

COMUNE DI VALLELAGHI

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



RIQUALIFICAZIONE GENERALE PARCO DEI 2 LAGHI A PADERGNONE

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICO – ROGGIA DI PADERGNONE E ROGGIA DI CALAVINO (RIO FREDDO)

Committente:
Comune di Vallelaghi

INTEGRAZIONE allo studio n. pratica 43142

Dott. Geol. Silvio Alberti		Per presa visione il Progettista:
Via Santi Fabiano e Sebastiano 16		
Porte di Rendena 38094 (TN)		
Cell. 3495132216		
alberti.silvio@gmail.com		
P.I. 02406490223		
C.F. LBRSLV89T27L174O		
Data: Febbraio 2022		

INDICE

1	<u>PREMESSA</u>	4
2	<u>INTRODUZIONE E FINALITÀ DELLO STUDIO</u>	4
3	<u>METODOLOGIA E ACQUISIZIONE DATI</u>	6
4	<u>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</u>	7
4.1	INQUADRAMENTO URBANISTICO	7
4.2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE	11
4.2.1	PREMESSA	11
4.2.2	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	11
5	<u>CRITICITÀ EVIDENZIATE E COMPATIBILITÀ CON LA PERICOLOSITÀ DEL SITO</u>	14
6	<u>ANALISI STORICA</u>	17
7	<u>ROGGIA DI CALAVINO: BACINO IDROGRAFICO</u>	17
7.1	CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA	22
7.1.1	<i>CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA CON JGRASS</i>	22
7.1.2	<i>IL MODELLO PEAKFLOW</i>	23
7.1.3	<i>CALIBRAZIONE DEL MODELLO</i>	23
7.1.4	<i>CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA: ROGGIA DI CALAVINO</i>	26
7.1.5	I PARAMETRI DEL MODELLO	30
7.1.6	CALCOLO DELLA PORTATA LIQUIDA DI PICCO	30
7.2	DETERMINAZIONE DEL TIPO DI EVENTO IDROGEOLOGICO	32
7.3	MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE EVENTO DI PIENA	34
7.3.1	Tr 30 ANNI	39
7.3.2	Tr 100 ANNI	40
7.3.3	Tr 200 ANNI	41
8	<u>ROGGIA DI PADERGNONE: BACINO IDROGRAFICO</u>	45
8.1	CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA	51
8.2	CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA CON JGRASS	51
8.2.1	IL MODELLO PEAKFLOW	52
8.2.2	INPUT NECESSARI AL MODELLO	52

8.2.3	I PARAMETRI DEL MODELLO	54
8.2.4	CALCOLO DELLA PORTATA LIQUIDA DI PICCO	55
8.3	DETERMINAZIONE DEL TIPO DI EVENTO IDROGEOLOGICO E ANALISI DEL TRATTO DI STUDIO	59
8.4	MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE EVENTO DI PIENA	61
8.4.1	TR 200 ANNI	65
8.4.2	TR 100 ANNI	68
8.4.3	TR 30 ANNI	69
<u>9</u>	<u>CARTA DELLA PERICOLOSITÀ E CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ</u>	<u>73</u>
<u>10</u>	<u>CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI</u>	<u>82</u>

1 PREMESSA

Il presente elaborato recepisce quanto richiesto nella nota del Servizio Bacini Montani datata 24/01/2022 relativamente alla pratica n. 43142. Con riferimento alla richiesta di parere per gli interventi in aree con penali da approfondire da fenomeni alluvionali – per intervento di riqualificazione parco due laghi Padergnone, nel comune di Vallelaghi sulle pp. ff. 308, 380, 388/1, 388/2, 389/1, 389/2, 389/3, 389/5, 389/6, 391, 1097/8, 1087/9 nel C.C. Padergnone inviata al Servizio Provinciale in data 22 dicembre 2021, il Servizio ha richiesto le seguenti integrazioni:

- allineamento tra il progetto di riqualificazione ed i relativi estratti contenuti negli studi di compatibilità;
- approfondimento riguardo alla modellazione idrologica cercando conferma da analisi storiche, in particolare in relazione alle sezioni critiche;
- conseguente revisione della modellazione idraulica.

Per quanto riguarda il primo punto nel presente elaborato integrativo sono riportate le tavole di progetto definitivo con recepimento delle prescrizioni date nel precedente studio di compatibilità idraulica.

L'analisi delle portate liquide e degli idrogrammi di piena viene svolta con grado di approfondimento maggiore in relazione anche a studi pregressi disponibili presso l'archivio del Servizio Bacini Montani. Per tale trattazione di dettaglio di rimanda al paragrafo dedicato.

2 INTRODUZIONE E FINALITÀ DELLO STUDIO

Su incarico dell'Amministrazione del Comune di Vallelaghi in qualità di proprietario dell'area oggetto di studio viene condotta la verifica idraulica e di compatibilità idraulica dell'intervento di riqualificazione dell'area lacustre situata sulla sponda Sud del Lago di Santa Massenza ed il pericolo atteso indotto dalla roggia di Calavino e di quella di Padergnone.

L'area in oggetto si trova nel comune di Vallelaghi ed in particolare lungo le sponde Sud del lago di Santa Massenza. In tale area è prevista la riqualificazione del Parco Due Laghi al fine di sfruttare paesaggisticamente e strategicamente un'area di privilegio. Il comparto occupa le pp. ff. 308, 380, 388/1, 388/2, 389/1, 389/2, 389/3, 389/5, 389/6, 391, 1097/8, 1097/9 C.C. Padergnone tutte di proprietà pubblica tranne la p.f. 308 di proprietà di Hydro Dolomiti Energia S.r.l. Il parco, ad oggi è utilizzato sporadicamente in occasione di manifestazioni organizzate dalle associazioni locali.



Figura 1 Area interessata dall'intervento di riqualificazione del Parco Due Laghi – Comune di Vallelaghi

In materia di pericolo, la Carta di Sintesi della Pericolosità (CSP) rappresenta il nuovo strumento di riferimento per la pianificazione urbanistica e con la sua approvazione (comma 2, art. 22 della legge provinciale 4 agosto 2015, n. 15) cessano di applicarsi le disposizioni della Carta di sintesi geologica e le disposizioni in materia di uso del suolo del Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche (PGUAP). La CSP è uno degli elementi costituenti il Piano Urbanistico Provinciale PUP (comma 4, lettera d, dell'articolo 21 della legge provinciale 4 agosto 2015, n. 15 e comma 1 dall'articolo 3 della legge provinciale 27 maggio 2008, n. 5) e ha il compito di individuare le aree caratterizzate da diversi gradi di penalità ai fini dell'uso del suolo, in ragione della presenza dei pericoli idrogeologici, valanghivi, sismici e d'incendio boschivo, descritti nelle Carte della Pericolosità (articolo 10 della legge provinciale 1 luglio 2011, n. 9 con le modifiche approvate con delibera G.P. n. 1066 del 19 luglio 2019 e articolo 14 dalle legge provinciale 27 maggio 2008, n.5).

La presente relazione descrive la verifica idraulica e di compatibilità idraulica condotta secondo le "Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate, medie o basse e le aree con altri tipi di penalità" come riportato nel Piano Urbanistico Provinciale, norme di attuazione (allegato B della l.p. n. 5 del 2008), articoli 14, comma 3, articolo 18, comma 2 e nella Legge

provinciale per il governo del territorio (l.p. n. 15 del 2015, articolo 22) per la valutazione del pericolo idraulico connesso alla presenza delle due rogge.

La verifica ha il fine di analizzare in dettaglio l'area di studio classificata in parte come area di altro tipo di penality – aree da approfondire in termini di penality alluvionali torrentizie (APP).

Gli scenari studiati riguardano eventi di piena relativi a tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni, come previsto dalla l.p.2008, n.5.

3 METODOLOGIA E ACQUISIZIONE DATI

Metodologia:

L'impostazione metodologica del presente studio segue quanto elencato di seguito:

- Inquadramento generale dell'area di studio
- Estrazione cartografica del bacino in analisi;
- Analisi geomorfologica e idrologica per la determinazione dell'idrogramma di piena liquido per i tempi di ritorno significativi (30, 100 e 200 anni);
- Modellazione bidimensionale del fenomeno di onda di piena nel tratto di torrente soggetto di tale studio;
- Redazione della carta della pericolosità dello stato attuale del tratto analizzato secondo quanto previsto nel documento “Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità” aggiornato con deliberazione della Giunta Provinciale n. 1681 del 14 settembre 2018” e successiva trasposizione in classi di penality secondo quanto previsto nel documento “Disposizioni tecniche per la predisposizione della Carta di Sintesi della Pericolosità” approvato dalla G.P. n. 1078 del 19 luglio 2019;
- Identificazione delle criticità e prescrizioni proposte per garantire la sicurezza idrogeologica in funzione degli aventi attesi.

Al fine di pervenire ad una quanto più precisa modellazione finale del corso d'acqua, è necessario avvalersi di dati meteorologici, informazioni cartografiche, strumenti informatici di gestione del territorio e di analisi, in particolare:

- **Indagini di campo.** Vengono condotte mediante accurati sopralluoghi sul sito interessato dallo studio. Queste indagini risultano di supporto alla definizione delle caratteristiche idrauliche e morfologiche del sito quali granulometria, scabrezza, presenza di vegetazione, individuazione di zone di erosione e deposito e identificazione di eventuali affluenti non attivi.
- **Analisi cartografiche.** Attraverso l'uso di specifici strumenti GIS (GRASS, GlobalMapper, Qgis), sono state condotte analisi sulle informazioni geografiche e cartografiche esistenti al fine di definire le principali caratteristiche geomorfologiche del bacino di interesse e preparare con metodologia

rigorosa i dati di ingresso nei software di modellazione. In particolare, si è fatto uso dei seguenti strumenti:

- ❖ Carta Topografica Generale 1:10.000 con definizione a 254 punti per pollice, cod. agg.1.1/00, di proprietà della Provincia Autonoma di Trento;
- ❖ Modello Digitale del Terreno 1:10.000 con passo di campionamento 0.5 m, cod. 1.2/96, di proprietà della Provincia Autonoma di Trento;
- ❖ Cartografia on-line della P.A.T. (<http://www.gis.provincia.tn.it>), con i tematismi riguardanti l'idrografia e gli sfondi delle Ortofoto a Colori del Volo Italia 2000;

Strumenti utilizzati:

- ***Estrazione cartografica del bacino.*** Mediante il software Udig-Peakflow è stata realizzata l'estrazione cartografica del bacino di interesse a partire dal DTM dell'area di interesse.
- ***Analisi idrologiche.*** Gli idrogrammi di piena sono stati realizzati mediante l'utilizzo del modello afflussi-deflussi implementato all'interno del software "Udig" denominato "Peakflow". Questo è un modello idrologico semi-distribuito integrato in JGrass che lavora utilizzando come base d'approccio GIUH e calcola sia la portata massima che la durata della precipitazione che massimizza la portata stessa.
- ***Modellazione matematica.*** Le analisi di pericolo sono state condotte a partire dai dati elaborati nelle precedenti fasi, mediante il software "HEC-RAS". Questo software permette la modellazione di fenomeni di onde di piena per la redazione della Carta della Pericolosità.

