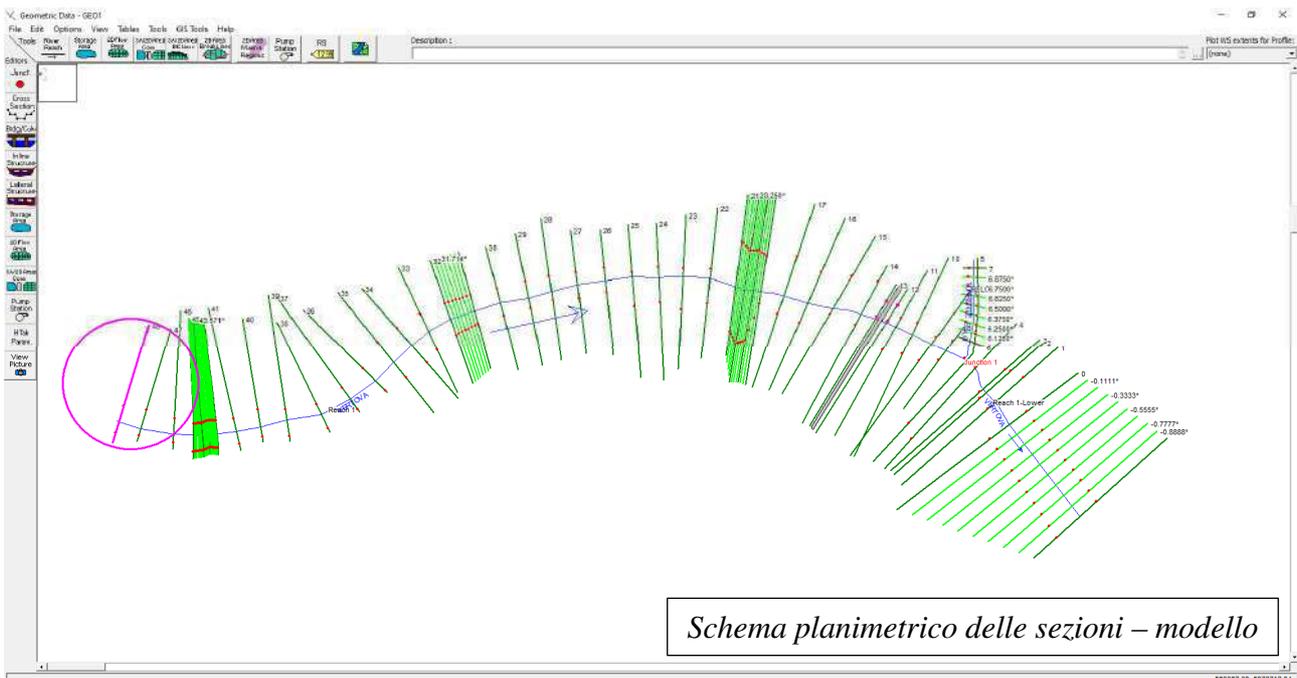
Reach: Reach 1 River Sta.: 48

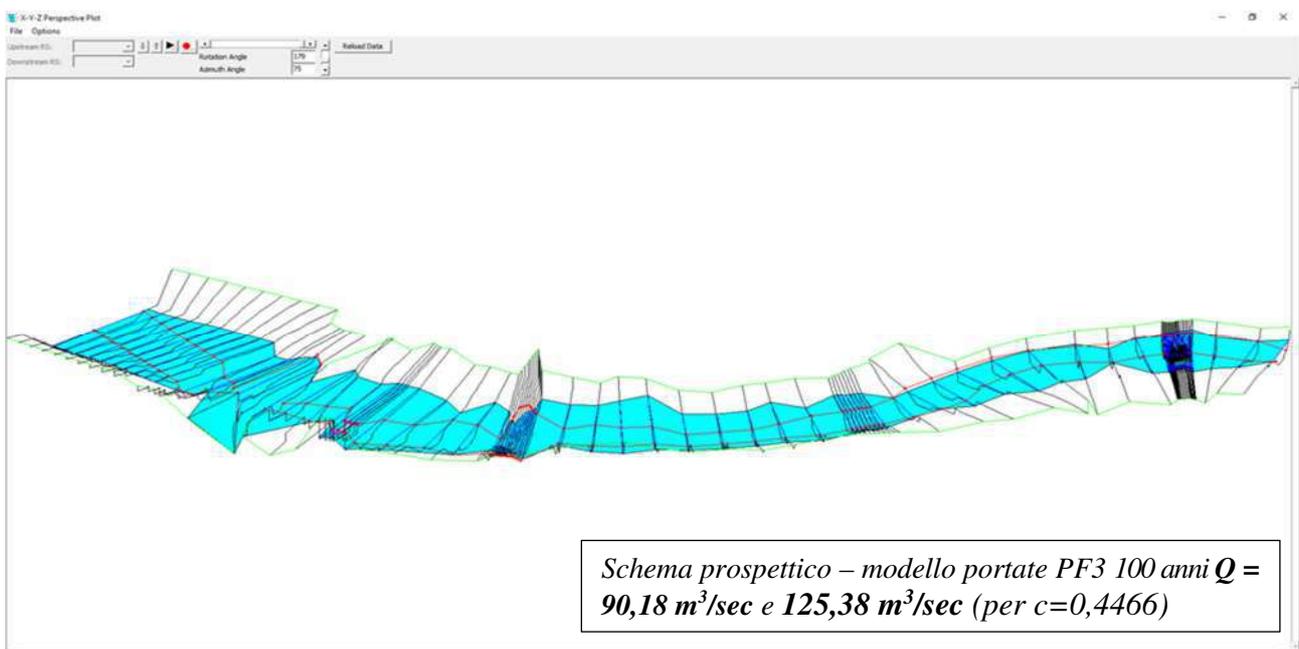
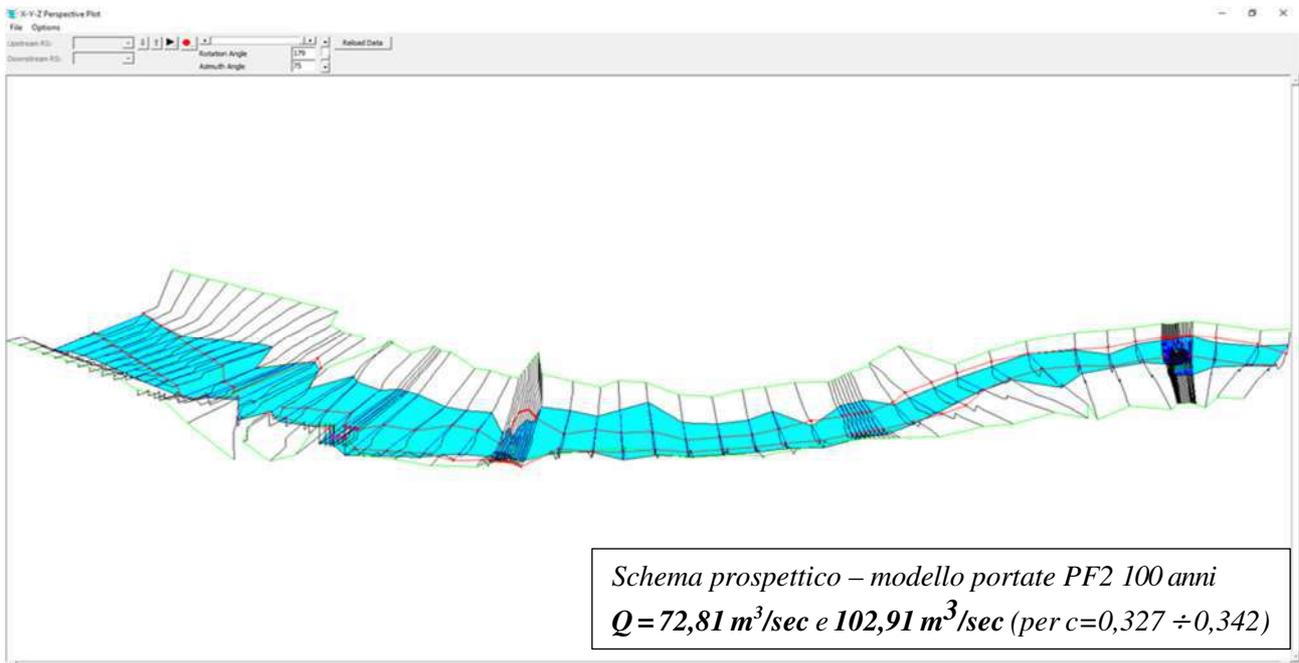
Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates				
River	Reach	RS	PF 1	PF 2	PF 3	PF 4	PF 5
1 TORRENTE BELO	BELO	7	1	17.37	22.47	15.38	14.56
2 VERTOVA	Reach 1	48	10	72.81	102.91	66.4	61.16
3 VERTOVA	Reach 1-Lower	5	11	90.18	125.38	81.78	75.72

List of optional steady flow parameters set.

### 9.1 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Di seguito vengono riportati in sintesi con grafici e tabelle i risultati delle simulazioni effettuate.





Le simulazioni condotte, i cui risultati sono rappresentati anche nelle sezioni allegate (tavole 18, 19, 20, 21, 22 e 23 con indicazione per ciascuna sezione di rilievo dei battenti calcolati per le portate PF2 100 anni e per le portate PF3 100 anni), evidenziano come il deflusso della portata al colmo con tempo di ritorno pari a 100 anni, avvenga esondando in alcuni tratti oltre le sponde nel tratto interessato dalle opere in progetto.

L'esame del profilo longitudinale permette di osservare la formazione di risalti idraulici connessi a modeste variazioni di pendenza dell'alveo in corrispondenza di soglie e guadi antropici, ma anche di step naturali presenti in alveo.

Profile Output Table - Standard Table 1											
HEC-RAS Plan: PLAN02 Profile: PF 2											Reload Data
Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	
Reach 1	48	72.81	473.54	476.35	475.95	476.83	0.004804	3.15	24.67	14.46	0.68
Reach 1	47	72.81	473.73	476.31		476.79	0.005580	3.13	24.62	14.28	0.67
Reach 1	46	72.81	473.55	476.11	475.98	476.70	0.007448	3.52	22.86	16.23	0.76
Reach 1	45	72.81	473.42	476.20		476.53	0.003511	2.62	31.67	24.41	0.52
Reach 1	44	72.81	473.42	476.17		476.50	0.003512	2.60	30.48	19.51	0.52
Reach 1	43	72.81	473.42	476.10		476.46	0.003905	2.70	29.12	19.51	0.55
Reach 1	42	72.81	473.42	475.83		476.32	0.006019	3.15	24.69	15.71	0.68
Reach 1	41	72.81	472.95	475.24	475.24	476.08	0.012265	4.06	18.21	12.71	0.96
Reach 1	40	72.81	472.25	474.20	474.68	475.83	0.030529	5.66	12.88	9.15	1.52
Reach 1	39	72.81	472.14	474.91	474.62	475.55	0.007814	3.55	21.26	16.47	0.80
Reach 1	38	72.81	472.08	474.96	474.40	475.41	0.005238	3.05	26.89	24.79	0.64
Reach 1	37	72.81	472.14	474.36	474.36	475.27	0.013236	4.23	17.25	10.60	1.00
Reach 1	36	72.81	472.15	474.08	474.34	475.08	0.018304	4.43	16.42	11.07	1.16
Reach 1	35	72.81	471.85	473.68	474.13	474.86	0.022151	4.81	15.14	11.53	1.34
Reach 1	34	72.81	471.49	473.20	473.65	474.60	0.033062	5.24	13.90	12.87	1.61
Reach 1	33	72.81	471.49	473.21	473.49	474.27	0.023139	4.57	15.92	14.13	1.38
Reach 1	32	72.81	471.37	473.56	473.56	474.12	0.008137	3.37	23.60	23.99	0.84
Reach 1	31	72.81	470.45	473.22	473.32	473.96	0.010574	3.85	19.88	19.67	0.92
Reach 1	30	72.81	470.62	472.39	472.89	473.75	0.025143	5.16	14.24	14.37	1.38
Reach 1	29	72.81	470.75	472.99	472.99	473.52	0.007845	3.43	25.11	24.48	0.80
Reach 1	28	72.81	470.89	472.74	472.85	473.42	0.010949	3.88	21.84	21.72	0.95
Reach 1	27	72.81	470.50	472.51	472.69	473.29	0.012625	4.08	20.29	20.88	1.01
Reach 1	26	72.81	470.34	472.33	472.56	473.15	0.013593	4.20	20.12	23.18	1.04
Reach 1	25	72.81	470.36	472.55	472.55	473.01	0.006864	3.20	27.31	30.09	0.76
Reach 1	24	72.81	470.36	472.29	472.43	472.92	0.009760	3.60	22.82	29.61	0.89
Reach 1	23	72.81	470.05	471.95	472.22	472.79	0.016716	4.06	18.59	21.87	1.14
Reach 1	22	72.81	470.08	471.76	472.00	472.62	0.015838	4.20	19.18	22.14	1.06
Reach 1	21	72.81	470.05	471.51	471.80	472.40	0.029906	4.19	17.76	25.79	1.45
Reach 1	20	72.81	470.05	471.28	471.60	472.27	0.039091	4.40	16.54	23.58	1.68
Reach 1	19	72.81	468.75	470.36	471.00	472.07	0.034583	5.79	12.58	9.68	1.62
Reach 1	18	72.81	468.75	470.19	470.88	471.82	0.039692	5.77	12.93	11.65	1.76
Reach 1	17	72.81	468.75	470.97	470.69	471.43	0.006629	3.01	25.11	24.91	0.75
Reach 1	16	72.81	468.50	471.03		471.33	0.004952	2.47	31.03	33.28	0.66
Reach 1	15	72.81	468.25	471.01		471.29	0.003765	2.42	34.55	36.48	0.58
Reach 1	14	72.81	468.25	471.04		471.23	0.001886	2.05	42.46	40.42	0.48
Reach 1	13	72.81	468.38	470.98	470.84	471.21	0.003167	2.55	38.60	40.47	0.52
Reach 1	12.5	Bridge									
Reach 1	12	72.81	468.38	470.82	470.82	471.16	0.005594	3.01	32.30	40.02	0.63
Reach 1	11	72.81	468.25	470.00	470.38	471.05	0.018351	4.63	17.71	32.90	1.35
Reach 1	10	72.81	468.25	470.11	470.35	470.86	0.012356	4.00	21.35	33.40	1.12
Reach 1	9	72.81	468.08	470.43	470.16	470.64	0.002592	2.28	39.29	39.16	0.53
Reach 1	8	72.81	468.08	470.45		470.61	0.002082	2.00	43.21	38.15	0.49
Reach 1-Lower	5	90.18	467.75	470.46		470.59	0.001735	1.60	56.36	43.09	0.45
Reach 1-Lower	4	90.18	467.75	470.45		470.58	0.001782	1.61	55.89	43.05	0.45
Reach 1-Lower	3	90.18	468.01	470.08	470.08	470.52	0.005305	3.33	34.31	34.70	0.78
Reach 1-Lower	2	90.18	467.91	469.75	469.94	470.48	0.010648	4.03	26.45	33.09	1.09
Reach 1-Lower	1	90.18	467.41	469.44	469.77	470.40	0.013424	4.39	21.97	26.13	1.21
Reach 1-Lower	0	90.18	467.75	469.61	469.71	470.19	0.008015	3.64	29.50	35.87	0.98
Reach 1-Lower	-1	90.18	466.62	468.12	468.59	469.45	0.019597	5.11	17.93	22.20	1.49

Total flow in cross section.

Legenda:

- River station: riferimento alla sezione individuata sull'alveo (si vedano tabelle di corrispondenza e elaborati grafici allegati);	- Crit W.S.: quota in m s.l.m. dell'altezza di stato critico;
- Profile: riferimento al profilo del pelo libero della corrente;	- E.G. Elev.: quota in m s.l.m. dell'energia della corrente;
- Qtotal: valore in m <sup>3</sup> /s della portata di piena;	- Vel Chnl: velocità della corrente in m/s;
- Mm Ch El: quota in m s.l.m. del punto più basso del letto del fiume per la sezione corrispondente;	- Froude Chl: numero di Froude che definisce una corrente veloce per valori > di 1 e corrente lenta per valori < 1.
- W.S. Elev: quota in m s.l.m. del pelo libero della corrente;	- Flow Area: superficie della sezione bagnata in m <sup>2</sup>

Tabella riassuntiva Valle Vertova -- modello portate PF2 100 anni  $Q = 72,81 \text{ m}^3/\text{sec}$  e  $102,91 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $c=0,327 \div 0,342$ )