Nei prossimi paragrafi verranno descritti con maggiore dettaglio, suddivisi per sotto-capitoli, gli aspetti precedentemente esposti.

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

4.1 INQUADRAMENTO URBANISTICO

L'area oggetto di intervento si trova sulle rive del lago di Santa Massenza a confine con il Lago di Toblino nel comune di Vallelaghi nel Trentino centro-occidentale. In particolare, questa zona si colloca a sud della località di Padergnone e del centro abitato di Santa Massenza lungo una delle arterie principali di collegamento del capoluogo di regione e Riva del Garda, importante pertanto anche dal punto di vista turistico.



Figura 2 Inquadramento e localizzazione dell'area oggetto di intervento

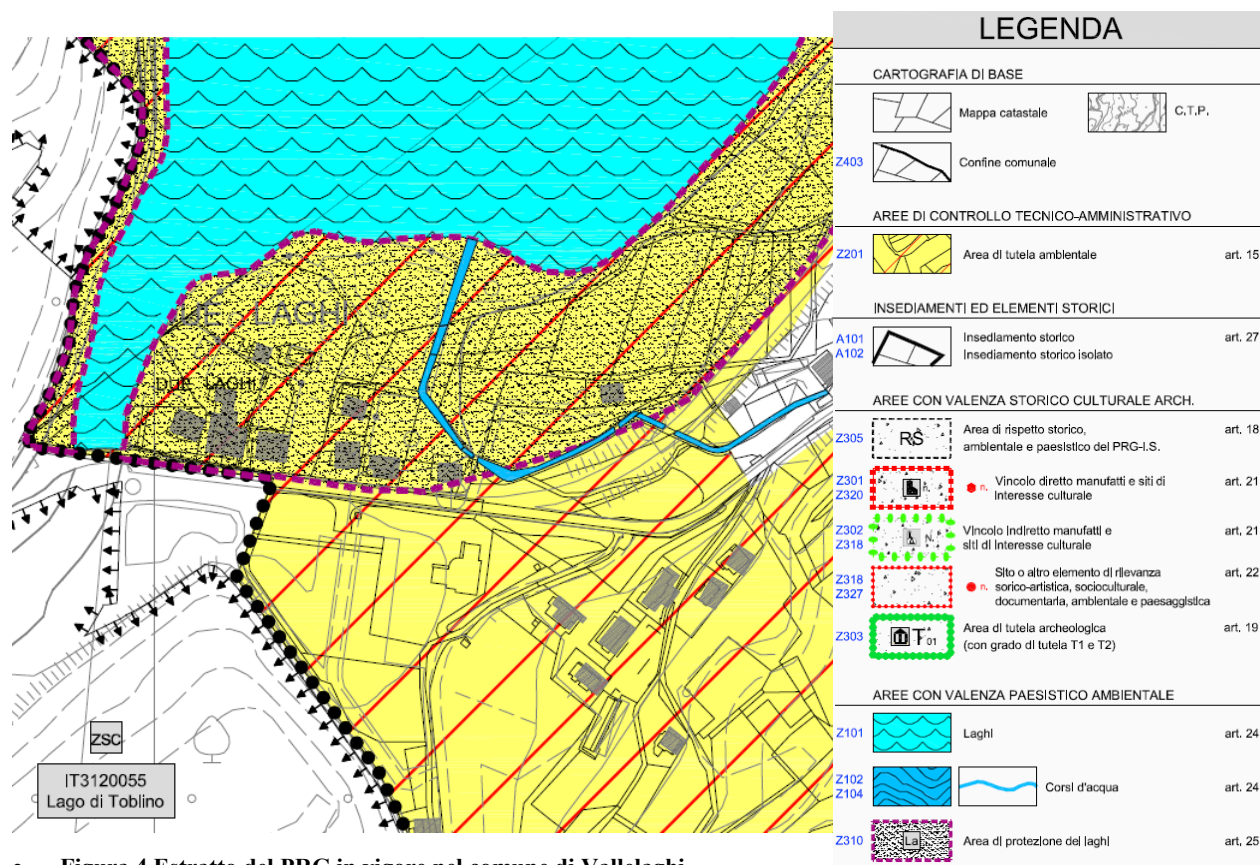


Figura 3 Parco Due Laghi oggetto di riqualificazione

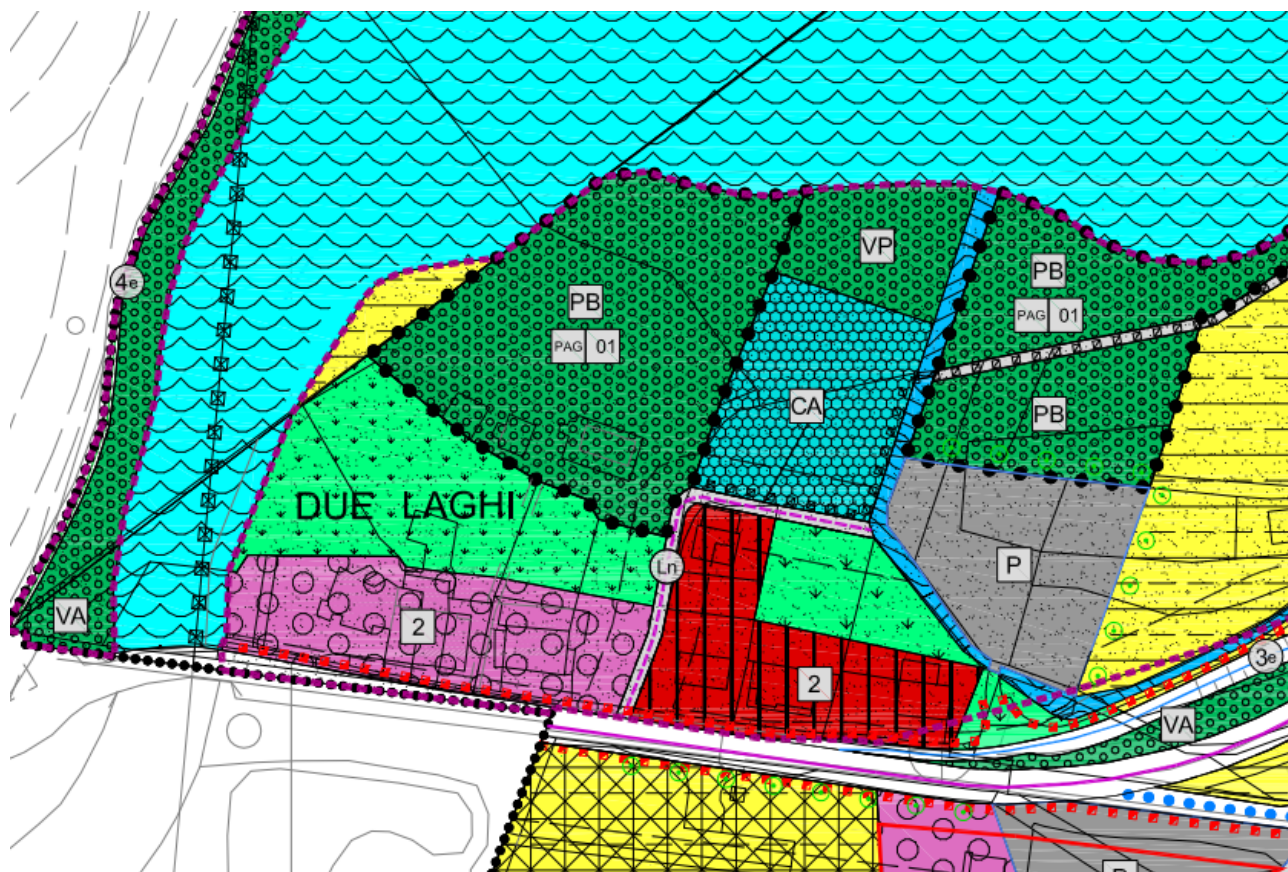
Il Piano Regolatore Generale del Comune di Vallelaghi (Figura 4) colloca l'area di intervento in:

- “*Aree di tutela ambientale, art. 15*”. Sono aree dove la tutela ambientale è esercitata dalla P.A.T. a norma della legislazione vigente in materia. Si tratta di aree natura o trasformate dall’opera dell’uomo caratterizzate da singolarità geologica, florifaunistica, morfologica, paesaggistica, di coltura agraria ovvero da forme di antropizzazione di particolare pregio e per il loro significato formale e culturale o per il loro valore di civiltà.
- “*Aree di protezione dei laghi, art. 25*”. 2. In sintonia con l’art.22 delle Norme di attuazione del Piano Urbanistico Provinciale, nelle aree di protezione dei laghi sono consentiti esclusivamente interventi di trasformazione edilizia e urbanistica concernenti opere pubbliche o d’interesse pubblico, con esclusione di nuove strutture ricettive. Sono ammessi ampliamenti degli esercizi alberghieri esistenti, con esclusione delle residenze turistico-alberghiere, anche con limitati aumenti di ricettività, purché

non comportino un avvicinamento alla riva del lago e risultino strettamente connessi a misure di riqualificazione e di miglioramento dell'offerta di servizi. Sulla base di specifici piani attuativi, possono essere ammessi interventi di riqualificazione urbanistica di complessi edilizi esistenti, anche interessanti più edifici e con limitati aumenti di ricettività, purché sia assicurata una significativa riqualificazione dell'area sotto il profilo paesaggistico e ambientale o della migliore fruibilità pubblica delle rive e dell'offerta ricettiva.