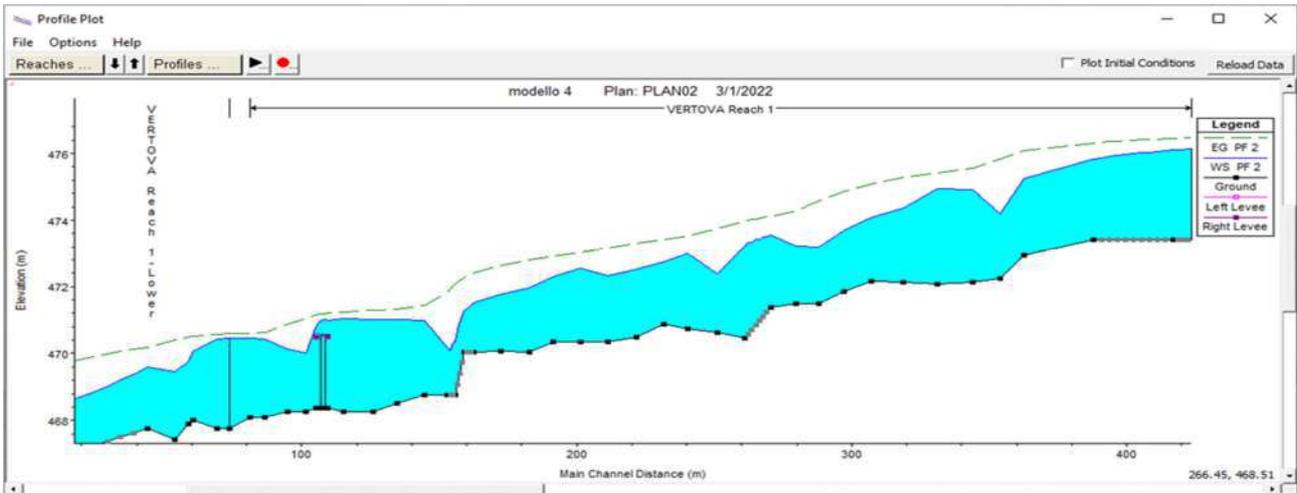
Profile Output Table - Standard Table 1											
HEC-RAS Plan: PLAN02 Profile: PF 3											Reload Data
Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	
Reach 1	48	102.91	473.54	476.79	476.40	477.41	0.004832	3.58	31.40	15.55	0.70
Reach 1	47	102.91	473.73	476.74	476.35	477.36	0.006119	3.61	31.62	19.22	0.70
Reach 1	46	102.91	473.55	476.76		477.25	0.005192	3.36	35.72	21.86	0.65
Reach 1	45	102.91	473.42	476.84		477.13	0.002577	2.57	47.83	27.80	0.46
Reach 1	44	102.91	473.42	476.74		477.09	0.003143	2.78	41.90	21.37	0.50
Reach 1	43	102.91	473.42	476.69		477.06	0.003381	2.85	40.71	20.68	0.52
Reach 1	42	102.91	473.42	476.08	475.95	476.86	0.008611	3.99	28.76	24.41	0.82
Reach 1	41	102.91	472.95	475.96	475.96	476.61	0.007185	3.73	31.77	25.46	0.75
Reach 1	40	102.91	472.25	474.74	475.48	476.40	0.023132	5.70	18.06	10.34	1.35
Reach 1	39	102.91	472.14	475.38	475.38	476.06	0.006782	3.77	31.12	24.45	0.77
Reach 1	38	102.91	472.08	474.87	475.16	475.91	0.012364	4.59	24.65	23.53	0.99
Reach 1	37	102.91	472.14	474.91	475.08	475.75	0.009766	4.20	28.22	25.07	1.08
Reach 1	36	102.91	472.15	474.54	474.81	475.59	0.014623	4.60	24.01	20.54	0.87
Reach 1	35	102.91	471.85	474.05	474.45	475.38	0.025569	5.11	20.59	19.99	1.45
Reach 1	34	102.91	471.49	473.53	474.07	475.09	0.030793	5.53	18.62	15.10	1.59
Reach 1	33	102.91	471.49	473.53	473.91	474.79	0.021448	4.97	20.72	15.02	1.35
Reach 1	32	102.91	471.37	473.81	473.89	474.54	0.009176	3.92	29.61	25.04	0.91
Reach 1	31	102.91	470.45	473.60	473.76	474.40	0.009905	4.11	28.79	25.92	0.91
Reach 1	30	102.91	470.62	472.82	473.30	474.20	0.019952	5.33	20.92	20.48	1.26
Reach 1	29	102.91	470.75	473.29	473.29	473.90	0.007794	3.78	32.99	26.94	0.82
Reach 1	28	102.91	470.89	473.09	473.17	473.82	0.009594	4.12	29.94	24.30	0.91
Reach 1	27	102.91	470.50	472.83	473.01	473.70	0.011666	4.42	27.56	23.94	1.01
Reach 1	26	102.91	470.34	472.58	472.84	473.55	0.014027	4.70	26.37	25.34	1.09
Reach 1	25	102.91	470.36	472.72	472.82	473.37	0.008824	3.86	32.71	31.63	0.87
Reach 1	24	102.91	470.36	472.55	472.71	473.27	0.009814	3.98	31.06	32.00	0.91
Reach 1	23	102.91	470.05	472.26	472.50	473.15	0.014234	4.32	26.80	28.64	1.09
Reach 1	22	102.91	470.08	472.07	472.28	473.00	0.014980	4.52	25.96	22.14	1.04
Reach 1	21	102.91	470.05	471.71	472.02	472.78	0.032277	4.65	23.17	29.80	1.54
Reach 1	20	102.91	470.05	471.49	471.86	472.64	0.035982	4.75	21.66	25.86	1.66
Reach 1	19	102.91	468.75	470.76	471.31	472.45	0.048048	5.76	17.87	18.75	1.88
Reach 1	18	102.91	468.75	470.57	471.10	472.17	0.029905	5.95	19.17	19.78	1.57
Reach 1	17	102.91	468.75	471.26	471.26	471.80	0.008839	3.34	33.67	32.59	0.87
Reach 1	16	102.91	468.50	470.89	471.08	471.67	0.014300	3.93	26.68	28.78	1.10
Reach 1	15	102.91	468.25	471.16	471.05	471.57	0.005220	3.01	40.07	37.05	0.70
Reach 1	14	102.91	468.25	471.23		471.49	0.002427	2.48	49.95	41.06	0.55
Reach 1	13	102.91	468.38	471.17	471.03	471.47	0.003798	2.94	46.34	41.02	0.57
Reach 1	12.5	Bridge									
Reach 1	12	102.91	468.38	471.01	471.01	471.42	0.006351	3.37	39.79	40.56	0.68
Reach 1	11	102.91	468.25	470.22	470.60	471.31	0.017037	4.93	24.95	33.68	1.32
Reach 1	10	102.91	468.25	470.34	470.60	471.13	0.011967	4.28	28.84	35.18	1.12
Reach 1	9	102.91	468.08	470.72	470.37	470.96	0.002495	2.46	51.70	46.88	0.53
Reach 1	8	102.91	468.08	470.75		470.93	0.002386	2.00	56.85	58.91	0.53
Reach 1-Lower	5	125.38	467.75	470.74		470.91	0.001796	1.83	68.71	45.51	0.47
Reach 1-Lower	4	125.38	467.75	470.73		470.90	0.001839	1.84	68.18	45.10	0.47
Reach 1-Lower	3	125.38	468.01	470.31	470.31	470.84	0.005808	3.71	42.14	35.53	0.83
Reach 1-Lower	2	125.38	467.91	469.98	470.19	470.80	0.010508	4.37	34.07	34.16	1.10
Reach 1-Lower	1	125.38	467.41	469.76	470.04	470.73	0.011129	4.54	31.63	33.13	1.14
Reach 1-Lower	0	125.38	467.75	469.71	469.95	470.59	0.011473	4.55	33.04	36.38	1.19
Reach 1-Lower	-1	125.38	466.62	468.38	468.85	469.88	0.018596	5.54	24.97	30.02	1.49

Total flow in cross section.

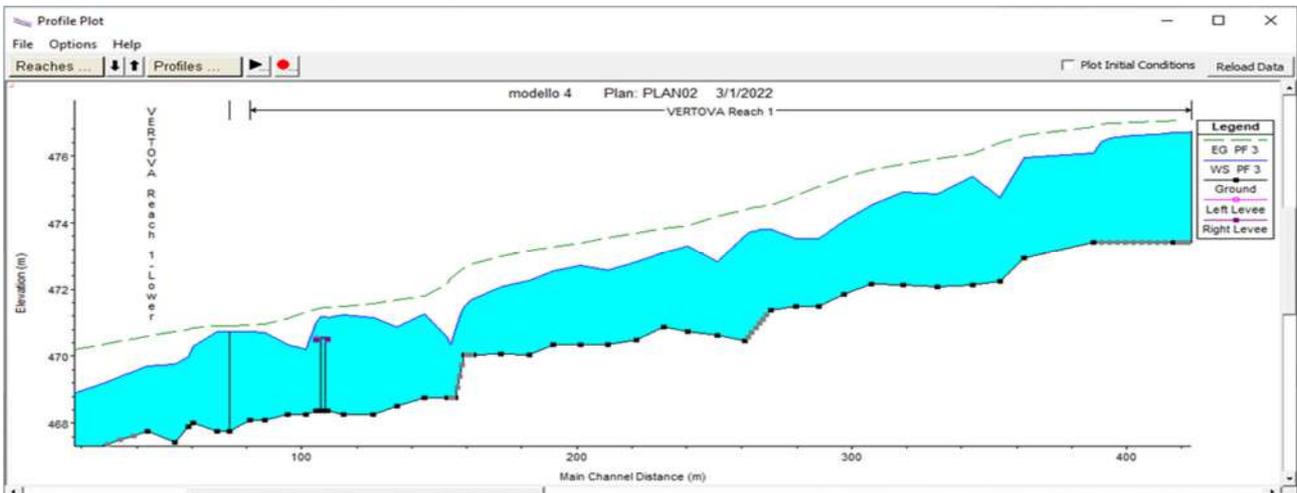
Legenda:

- River station: riferimento alla sezione individuata sull'alveo (si vedano tabelle di corrispondenza e elaborati grafici allegati);	- Crit W.S.: quota in m s.l.m. dell'altezza di stato critico;
- Profile: riferimento al profilo del pelo libero della corrente;	- E.G. Elev.: quota in m s.l.m. dell'energia della corrente;
- Qtotal: valore in m <sup>3</sup> /s della portata di piena;	- Vel Chnl: velocità della corrente in m/s;
- Mm Ch El: quota in m s.l.m. del punto più basso del letto del fiume per la sezione corrispondente;	- Froude Chl: numero di Froude che definisce una corrente veloce per valori > di 1 e corrente lenta per valori < 1.
- W.S. Elev: quota in m s.l.m. del pelo libero della corrente;	- Flow Area: superficie della sezione bagnata in m <sup>2</sup>

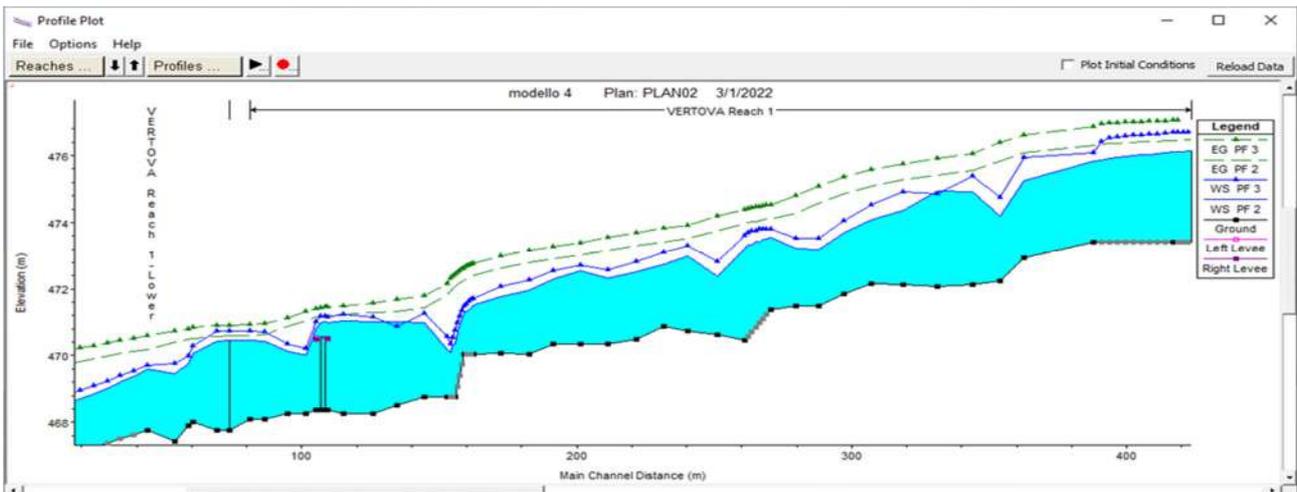
Tabella riassuntiva Valle Vertova -- modello portate PF3 100 anni  $Q = 90,18 \text{ m}^3/\text{sec}$  e  $125,38 \text{ m}^3/\text{sec}$  (per  $c=0,4466$ )