• **Figura 4 Estratto del PRG in vigore nel comune di Vallelaghi**



SERVIZI E INTERVENTI PUNTUALI

F201  AREE PER ATTREZZATURE E SERVIZI PUBBLICI DI LIVELLO LOCALE DA CONFERMARE art. 36

 magazzino  esercizio pubblico  polifunzionale  spazio - piazza

F202  AREA PER NUOVI SERVIZI PUBBLICI art. 37

F310  PARCO BALNEARE art. 41 ter

INFRASTRUTTURE VIARIE E DI TRASPORTO

F305  PARCHEGGIO ESISTENTE art. 63

F306  PARCHEGGIO DI PROGETTO **Z601**  **F306** PARCHEGGIO DI PROGETTO CON SPECIFICO RIFERIMENTO NORMATIVO art. 63

Figura 5 Estratto del PRG in vigore nel Comune di Vallelaghi

4.2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE

4.2.1 PREMESSA

Il progetto definitivo a cura dell'Arch. Luigi Zanoni, datato dicembre 2021 descritto nel paragrafo successivo mostra elementi differenti rispetto a quello riportato nello studio di compatibilità precedente (progetto datato ottobre 2021) in quanto nell'aggiornamento vengono già recepite le prescrizioni date nello studio di compatibilità iniziale.

4.2.2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

In tale studio viene analizzata la compatibilità idraulica relativa al progetto di variante che costituisce un perfezionamento dell'idea già presentata con il progetto del 2019 riguardante la riorganizzazione generale del parco dei Due Laghi a Padergnone.

L'obiettivo del progetto riguarda il mantenimento e l'ottimizzazione della funzione di "parco per le feste" ed altre manifestazioni di promozione locale, nonché sviluppo dell'attrattività turistica della zona. Tale aspetto implica la presenza di persone nell'area di intervento, pertanto, è necessario indagare la pericolosità del sito, dal punto di vista torrentizio e individuare prescrizioni di carattere strutturale e gestionale per la messa in sicurezza.

Il progetto prevedere:

- Sostituire il vetusto manufatto in legno ed i vecchi servizi igienici con un nuovo padiglione multifunzionale in legno che possa contenere una cucina per le manifestazioni, un bar, un'ampia tettoia che permetta di ospitare circa 150 persone;
- Dare collegamento diretto al parco ed alle sue strutture dalla prevista area parcheggio a est del parco con accesso veicolare dallo svincolo sud di Padergnone. Tale zona (pp. ff. 388/1, 388/2, 389/1, 389/2 e 389/6) è in parte già destinata a parcheggio dal vigente Piano regolatore generale ed è prevista la realizzazione di n. 34 posti auto. Riorganizzare i percorsi interni prevedendo una passerella pedonale sulla roggia che unisca il parcheggio al parco delle feste ed un nuovo vialetto sterrato che conduca al nuovo chiosco ed al parco acquatico,
- Realizzare nella parte più bassa dell'area, vicino alla foce della roggia una derivazione della stessa mediante una piccola briglia che permetta di alimentare con acqua corrente un basso laghetto (circa 5x10mx 25 cm di profondità) di forma irregolare combinato con un percorso Kneipp di circa 80 m di lunghezza;
- Realizzare un presidio a tale parco mediante la costruzione di un chiosco bar e servizi, che il comune darà in gestione, che permetta di controllare e mantenere l'area e dare ristoro ai fruitori.

Di seguito si riporta un estratto delle tavole del progetto definitivo datato dicembre 2021 nel quale si sono recepite le prescrizioni riportate nella prima versione dello studio di compatibilità (es. ricollocazione del Chiosco Bar e riduzione del numero di parcheggi).

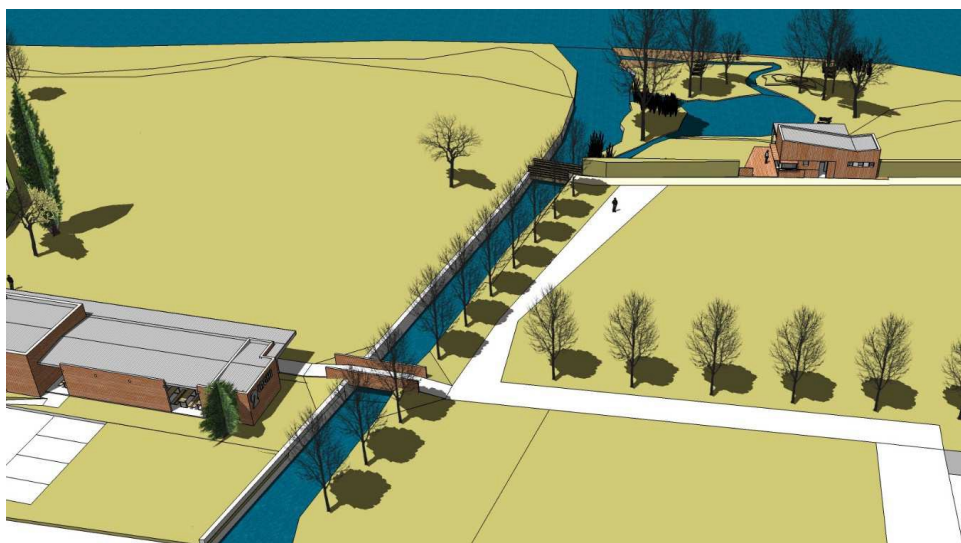


Figura 6 Estratto del rendering del progetto di Riqualficazione del Parco due Laghi - Padergnone

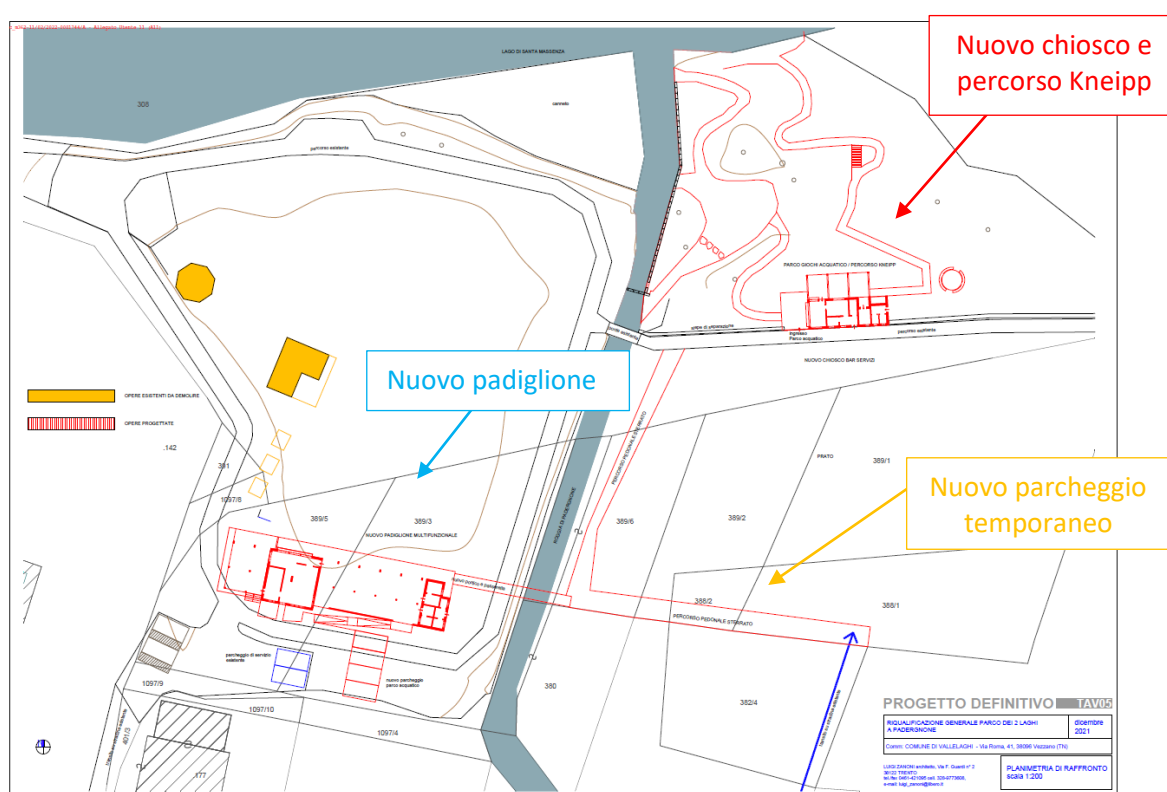


Figura 7 Estratto della tavola di raffronto - Intervento di riqualficazione generale Parco 2 Laghi a Padergnone

Chiosco bar



Figura 8 Estratto delle tavole - Chiosco parco acquatico

Padiglione multifunzionale

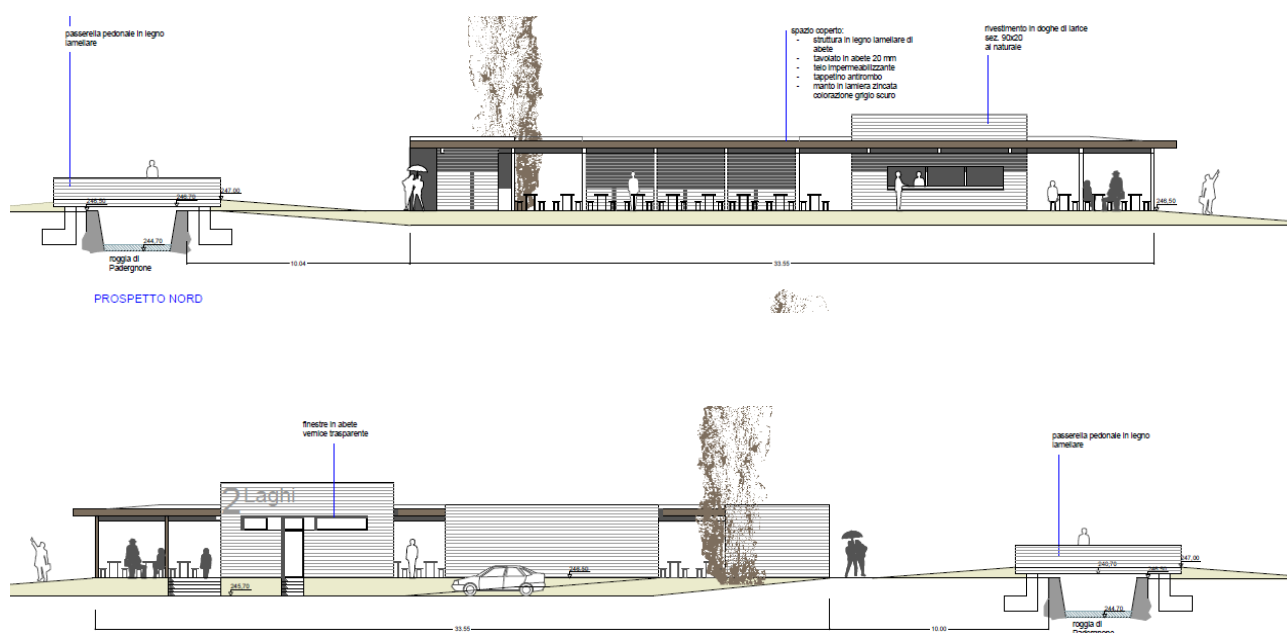




Figura 9 Estratto tavole di progetto - Edificio polifunzionale

Data la vicinanza delle opere alla roggia di Padergnone e alla possibile influenza data dall'esondazione della roggia di Calavino, contestualmente a tale variazione è necessario dimostrare la fattibilità delle opere oggetto di trasformazione, analizzando le eventuali criticità da un punto di vista del rischio e pericolo idrogeologico. Per tale ragione il presente elaborato mira ad indagare la fattibilità dell'opera in oggetto ed eventuali soluzioni progettuali migliorative al fine di rendere l'intervento compatibile con la pericolosità del sito.