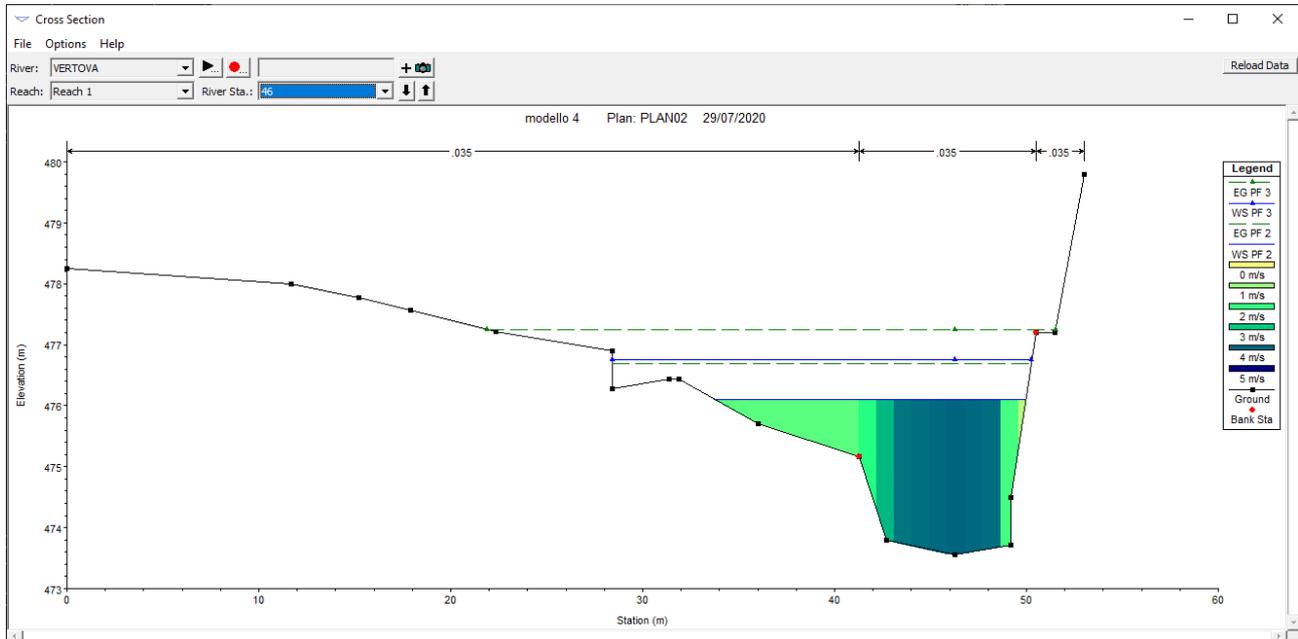
Rappresentazione profilo longitudinale – modello portate PF2 100 anni  $Q = 72,81 \text{ m}^3/\text{sec}$  e  $102,91 \text{ m}^3/\text{sec}$



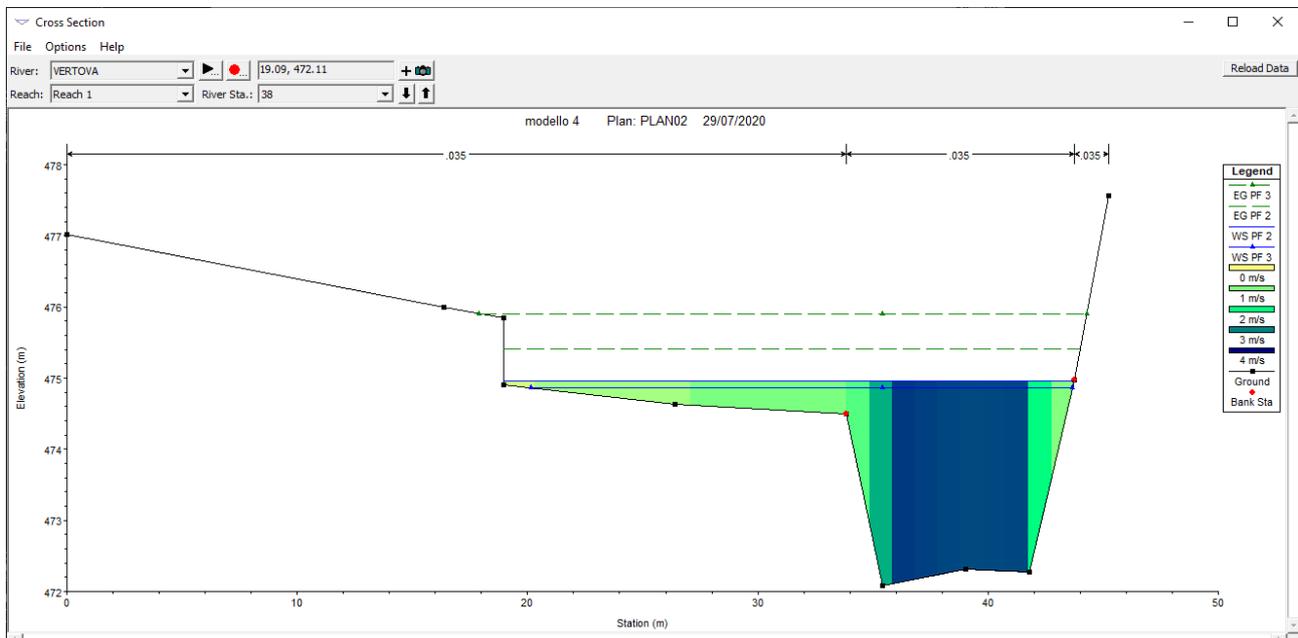
Rappresentazione profilo longitudinale – modello portate PF3 100 anni  $Q = 90,18 \text{ m}^3/\text{sec}$  e  $125,38 \text{ m}^3/\text{sec}$



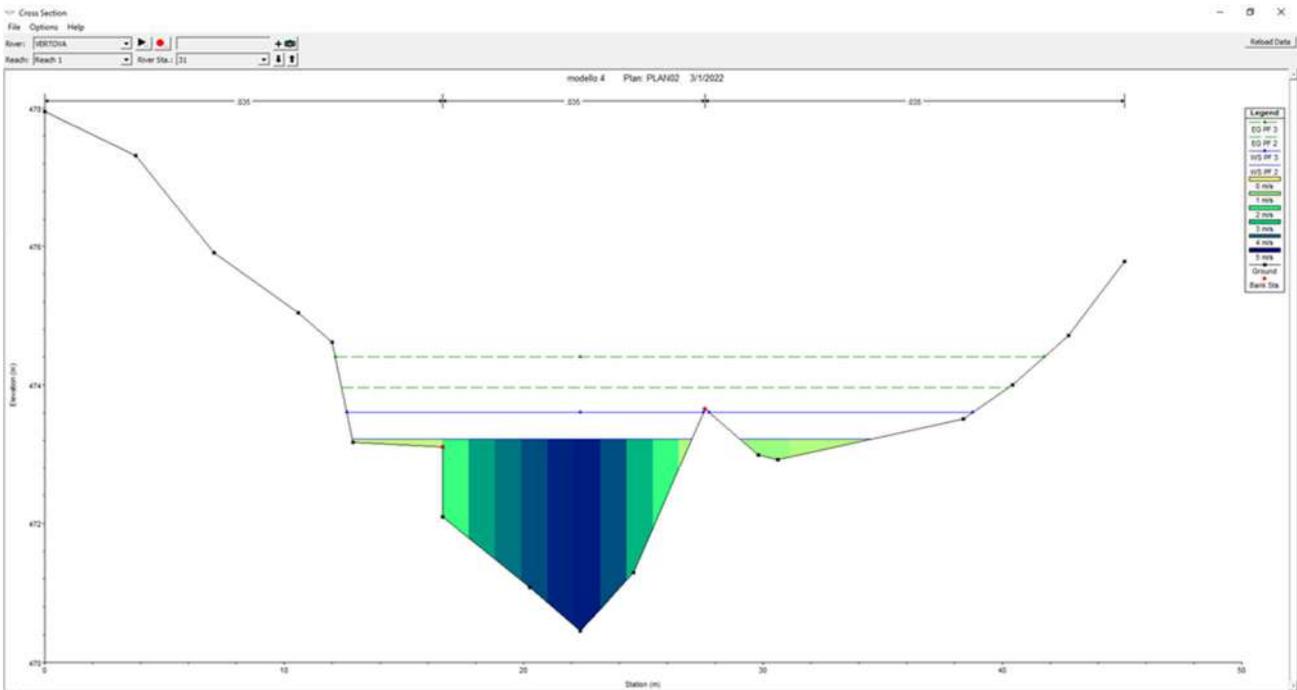
Rappresentazione sovrapposta dei due profili longitudinali – modello portate PF2 100 anni  $Q = 72,81 \text{ m}^3/\text{sec}$  e  $102,91 \text{ m}^3/\text{sec}$  (per  $c=0,327 \div 0,342$ ) e modello portate PF3 100 anni  $Q = 90,18 \text{ m}^3/\text{sec}$  e  $125,38 \text{ m}^3/\text{sec}$  (per  $c=0,4466$ )



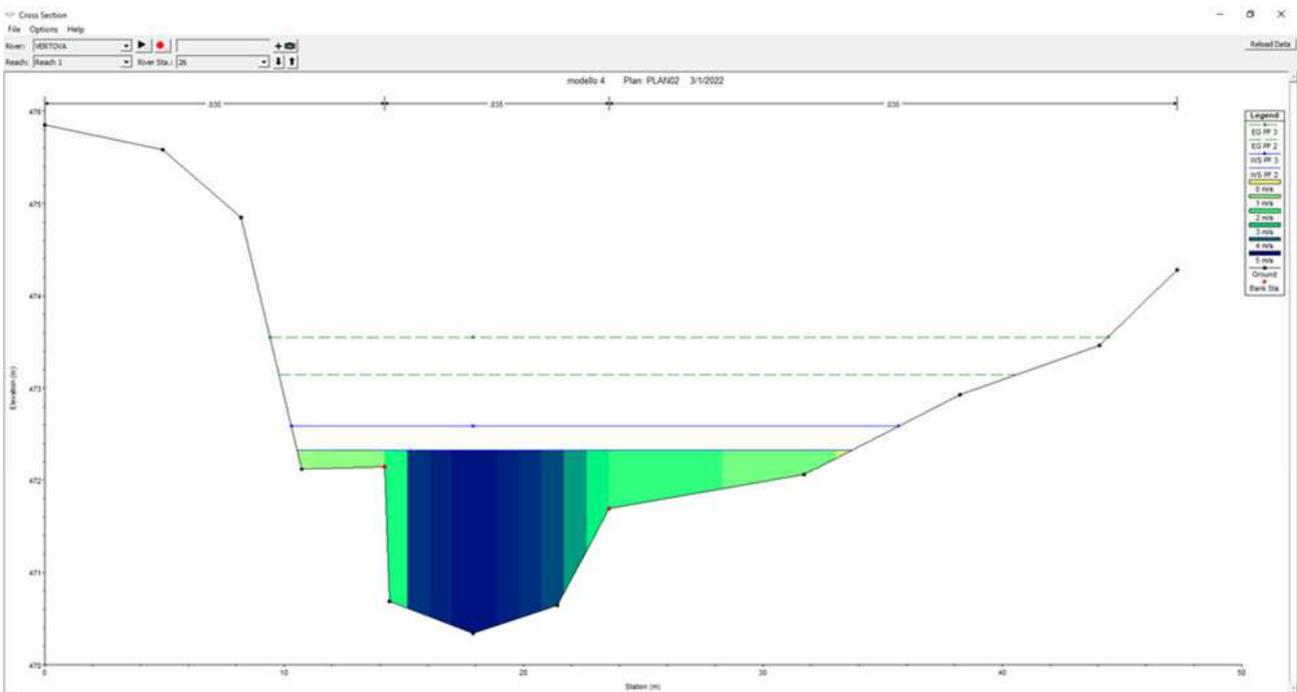
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 34 con indicazione dei battenti per le portate PF2 100 anni e per le portate PF3 100 anni. Indicazione per le portate PF2 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



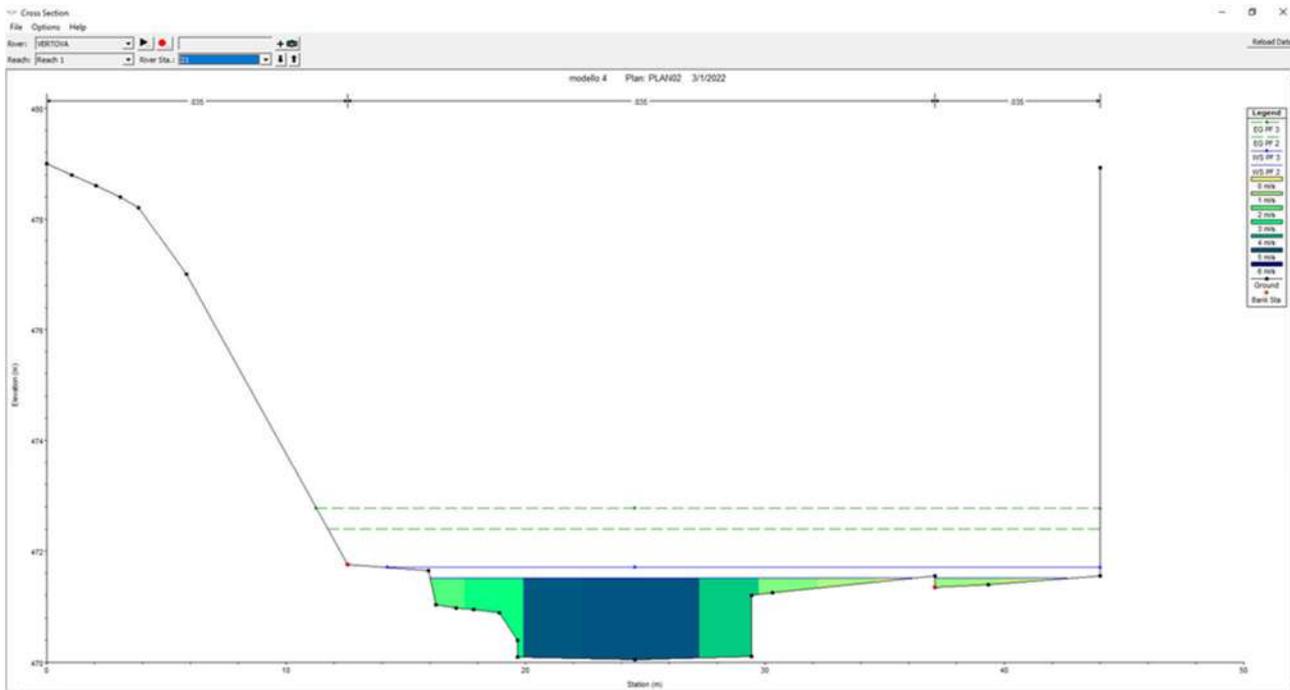
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 29 con indicazione dei battenti per le portate PF2 100 anni e per le portate PF3 100 anni. Indicazione per le portate PF2 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



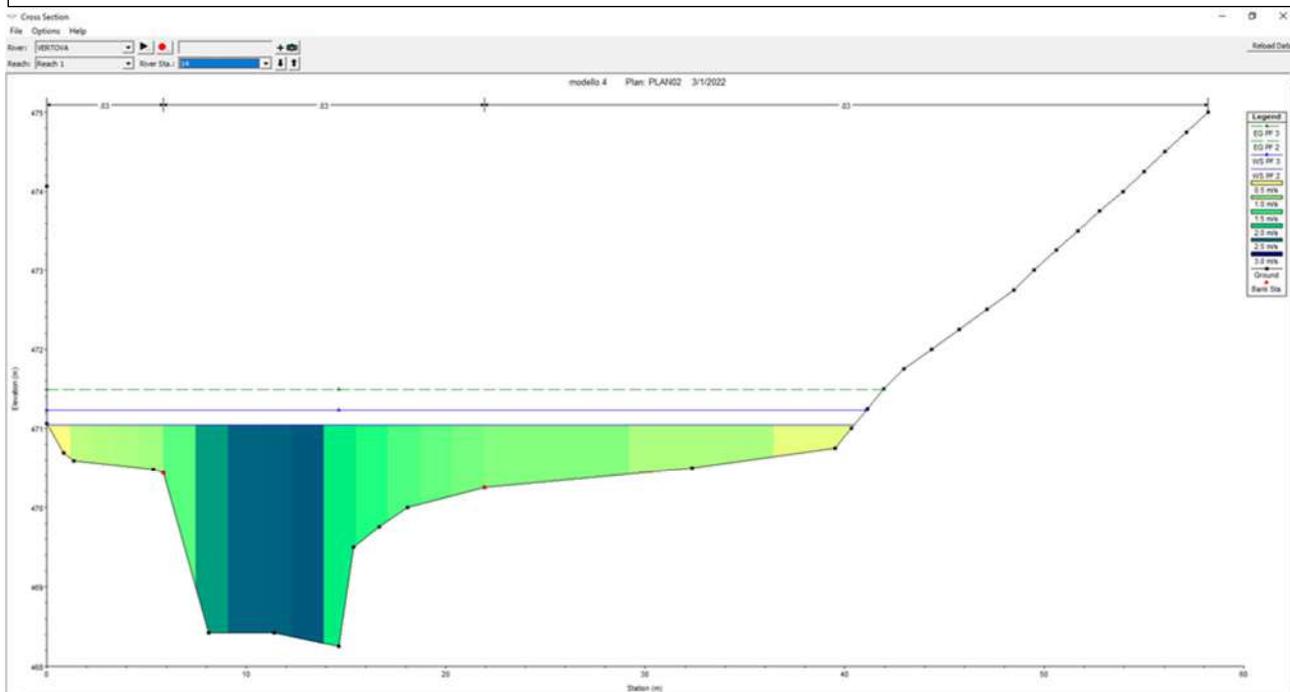
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 22 con indicazione dei battenti per le portate PF2 100 anni e per le portate PF3 100 anni. Indicazione per le portate PF2 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