5 CRITICITÀ EVIDENZIATE E COMPATIBILITÀ CON LA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Strumento urbanistico di fondamentale importanza è la Carta di Sintesi della Pericolosità approvata con delibera n. 1317 del 4 settembre 2020 della Giunta Provinciale, con essa cessano di applicarsi le disposizioni della Carta di sintesi geologica e quelle in materia di uso del suolo del PGUAP. Tale carta rappresenta un nuovo importante strumento per la pianificazione territoriale e regolamenta in funzione della classe di appartenenza gli interventi ammissibili e l'iter autorizzativo da seguire.

In Figura 10 viene riportato un estratto della CSP in vigore nell'intorno delle particelle oggetto di compatibilità idraulica.

Legenda - CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITA'

Classi di Penalità

Con riferimenti alle norme di attuazione del Piano Urbanistico Provinciale (L.P. 27 maggio 2008, n. 5)

penalità ordinarie

	P4 - elevata	art. 15
	P3 - media	art. 16
	P2 - bassa	art. 17

altri tipi di penalità

	APP - aree da approfondire	art. 18
	PRV - residua da valanga	art. 18
	P1 - trascurabile o assente	art. 18

tutele speciali

	AFI - ambiti fluviali di interesse idraulico previsti dal Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche	art. 14
	IMP - aree riservate a interventi di mitigazione del pericolo	art. 18
	RSS - area di rispetto stazione sismometrica	art. 18
	stazione sismometrica	

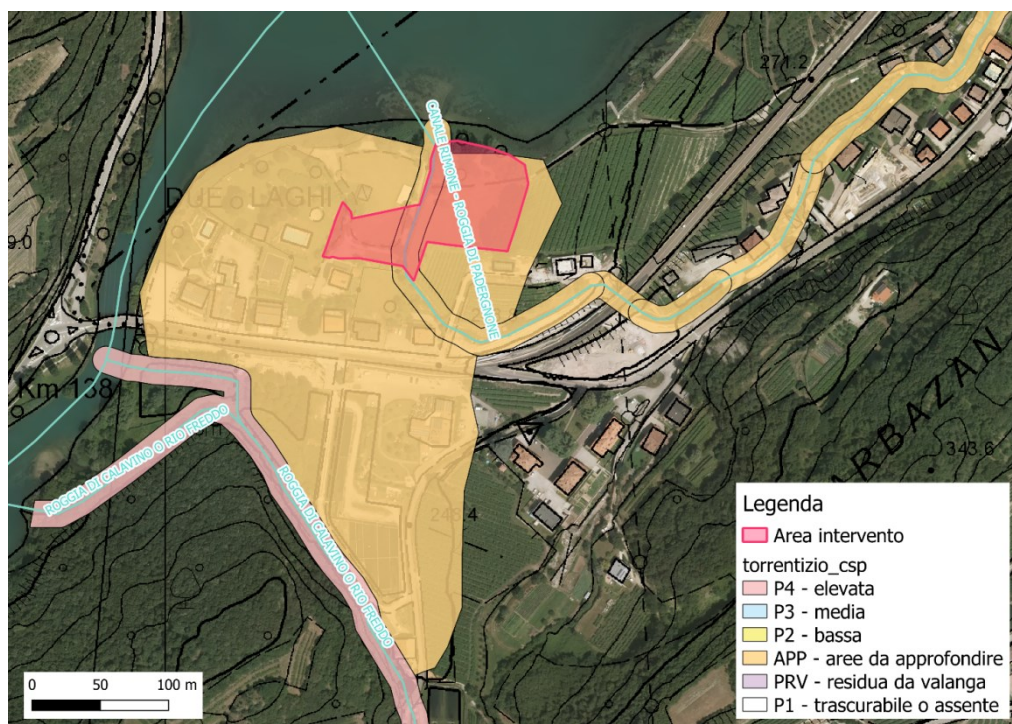


Figura 10 Estratto della Carta di Sintesi della Pericolosità in vigore per l'area oggetto di intervento

Come si osserva nella CSP relativa ai solì fenomeni torrentizi, l'area oggetto di intervento ricade in “Aree da approfondire – APP”, che secondo quanto riportato nel documento “Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate, medie o basse e le aree con altri tipi di penalità”, sono definite come:

“Le aree da approfondire hanno un carattere di salvaguardia volto ad assicurare specifici studi prima della realizzazione degli interventi ammessi. Questa classe di pericolosità, tenuto conto del fatto che il territorio provinciale, per le sue caratteristiche naturali, presenta un fondo naturale di pericoli tipici dell'ambiente alpino, è stata adottata per le porzioni di territorio per cui non è disponibile la relativa classificazione ordinaria della pericolosità”.

...

“Nel caso delle previsioni urbanistiche vigenti gli interventi di trasformazione edilizia in tali aree sono subordinati a specifici studi di compatibilità, finalizzati ad approfondire le dinamiche degli eventi attesi e a individuare, con riferimento all'area oggetto di intervento, la corrispondente pericolosità secondo le classi previste dalla deliberazione della Giunta provinciale n. 2759 del 2006 e s.m. nonché della penalità secondo la deliberazione della Giunta provinciale concernente “Disposizioni tecniche per la redazione della ‘Carta di sintesi delle pericolosità’ in attuazione di quanto disposto dall'articolo 14 della legge provinciale 27 maggio 2008, n. 5 ‘Approvazione del nuovo piano urbanistico provinciale’.” Considerata la classe di penalità risultante da detti studi si applica all'area di intervento la disciplina d'uso del suolo corrispondente alla rispettiva penalità e le relative precisazioni contenute nel presente documento. Lo studio, richiesto per

la presentazione o il rilascio del titolo edilizio per gli interventi nelle aree da approfondire, è subordinato al parere della struttura di merito per tipologia di pericolo.”

Sulla base di quanto riportato nella normativa di riferimento, l'area oggetto di trasformazione edilizia è soggetta ad un opportuno approfondimento idraulico al fine di verificare l'effettiva fattibilità di realizzazione dell'opera.

Infatti, il sito di intervento è situato nelle immediate vicinanze della roggia di Padergnone specie nel tratto finale fino a sfociare nel lago di Santa Massenza. In aggiunta, poco più a sud scorre la roggia di Calavino. Entrambi i reticoli sono caratterizzati da un bacino sotteso di grandi dimensioni e pertanto non si può escludere che questi, nel caso di eventi di precipitazione estrema possano esondare con conseguenti cause sull'area oggetto di studio.

In tale studio pertanto sono evidenziate **due criticità**:

- La **roggia di Calavino**, sebbene distante dal sito oggetto di intervento, date le grandi dimensioni del bacino potrebbe esondare nel tratto a monte (subito a valle del tratto inciso a nord del paese di Calavino) a monte della foce nel lago di Toblino e grazie alla morfologia del territorio e alle pendenze in gioco interessate l'area;
- La **roggia di Padergnone** che divide di fatto il sito di intervento, sulla quale sono previste la realizzazione di una passerella di collegamento, il prelievo di portata necessaria al percorso Kneipp e la realizzazione di un Chiosco bar posto in destra idrografica in prossimità della foce. Tale roggia presenta in prima approssimazione la criticità maggiore in relazione all'intervento oggetto di studio.

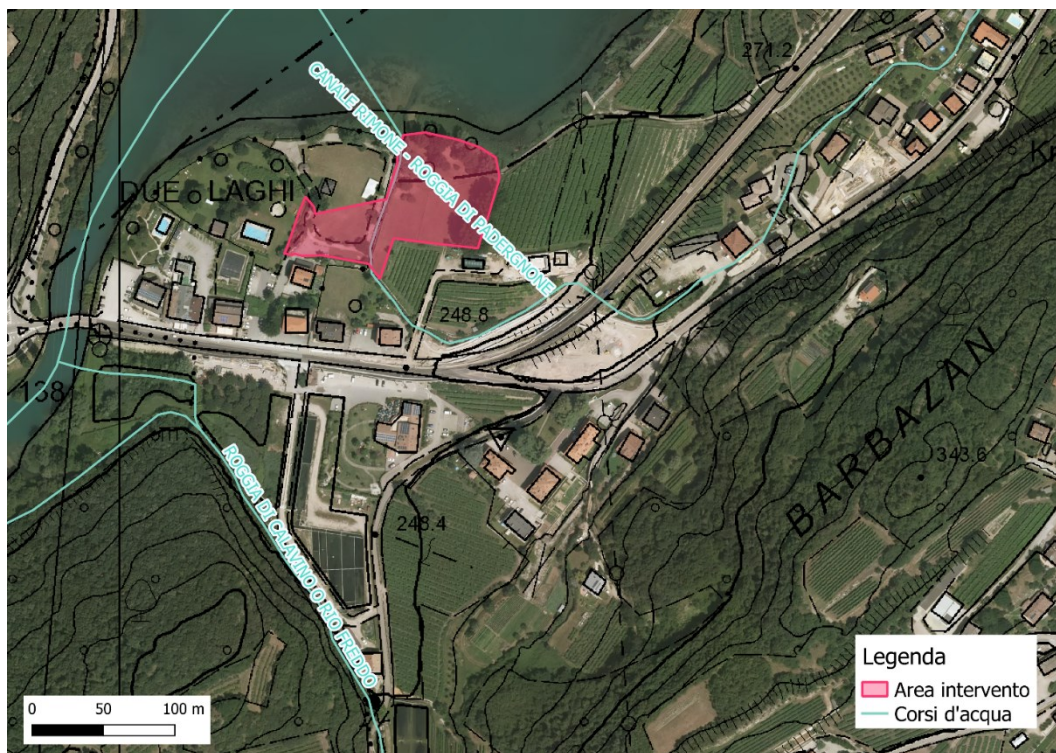


Figura 11 Roggia di Calavino e di Padergnone individuate come criticità idraulica alla realizzazione dell'intervento