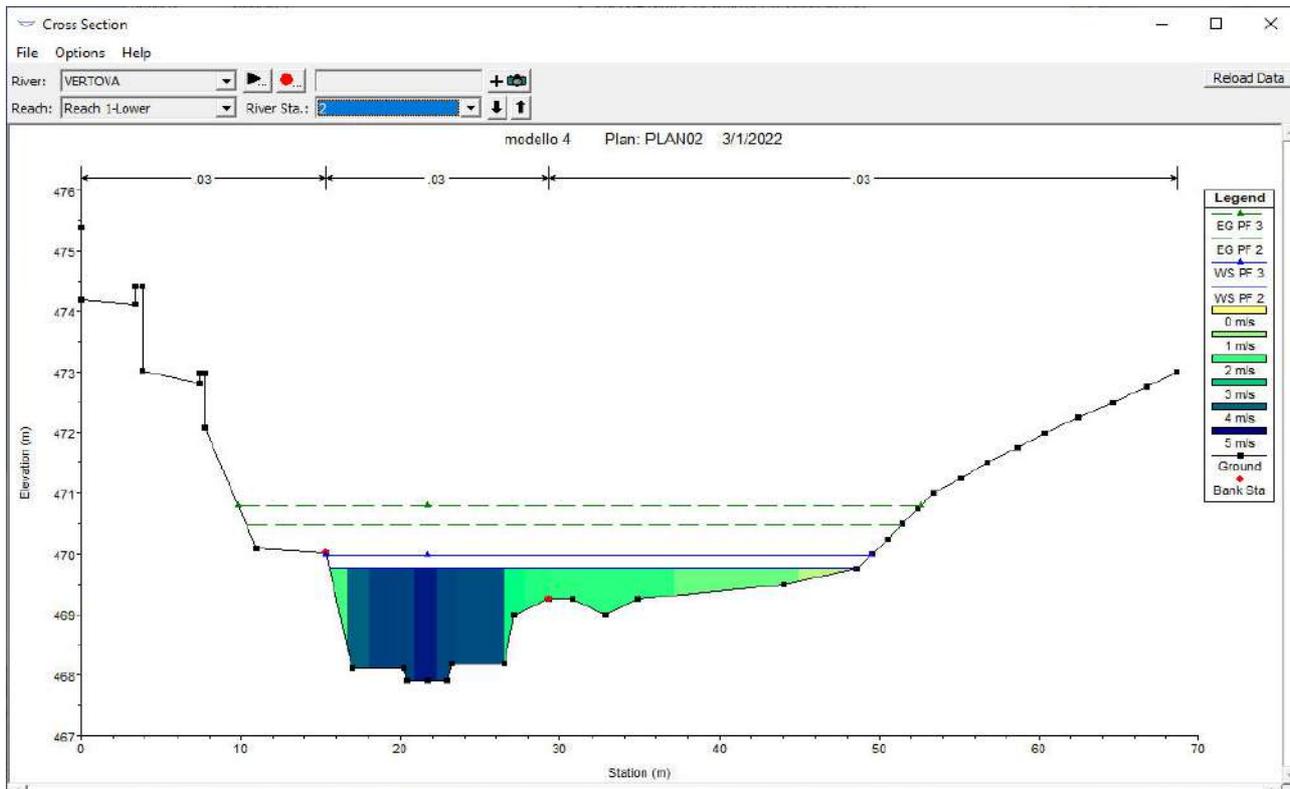
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 17 con indicazione dei battenti per le portate PF2 100 anni e per le portate PF3 100 anni. Indicazione per le portate PF2 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



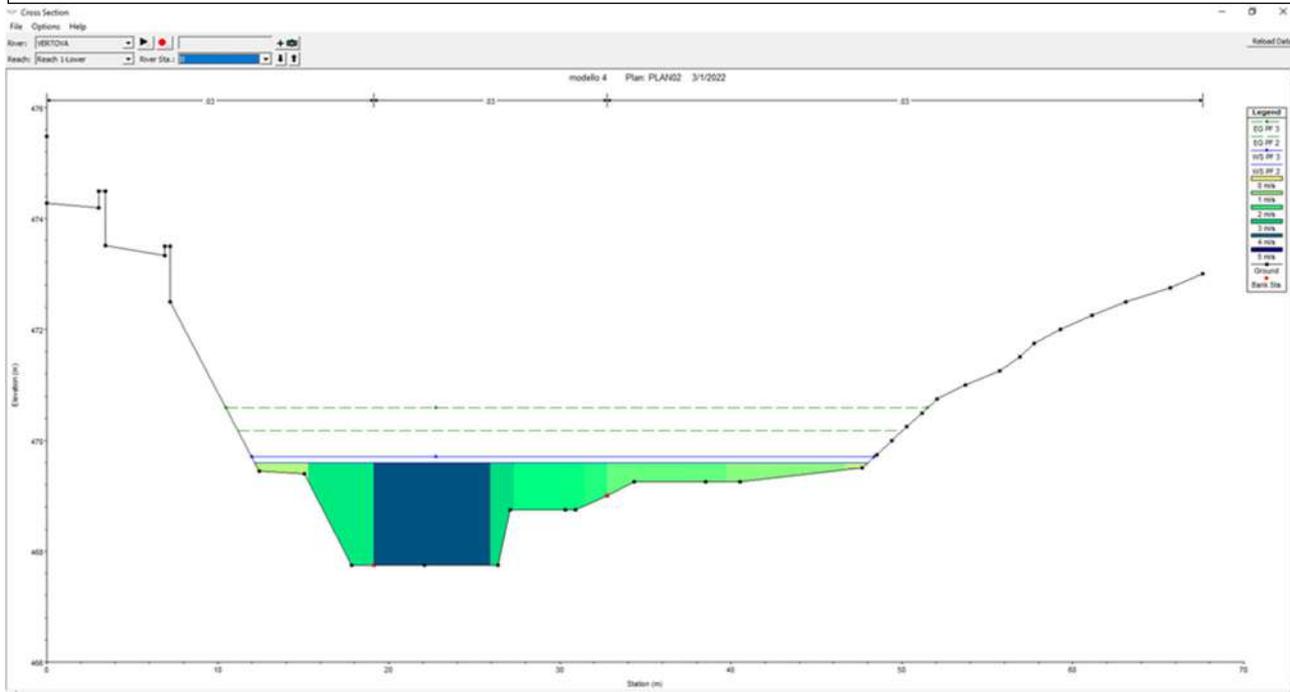
*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 12 con indicazione dei battenti per le portate PF2 100 anni e per le portate PF3 100 anni. Indicazione per le portate PF2 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 7 con indicazione dei battenti per le portate PF2 100 anni e per le portate PF3 100 anni. Indicazione per le portate PF2 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*



*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 1b con indicazione dei battenti per le portate PF2 100 anni e per le portate PF3 100 anni. Indicazione per le portate PF2 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori. Sezione in corrispondenza di stramazzo di misura*



*Sezioni idrauliche schematiche – Sezione di rilievo 1a con indicazione dei battenti per le portate PF2 100 anni e per le portate PF3 100 anni. Indicazione per le portate PF2 100 anni della velocità della corrente discretizzata per settori*

Per quanto riguarda l'esonazione essa è significativa su tutta l'area di Roset (in comune di Gazzaniga), mentre per via V Martiri i tiranti idrici sono in genere contenuti in qualche decimetro (0,30÷0,5 m) come evidenzia la sottostante tabella. I valori massimi lungo la strada sono in corrispondenza della passerella pedonale pericolante (0,16÷0,60 m). Ciò è dovuto al restringimento della sezione (circa un metro) in corrispondenza della passerella.

Sezione rilievo	River Sta	PORTATA PF3 (m3/s)	QUOTA MINIMA ALVEO (m)	QUOTA PIENA (m)	Quota via V Martiri		Quota min slargo (m)	TIRANTE SU VIA V MARTIRI		TIRANTE SU CIGLIO SLARGO (m)
					min (m)	max (m)		(m)	(m)	
36	48	72.81	473.54	476.35	476.95	476.98	475.63	-0.6	-0.63	0.72
35	47	72.81	473.73	476.31	476.6	476.63	475.15	-0.29	-0.32	1.16
34	46	72.81	473.55	476.11	476.28	476.44	475.17	-0.17	-0.33	0.94
33	44	72.81	473.42	476.17	476.07	476.07	475.23	0.1	0.1	0.94
32	41	72.81	472.95	475.24	475.45	475.86	475.08	-0.21	-0.62	0.16
31	40	72.81	472.25	474.2	475.25	475.35	474.71	-1.05	-1.15	-0.51
30	39	72.81	472.14	474.91	474.89	475.32	474.62	0.02	-0.41	0.29
29	38	72.81	472.08	474.96	474.63	474.91	474.5	0.33	0.05	0.46
28	37	72.81	472.14	474.36	474.45	474.70	474.33	-0.09	-0.34	0.03
27	36	72.81	472.15	474.08	474.28	474.36	474.13	-0.2	-0.28	-0.05
26	35	72.81	471.85	473.68	473.81	474.01		-0.13	-0.33	
25	34	72.81	471.49	473.2	473.74	473.93		-0.54	-0.73	
24	33	72.81	471.49	473.21	473.65	473.7		-0.44	-0.49	
23	32	72.81	471.37	473.56	473.32	473.32		0.24	0.24	
22	31	72.81	470.45	473.22	473.10	473.17		0.12	0.05	
21	30	72.81	470.62	472.39	472.36	472.36		0.03	0.03	
20	29	72.81	470.75	472.99	472.46	472.65		0.53	0.34	
19	28	72.81	470.89	472.74	472.3	472.43		0.44	0.31	
18	27	72.81	470.5	472.51	472.07	472.28		0.44	0.23	
17	26	72.81	470.34	472.33	472.12	472.15		0.21	0.18	
16	25	72.81	470.36	472.55	472.09	472.18		0.46	0.37	
15	24	72.81	470.36	472.29	472.03	472.17		0.26	0.12	
14	23	72.81	470.05	471.95	471.99	472.06		-0.04	-0.11	
13	22	72.81	470.08	471.76	472.57	472.57	Quota min	-0.81	-0.81	TIRANTE SU
12	21	72.81	470.05	471.51	471.65	471.76	ingresso guado	-0.14	-0.25	ingresso guado
11b	20	72.81	470.05	471.28	471.56	471.73	470.41	-0.28	-0.45	-0.87
11a	19	72.81	468.75	470.36	471.53	471.67	470.5	-1.17	-1.31	0.14
11	18	72.81	468.75	470.19	471.46	471.49	470.72	-1.27	-1.3	0.53
10	17	72.81	468.75	470.97	471.10	471.12		-0.13	-0.15	
9	16	72.81	468.5	471.03	470.78	470.87		0.25	0.16	
8	15	72.81	468.25	471.01	470.60	470.65		0.41	0.36	
7	14	72.81	468.25	471.04	470.44	470.48		0.6	0.56	
6	12	72.81	468.38	470.82	470.39	470.46		0.43	0.36	
5	10	72.81	468.25	470.11	470.28	470.47		-0.17	-0.36	
4	9	72.81	468.08	470.43	470.23	470.69		0.2	-0.26	
3	5	90.18	467.75	470.46	470.77	470.97		-0.31	-0.51	
	4	90.18	467.75	470.45	471.53	471.71		-1.08	-1.26	
2	3	90.18	468.01	470.08	472.81	473.01		-2.73	-2.93	
1b	2	90.18	467.91	469.75	472.81	473.01		-3.06	-3.26	
1	1	90.18	467.41	469.44	473.32	473.50		-3.88	-4.06	
1a	0	90.18	467.75	469.61	474.41	474.61		-4.8	-5	

Legenda:

Sezione rilievo = sezione rilievo topografico; River Sta = sezione di modellazione idraulica; QUOTA PIENA = Quota massima raggiunta dalla piena con portata specifica; Quota via V Martiri = Quota massima e minima della sede stradale (in blu la strada dopo la sbarra con traffico regolamentato; in marrone i valori in cui la strada è in contropendenza rispetto all'alveo; Quota minima slargo = quota del ciglio dell'area utilizzata come parcheggio temporaneo; Quota minima ingresso guado = quota della pista di accesso al guado lato Vertova.