6 ANALISI STORICA

Dall'analisi degli archivi storici messi a disposizione dalla Provincia Autonoma di Trento come il portale del progetto ARCA e il portale “La difesa dalle Alluvioni in Trentino” nei due bacini di studio sono riportati differenti eventi, tra cui:

- Alluvione nel 1882 che ha interessato i centri abitati di Lasino, Calavino e Padergnone;
- Alluvione nel settembre 1960 che ha danneggiato terreni e abitazioni a Lasino contestualmente all'esondazione della roggia;
- Alluvione novembre 1966 che ha interessato i centri abitati di Lasino, Calavino e Padergnone con alluvione dei terreni e smottamenti;
- Alluvione settembre 1967 che ha provocato danni alla strada che collegava loc. Cornioni ai Monti alle Case fino alla Pescicoltura.

7 ROGGIA DI CALAVINO: Bacino idrografico

Dal punto di vista idrogeologico la roggia di Calavino si sviluppa in direzione sud-nord raccogliendo le acque dei torrenti che si sviluppano lungo i versanti est ed ovest della Valle di Cavedine. In particolare, tale roggia ha origine a Sud a monte della Località denominata Vigò, questa scorre in direzione nord lungo la Valle del Vent (di Cavedine) attraversando numerose frazioni dell'omonimo comune come Brusino, Cavedine e Stravino (Figura 12) e funge da collettore di numerosi torrenti come il rio Val Grande e il rio Val dei forni.



Figura 12 Roggia di Calavino o rio Freddo in prossimità del paese di Brusino e di Cavedine

Proseguendo verso Nord percorre tutto il comune di Madruzzo attraversando località come Lasino e Calavino, con numerosi tratti tombati. Tale tratto è caratterizzato da pendenze molto ridotte tipiche di un

fondovalle e da geometria fortemente regolare a cunettone rivestito in pietra per garantire un rapido deflusso della portata.

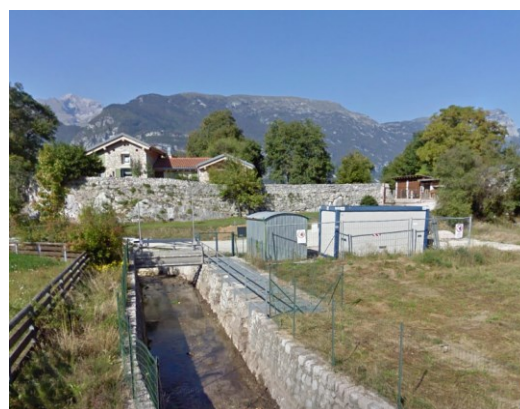


Figura 13 Roggia di Calavino a Lasino e a Cavedine

A valle del paese di Calavino la roggia attraversa la forra dei Canevai, nella quale il rio freddo (anche così chiamato) ha scavato il proprio letto nella roccia alternando cascate a profonde pozze. Qui si trova la sorgente pietrificante, un raro tipo di sorgente popolata da muschi e sfagni nella quale si forma tufo e travertino. Fuori alla forra la roggia continua a costeggiare con il confine con il comune di Vallelaghi tra bosco, pescicoltura e prati, fino a sfociare nel lago di Toblino nelle vicinanze del sito oggetto di intervento.

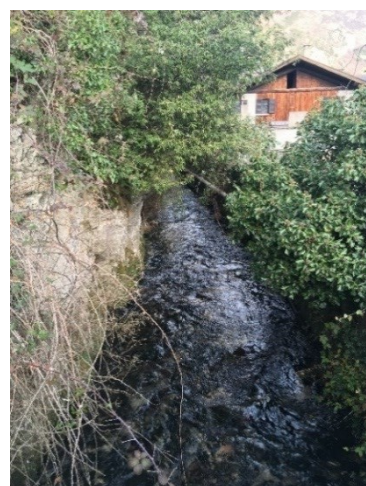
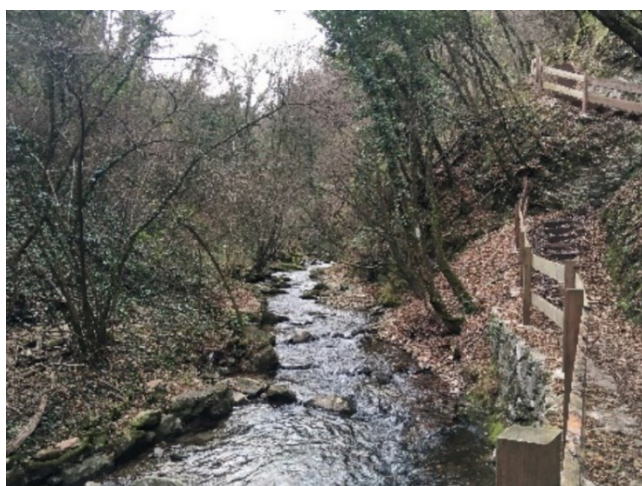


Figura 14 Roggia di Calavino lungo la forra dei Canevai e tratto a valle prima di sfociare nel lago di Toblino

Allo scopo di individuare eventuale pericolosità nel sito di intervento è necessario, in primo luogo, identificare il bacino idrografico che contribuisce alla formazione del picco di piena.

Per definizione un bacino idrografico è quella porzione di suolo all'interno del quale ogni goccia d'acqua caduta sulla superficie, confluisce necessariamente verso un unico punto posto più a valle definito come "sezione di chiusura" del bacino.

L'estrazione dei confini del bacino genera un tematismo cartografico che evidenzia una porzione chiusa di un territorio che congiunge le creste dei rilievi circostanti una o più valli tra questi comprese. Questa operazione

può essere condotta a varie scale (versante, bacino idrografico, insieme di bacini) e nel presente caso di studio si è operato a partire da una sezione di chiusura posta a valle.

L'estrazione del bacino idrografico mediante procedura informatica supervisionata, si basa sull'elaborazione del dato di elevazione digitale del terreno ed è necessaria per la calibrazione dell'onda di piena. In particolare, si è fatto uso del modello digitale del terreno in uso presso la Provincia Autonoma di Trento con risoluzione 0.5x0.5 m.

A partire dal DTM dell'area di studio ricampionato ad una risoluzione di 7x7 m sono state eseguite le classiche operazioni di analisi GIS finalizzate alla perimetrazione dei confini dei sottobacini idrologici.

Il software utilizzato è JGrass un GIS libero e open source basato sul più famoso GIS Grass. È sviluppato in java da HydroloGIS (che si occupa del suo coordinamento) e il CUDAM, il Centro Universitario per la Difesa dell'Ambiente Montano dell'Università di Trento. Anche in JGrass sono presenti una serie di strumenti per l'analisi geomorfologica e idrologica dei dati di elevazione digitale del terreno.

La metodologia seguita dal software utilizzato consiste nell'elaborare una serie di nuove mappe ricavate applicando funzioni matematiche al dato originale dell'elevazione altimetrica, in particolare si ottengono:

- la mappa delle direzioni di drenaggio (Figura 15) che indica, per ogni porzione di suolo considerato, verso quale direzione si orienta l'acqua nella sua discesa verso valle, è inoltre necessaria per la successiva estrazione del reticolo idrografico;

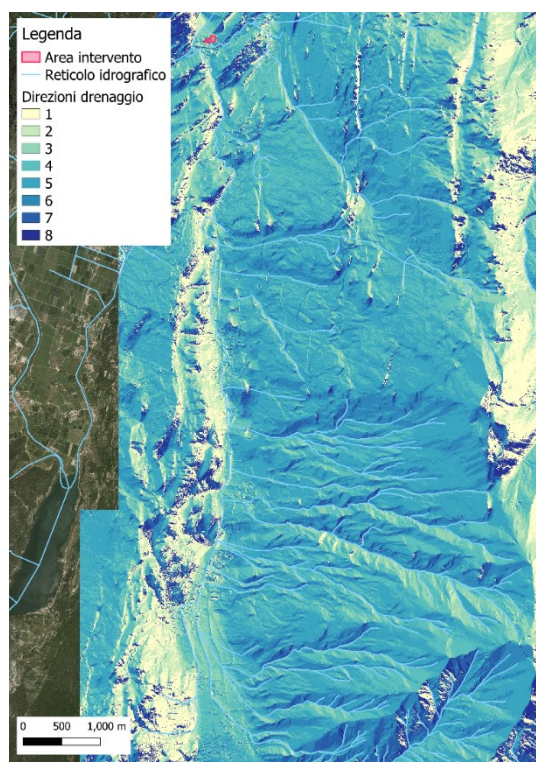


Figura 15 la mappa delle direzioni di drenaggio dell'area in esame calcolata con il GIS JGrass

- la mappa delle aree totali contribuenti (Figura 16) che rappresenta per ogni cella, il totale espresso in numero di celle presenti a monte e che drenano nella porzione di suolo considerata;