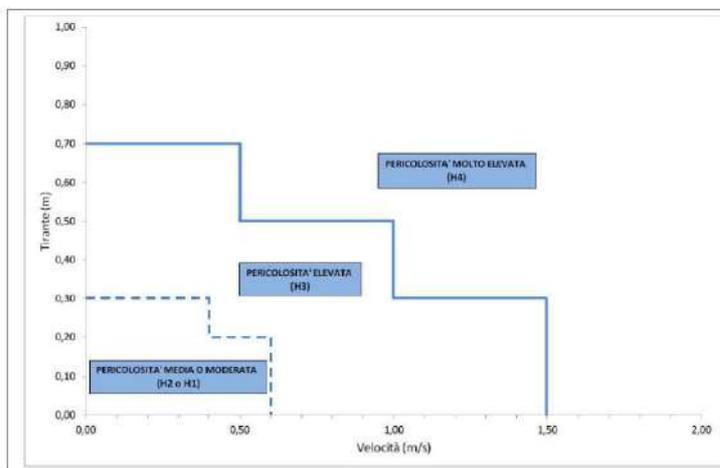
TIRANTE SU VIA V MARTIRI = altezza del deflusso sulla strada (in rosso i valori di superamento del livello stradale, in verde situazione di contenimento della sponda sinistra del torrente Vertova)

TIRANTE SU CIGLIO SLARGO = altezza massima del deflusso idrico sullo slargo (in rosso i valori di superamento, in verde situazione di contenimento della sponda sinistra del torrente Vertova)

TIRANTE SU INGRESSO GUADO = altezza massima del deflusso idrico sulla pista d'accesso al guado (in rosso i valori di superamento, in verde situazione di contenimento della sponda sinistra del torrente Vertova)

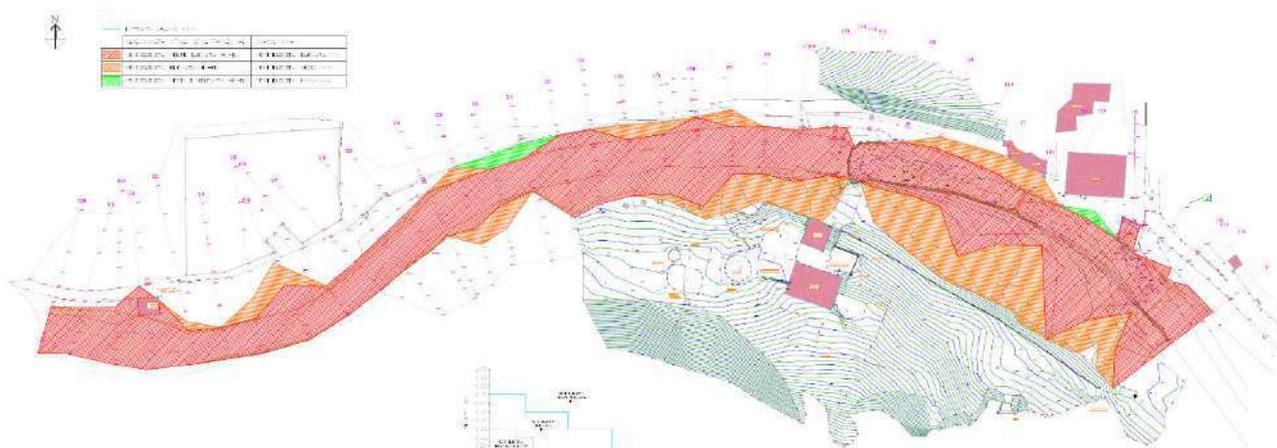
## 9.2 MAPPATURA PERICOLOSITA'

Sulla base dei tiranti idrici e delle velocità registrate dalla modellazione è stata ricostruita in planimetria la pericolosità (tavola 18) secondo quanto specificato dall'allegato 4 ed in funzione del grafico qui a lato rappresentato.



Dall'analisi della pericolosità emerge che in territorio di Vertova l'alveo, il tratto di via 5 Martiri presso il bar/ristoro, una parte del settore a parcheggio in fregio all'alveo e alcuni tratti di via 5 Martiri (sez. 19 e 20 e sez. 16), come anche la pista di accesso all'opera di presa della Microidroelettrica e al misuratore di portata del torrente sono inseriti in classe di pericolosità H4 corrispondente ad aree a pericolosità di esondazione molto elevata (Ee) per quanto riguarda la classificazione PAI e ad aree a pericolosità elevata (P3) per quanto riguarda la classificazione PGRA. Altri tratti di via 5 Martiri sono in classe di pericolosità H3 corrispondente ad aree a pericolosità elevata (Eb) per la classificazione PAI e ad aree a pericolosità media (P2) per quella PGRA, mentre piccole porzioni (sezioni da 20 a 23 e sez. 4 presso la ex centrale di Lacnè) sono in classe di pericolosità H2 corrispondente ad aree a pericolosità media o moderata (Em) per la classificazione PAI e ad aree a bassa pericolosità (P1) per quella PGRA.

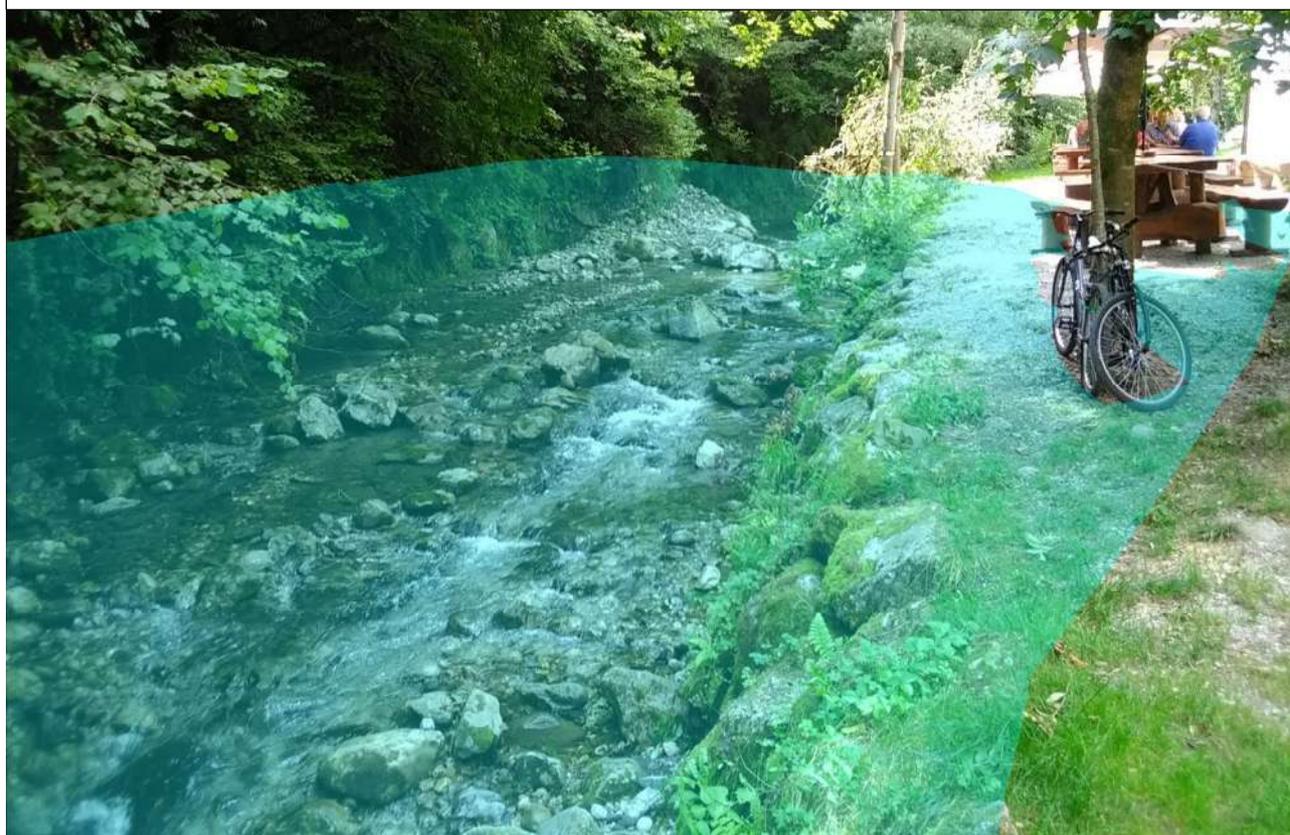
In territorio di Gazzaniga la sponda e parte delle aree ricreative di Roset sono in classe H3 e H4, mentre la zona del guado è ovviamente in classe di pericolosità H4, mentre per la zona della ex centrale di Lacnè lo studio non ha tenuto degli effetti relativi al torrente Belò/Lacnè poiché non esiste un rilievo adeguato alla modellazione dell'area.