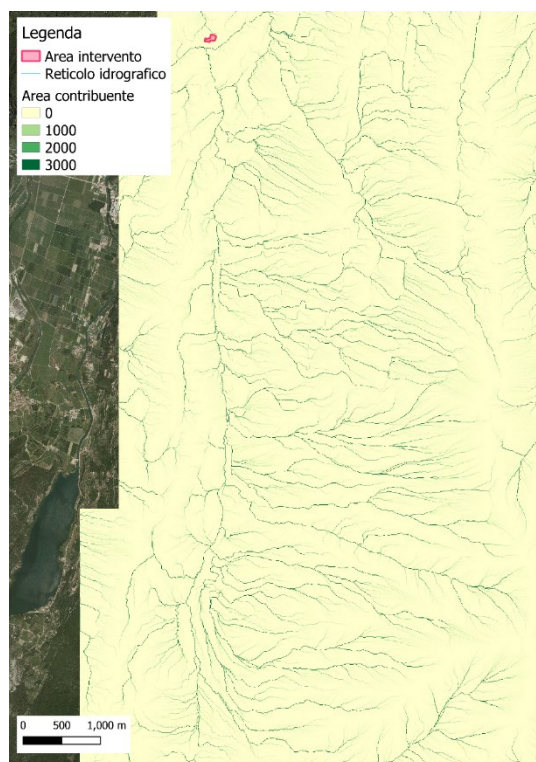


Figura 16 la mappa delle aree contribuenti totali sull'area di studio espressa in forma logaritmica per poter apprezzare la variabilità dei valori nelle celle

- la mappa raster di prima approssimazione della rete idrografica ottenuta scegliendo un valore di soglia di area contribuyente totale per ogni cella al fine di differenziare le aree classificate come versante da quelle classificate come canale (Figura 17);

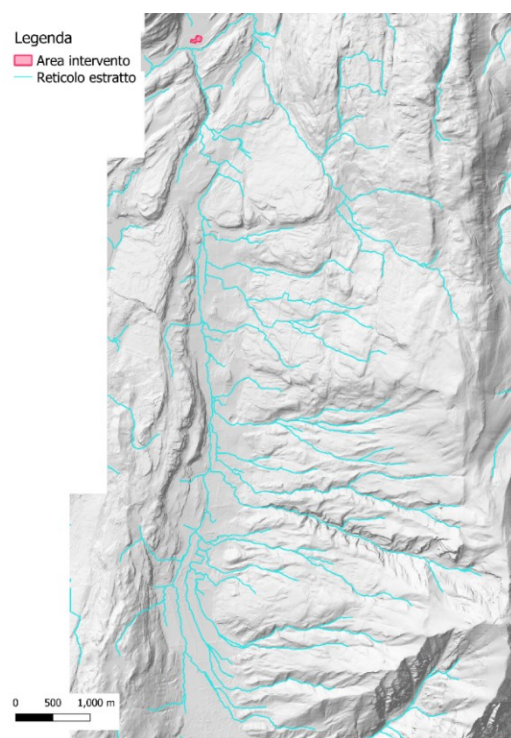


Figura 17 Mappa del reticolo idrografico

- la mappa vettoriale contenente il punto che identifica la sezione di chiusura del bacino (Figura 18).

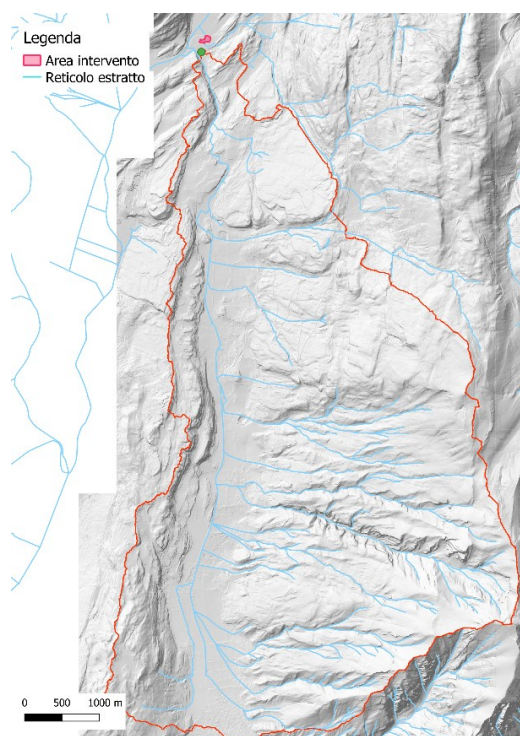


Figura 18 Sezione di chiusura del bacino della roggia di Calavino

In particolare, quest'ultima viene realizzata sotto la completa supervisione dell'utente in quanto le sezioni di chiusura vengono scelte in corrispondenza dei pixel canale della mappa raster della rete idrografica. Si noti che in alcune aree di fondovalle il DTM non risulta sufficientemente rappresentativo del reale andamento planimetrico del corso d'acqua e le procedure di estrazione della rete producono mappe non coerenti nei tratti a pendenza prossima allo zero. Di conseguenza, nella scelta delle coordinate delle sezioni di chiusura è necessario prediligere i punti in corrispondenza di un tratto di alveo reale, guidando tale scelta mediante l'uso di ortofotocarte.

In questo caso la scelta della sezione di chiusura è stata imposta a monte delle particelle oggetto di analisi di compatibilità a quota di circa 247.4 m s.l.m., in questo modo si ottiene, mediante analisi idrologica la portata di picco che compete al tratto di roggia di valle.

In Tabella 1 vengono riportate le caratteristiche principali del bacino identificato e dell'asta principale del reticolo idrografico.

Tabella 1 Caratteristiche morfometriche del bacino e dell'asta principale del rio

<i>Bacino idrografico</i>		<i>Asta principale del rio</i>	
Quota minima	247.3 m s.l.m.	Lunghezza	10.55 km
Quota massima	2169 m s.l.m.	Quota massima	711 m s.l.m.
Pendenza media	22.85° (42.13 %)	Quota minima	246.6 m s.l.m.
Superficie	30.5 km ²	Pendenza media alveo	3.5° (6.11 %)

Il bacino della roggia di Calavino presenta, escludendo la pendenza elevata dei torrenti presenti lungo i versanti della valle, pendenze ridotte lungo tutta la “Val del Vent” (inferiore a 1°), mentre è caratterizzata da pendenze maggiori in prossimità della forra dei Canevai (7.8°), prima di sfociare nel lago di Toblino.

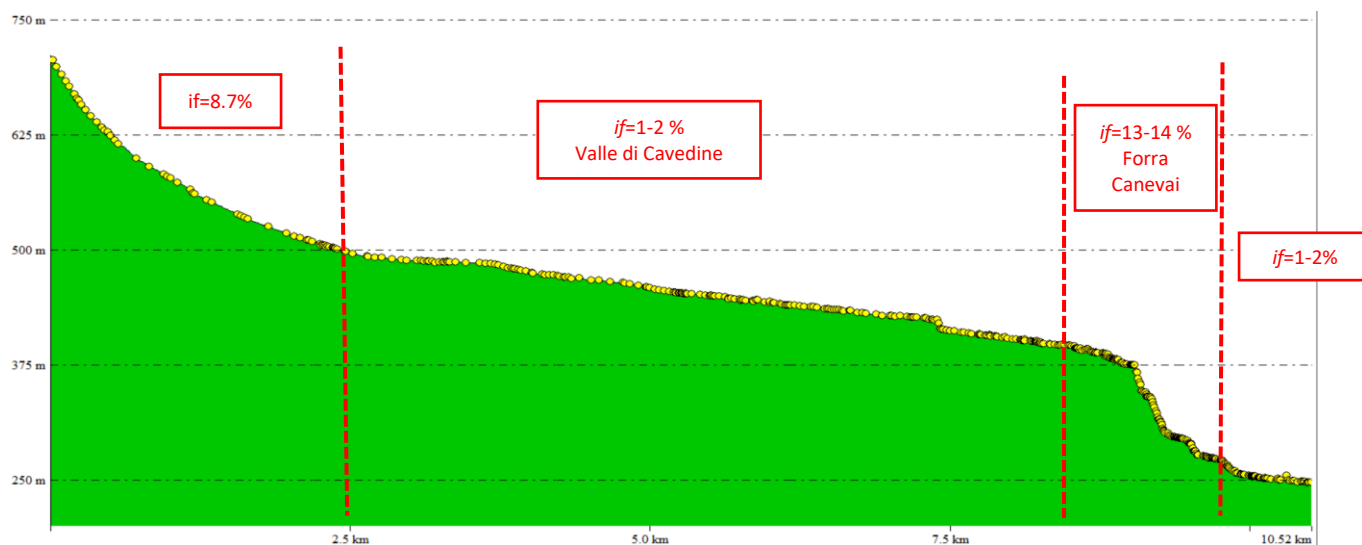


Figura 19 Profilo longitudinale dell'asta principale della roggia di Calavino o rio Freddo

7.1 CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA

In tale capitolo verrà descritto il calcolo degli idrogrammi di piena in relazione agli assegnati tempi di ritorno. Per tale trattazione è stato utilizzato JGrass e nello specifico il modello Peakflow.

In particolare, come verrà descritto con maggiore dettaglio nei paragrafi successivi, il bacino idrografico descritto in precedenza verrà ridotto sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino e sulle osservazioni di campo che hanno permesso di localizzare la sezione di chiusura del bacino in un punto più reale al fine di avere un valore di portata di picco realistico.

Per quanto riguarda invece la metodologia di calcolo del bilancio di massa idrica verrà delineata nei paragrafi seguenti insieme alla descrizione delle condizioni al contorno e dei parametri utilizzati. Le procedure di calcolo dell'idrogramma della portata di massima piena del bacino vengono eseguite a valle dell'estrazione dei confini del bacino idrografico ed utilizzando le mappe ottenute mediante la procedura di analisi morfologica descritte nel paragrafo precedente e riprese parzialmente nei capitoli successivi.

7.1.1 CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA CON JGRASS

A seguito dell'analisi geologica-geomorfologica, validata anche da sopralluoghi effettuati in situ, si è scelta la sezione di chiusura del bacino attorno ai 247.4 m s.l.m., ovvero in una sezione a monte dell'area oggetto di intervento, laddove è stata individuata la sezione critica della roggia per una possibile esondazione. In questo modo è possibile determinare l'idrogramma della portata di massima piena per i tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni che transita nell'alveo in adiacenza all'area oggetto di trasformazione edilizia.

Nonostante il bacino presenti numerosi tratti tombati che attraversano i numerosi centri abitati della valle, a favore di sicurezza si è deciso di considerare l'intera area come contribuente alla formazione del colmo di piena. Tuttavia, i tratti tombinati rappresentano una sezione critica al normale deflusso dell'onda di piena con possibili esondazioni a monte degli stessi, contribuendo di fatto alla laminazione del picco in caso di alveo completamente a cielo aperto. Per considerare tale fenomeno ci si è basati sulla taratura del modello andando a modificare i parametri idraulici che governano l'analisi idrologica in modo da allungare l'evento e ridurre l'intensità. Infine, c'è da precisare come, anche nel caso di esondazione a monte, il deflusso, per caratteristiche morfologiche della Valle potrebbe rientrare totalmente in alveo.