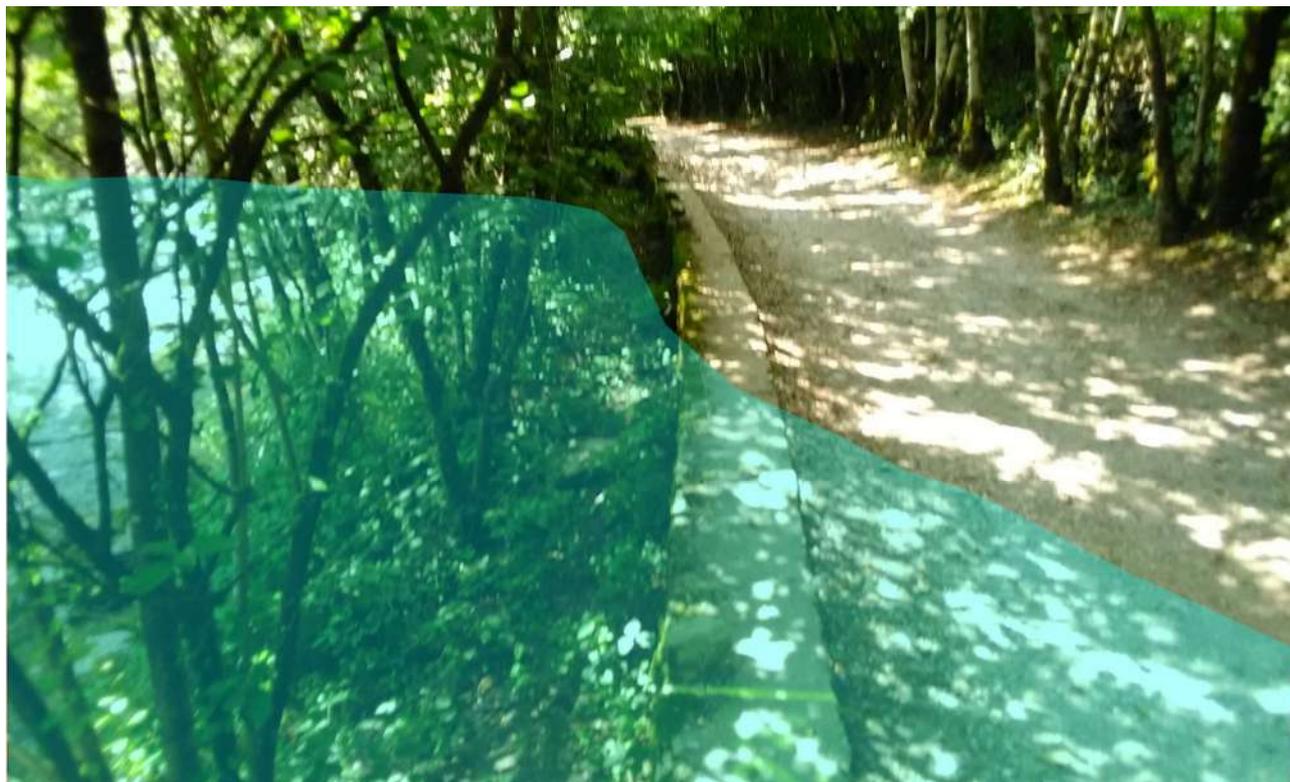


Estratto tavola 12 zonazione pericolosità e legenda PAI-PGRA zona Lacnè

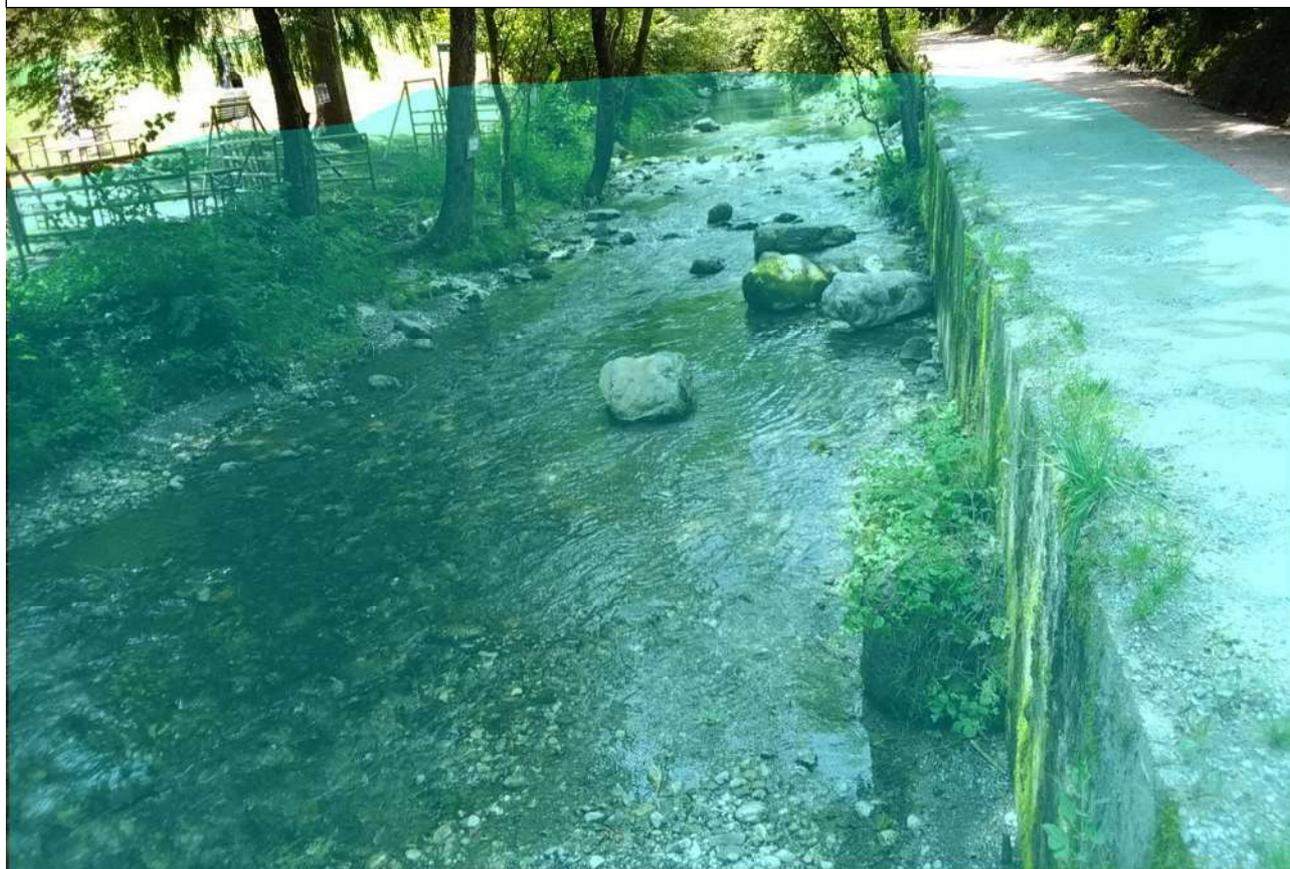


*zona di esondazione presso il bar ristoro a lato dell'accesso alla strada di servizio della val Vertova (*





*zona di esondazione presso lungo via 5 Martiri di fronte alla zona ricreativa di Roset*





*zona di esondazione presso il guado di Roset*





*zona di esondazione presso il vecchio edificio della centrale di Lacnè e presso la passerella pedonale per Roset*

## 10. CONDIZIONI DEI PONTI

Le verifiche idrauliche hanno anche permesso di determinare grazie al profilo longitudinale del profilo di corrente nei vari settori studiati il franco dei ponti presenti nel centro storico tra Largo Vittorio Veneto e la foce del torrente Vertova e in corrispondenza dei ponti della Fabbrichetta e Mistri (il guado di Roset non è considerato in quanto ovviamente soggetto a sommersione).

I dati oltre alle sezioni longitudinali sono esposti nella seguente tabella

NOME PONTE	TIRANTE [m]	QUOTA INTRADOSSO PONTE [m]	FRANCO (m)	PORTATA [mc / s]
PONTE MISTRI		423.60	SCAVALCAMENTO	56
PONTE FABBRICHETA		417.13	SCAVALCAMENTO	82
PONTE LARGO VITTORIO VENETO	410.01	410.33	0.32	114.07
PONTE MARTINA	397.10	397.67	0.57	114.07
PONTE SAN CARLO	397.13	396.94	-0.19	114.07
PONTE DON BARTOLOMEO FERRARI	392.63	393.89	1.26	114.07

N.B. : SCAVALCAMENTO = superamento del ponte per portate nettamente inferiori a quella con TR 100 anni (in rosso la portata di superamento); il valore negativo del ponte San Carlo determina anche per tale ponte il superamento da parte dell'onda di piena. ma per portate pari a quella centennale

In quasi tutti i casi già le verifiche effettuate con tempi di ritorno centennali indicano l'insufficienza delle luci dei ponti sia per la mancanza del franco (ponte Largo Vittorio veneto, ponte Martina, ponte di via don B. Ferrari), sia per lo scavalcamento dello stesso ponte (ponte San Carlo, ponte della Fabbrichetta, ponte Mistri).

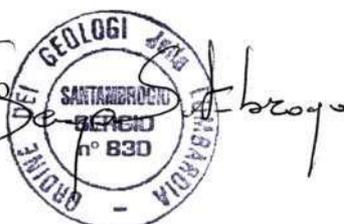
Solo il ponte della ex ferrovia di via don B. Ferrari ha un franco sufficiente per portate centennali che probabilmente potrebbe essere adeguato anche per le portate duecentennali.

I ponti della Fabbrichetta e Mistri vengono sommersi per portate nettamente inferiori a quella con tempi di ritorno centennali, mentre il ponte San Carlo è soggetto a crisi idraulica per portate paragonabili a quella monosecolare.

**Studio Geoter**

dott. geol. Sergio Santambrogio

Ardesio, giugno 2022



con la collaborazione di  
 ing. Ezio Zucchelli (SAI Progetti)