Il calcolo del picco di piena è stato eseguito utilizzando un modello geomorfologico semidistribuito e fisicamente basato adatto a riprodurre la risposta del bacino a scala di evento. Tale modello, Peakflow, è integrato nel GIS JGRASS e permette di determinare l'idrogramma di piena nella sezione di chiusura, relativamente all'evento considerato.

7.1.2 IL MODELLO PEAKFLOW

Il modello Peakflow calcola la portata aggregando i deflussi precedentemente separati in superficiali e subsuperficiali sulla base della saturazione del terreno. L'ipotesi di base è che le sole aree sature contribuiscano al deflusso superficiale, mentre quelle insature contribuiscono al deflusso subsuperficiale, generalmente più lento. La trattazione geomorfologica consente di differenziare, punto per punto nel bacino, sia il tipo di deflusso (superficiale e subsuperficiale) che il tempo necessario all'acqua per raggiungere la sezione di uscita e contribuire al picco di piena. Tale approccio è implementato attraverso il calcolo della funzione di ampiezza, ovvero la distribuzione dei tempi di residenza del bacino considerato.

7.1.3 CALIBRAZIONE DEL MODELLO

In tale paragrafo viene descritta, con maggiore grado di approfondimento, l'analisi idrologica relativa alla roggia di Calavino, come richiesto nella nota di integrazione del Servizio Bacini Montani volta al rilascio del parere per la compatibilità idraulica del progetto di riqualificazione del Parco due Laghi presente a Padergnone.

A supporto di tale approfondimento viene citato lo studio relativo alla “Valutazione pericolo da fenomeni torrentizi nella Valle dei Laghi”, fornito dal Servizio, redatto nel 2011 da PiCo Associazione Temporanea di Professionisti (Geol. Alberto Pisoni, Ing. Andrea Cozzini e Ing. Silvano Pisoni) per la calibrazione del modello idrologico e allo scopo di individuare un range di portate che potrebbero interessare il bacino alla sezione di chiusura di Lasino. A seguito di tale analisi i parametri idrologici fondamentali del modello verranno utilizzati per la determinazione dell'onda di piena con sezioni di chiusura in prossimità dei due laghi, ovvero quella che compete all'area di intervento.

Con riferimento ai parametri idrologici necessari per la stima della portata di piena, che verranno analizzati con maggiore dettaglio nel paragrafo relativo al calcolo della portata di massima piena per l'intera area contribuente (chiusura ai due laghi), si riporta in Figura 20 il bacino idrografico estratto a Lasino (circa 20 kmq) per poter confrontare con maggiore dettaglio i differenti studi.

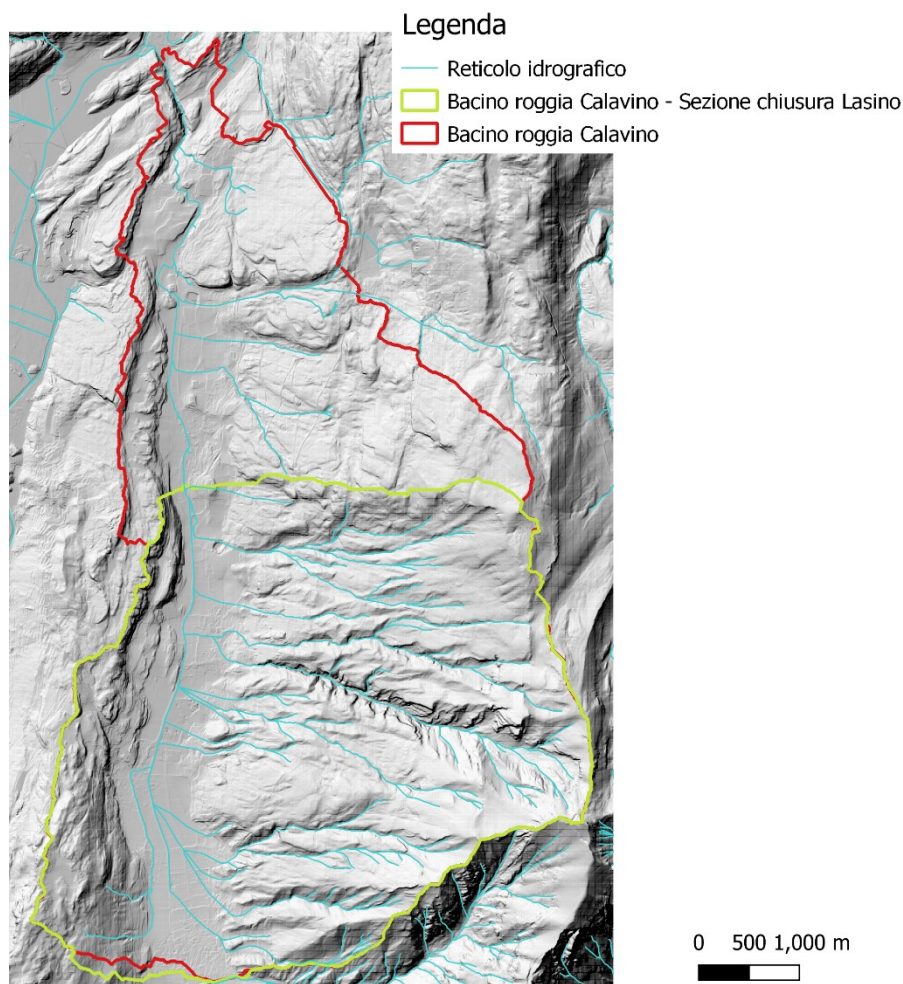


Figura 20 Bacino idrografico della roggia di Calavino con le due sezioni di chiusura considerate (Lasino e totale)

Nello studio presente nell'archivio del Servizio Bacini Montani citato in precedenza si riportano i valori massimi di portata di picco rispettivamente per il bacino della roggia di Calavino con sezione di chiusura a Lasino, 14 m³/s con 3.5 m³/s di contributo della roggia di Lasino.

Nel presente studio sono state effettuate numerose prove facendo variare per ciascun modello utilizzato (Peakflow e AdBToolbox) i parametri idrologici fondamentali come la saturazione iniziale del terreno, il valore di AMC, la soglia di estrazione del reticolo idrografico, fino ad ottenere un'onda di piena che meglio rappresenta il comportamento reale del bacino. In seguito alle molte prove fatte si riporta il risultato ottenuto che mostra risultati ritenuti condivisibili.

È importante sottolineare che il presente studio, a differenza di quello depositato presso l'archivio, mostra valori di portata al colmo maggiori ($27 \text{ m}^3/\text{s}$) a fronte di differenti considerazioni circa lo stato iniziale di saturazione del terreno, l'estrazione differente del reticolo idrografico (maggiore contributo delle celle canale rispetto a quelle versante), differente velocità attribuita al deflusso superficiale e sub-superficiale per i tratti canale e versante.

La particolare morfologia del bacino e le differenti risposte legate a differenti tempi di corrivazione del tratto di fondovalle e dei rami secondari di versante, la presenza di fenomeni carsici valutabili solo con studi specifici supportati da una campagna di indagini geognostiche volte a determinare i livelli di falda e i moti sotterranei e altri fattori di difficile individuazione e gestione, portano ad escludere un valore univoco di portata di picco, ma all'opposto è ragionevole considerare una forbice di valori possibile.

In Figura 21 si riportano i parametri idrologici utilizzati per la rideterminazione dell'onda di piena con sezione di chiusura a Lasino mentre in Figura 22 l'idrogramma riportato nel citato studio del 2011.

Tabella 2 Parametri delle variabili idrologiche utilizzati per la determinazione dell'idrogramma di piena della roggia di Calavino (sez. chiusura a Lasino)

	r sup	r sub	Sat [%]	Vcanale [m/s]	Ql [m^3/s]	tp [h]
<i>Tr 200 anni</i>	20	100	15	2	26.88	6.88

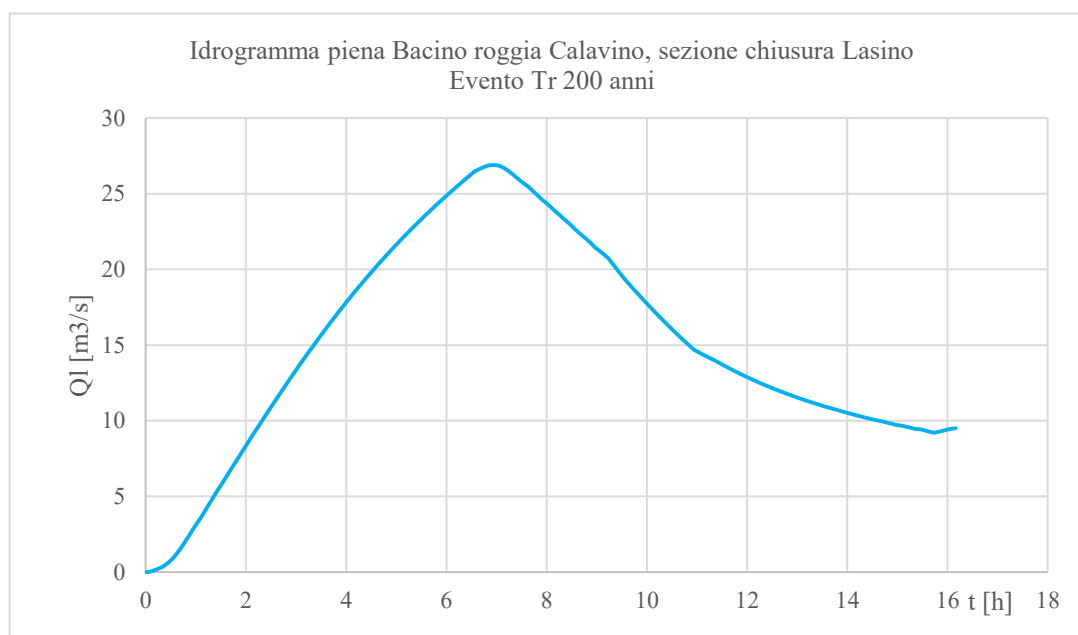


Figura 21 Parametri idrologico e idrogramma di piena ottenuto per la roggia di Calavino con sezione di chiusura a Lasino - Evento Tr 200 anni

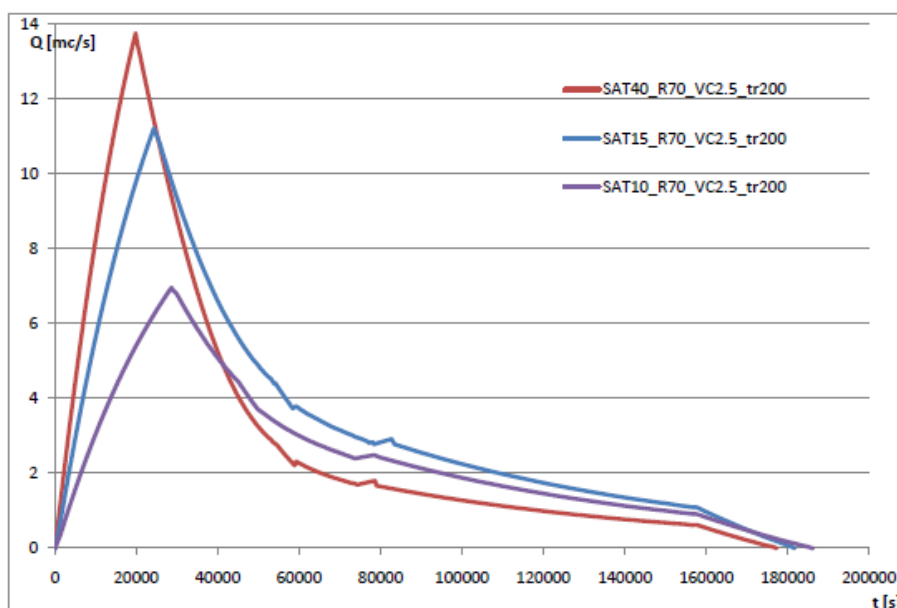


Figura 22 Parametri idrologico e idrogramma di piena ottenuto per la roggia di Calavino con sezione di chiusura a Lasino - Evento Tr 200 anni – Studio “Valutazione pericolo da fenomeni torrentizi nella valle dei Laghi” 2011 PiCo

Per quanto riguarda le sezioni critiche presenti lungo il tratto della roggia, come evidenziato anche nello studio di PiCo del 2011, quest’ultima presenta sezioni critiche tra Lasino e Calavino già per eventi con Tr 5 anni ($Q_l < 2 \text{ m}^3/\text{s}$); a fronte di tali evidenze appare chiaro come le dimensioni della roggia siano sottostimate rispetto alle portate individuate.

Sulla base di questi approfondimenti si ritiene opportuno ricalcolare l’idrogramma di piena della roggia di Calavino con sezione di chiusura posta a valle della Forra dei Canevai con i parametri idrologici (Tabella 2 Parametri delle variabili idrologiche utilizzati per la determinazione dell’idrogramma di piena della roggia di Calavino (sez. chiusura a Lasino) Tabella 2) identificati nel presente paragrafo e che massimizzano ragionevolmente con le caratteristiche morfologiche del bacino, l’onda di piena.

7.1.4 CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA: ROGGIA DI CALAVINO

Al fine di generare un’idrogramma di piena nella sezione di chiusura del bacino è necessaria la determinazione di alcune funzioni intermedie, la definizione di alcuni parametri e la disponibilità di dati pluviometrici; in particolare gli input del modello sono:

- funzione d'ampiezza del deflusso superficiale;
- funzione d'ampiezza del deflusso subsuperficiale;
- velocità dell'acqua nei canali (media per il bacino) [m/s];
- parametro di diffusione idrodinamica [m^2/s];

- parametri delle curve di possibilità pluviometrica;

Al fine di determinare le funzioni d'ampiezza relative ai due tipi di deflusso, occorre stabilire in primo luogo la percentuale di saturazione del bacino; questa viene ipotizzata sulla base di:

- considerazioni morfologiche, quali distribuzione delle pendenze, presenza di zone concave e convesse;
- considerazioni geologiche, quali tipo di depositi (granulometria e permeabilità da valori di letteratura), presenza di affioramenti;
- considerazioni climatologiche, precipitazioni medie annue, tempo di ritorno dell'evento studiato.

Scelta tale percentuale di saturazione, per differenziare le zone del bacino sature da quelle insature si è utilizzato l'indice topografico, che descrive la tendenza di un pixel a saturarsi in funzione della pendenza locale e dell'estensione dell'area a monte in esso drenante. Tale indice è definito come il logaritmo naturale del rapporto tra l'area contribuyente per unità di contorno, TCA/b , e la pendenza locale del pixel ∇z :

$$TopIndex = \ln \left(\frac{TCA}{\nabla z \cdot b} \right)$$

Poiché tale indice non è definibile nei punti pianeggianti dove $\nabla z = 0$, è necessario definire un valore massimo di indice topografico da assegnare a tali punti. Su questa mappa di indice topografico, corretta rispetto alle aree pianeggianti, viene svolta un'analisi statistica per determinare la distribuzione dell'indice topografico rispetto alle celle del bacino e la relativa probabilità cumulata. Sul relativo grafico, riportato in Figura 23, in corrispondenza del valore complementare a 100 della percentuale di saturazione fissata (ovvero 85%, se si è ipotizzata una percentuale di saturazione pari al 15%), si legge, sull'asse delle ascisse, il valore di indice topografico. Tutte le celle del bacino aventi valore di indice topografico superiore al valore così determinato sono, secondo le ipotesi fatte, saturi e contribuiscono al deflusso superficiale.

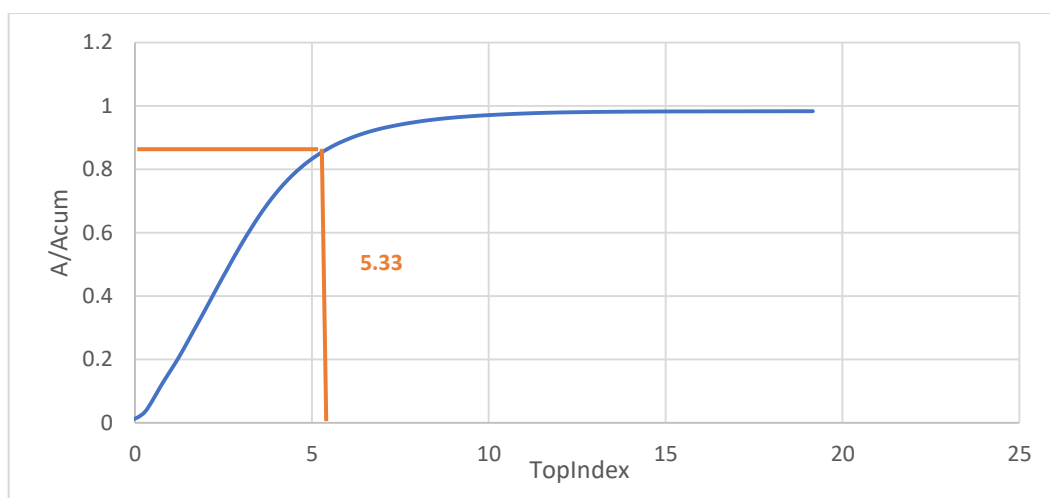


Figura 23 Frequenza cumulata dell'indice topografico calcolato sul bacino della roggia di Calavino

Relativamente al bacino della roggia di Calavino sono state fatte numerose prove con percentuali di saturazione diverse coerentemente con i risultati ottenuti per il bacino con sezione di chiusura a Lasino, e alla fine si è ipotizzato uno scenario con saturazione iniziale pari al 15%, a cui corrisponde un unico valore di soglia di indice topografico per l'intero bacino pari a 5.33. La scelta della percentuale di saturazione del bacino costituisce l'unico parametro del modello che richiede la sensibilità nella sua stima. Tale parametro è stato utilizzato per calibrare l'onda di piena in modo da ottenere valori sia in termini di durata dell'evento che di portata massima compatibili con la roggia in analisi e le sue caratteristiche.

In Figura 24 viene riportata la mappa dell'indice topografico evidenziando le aree sature da quello non sature.

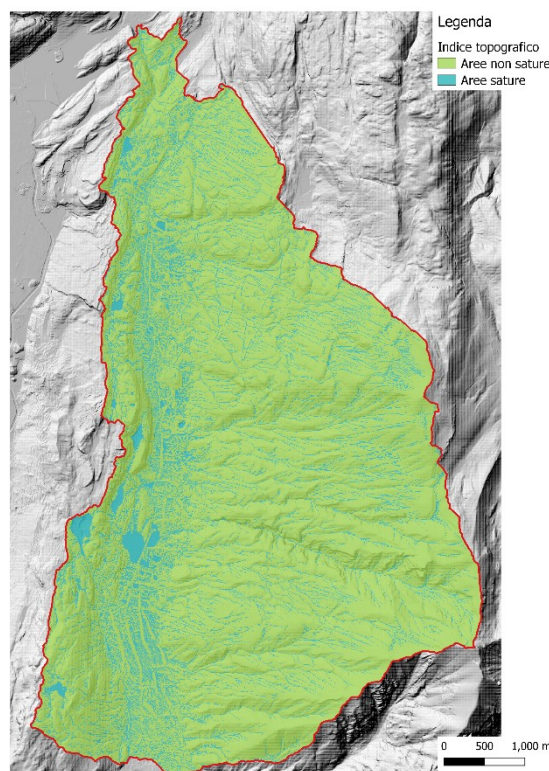


Figura 24 Indice Topografico del bacino della roggia di Calavino

Il calcolo delle distanze riscalate relativamente ai siti saturi ed insaturi è funzionale al calcolo della funzione d'ampiezza. Questa descrive la distribuzione di probabilità delle distanze di ogni singola cella dalla sezione di chiusura, misurate lungo i vari percorsi di drenaggio (versante + canale). Al fine di differenziare le celle versante dalle celle canale, che contribuiscono al deflusso con tempi differenti, si calcolano le distanze riscalate e successivamente la funzione di ampiezza per queste nuove distanze.

$$x = x_{canali} + x_{versanti} \cdot r$$

$$r = \frac{v_{canali}}{v_{versanti}}$$

r è il parametro che permette di differenziare il tempo di risposta dei versanti dal tempo di risposta dei canali. Il suo valore viene scelto in base all'ordine di grandezza della conducibilità idraulica media dei versanti. Il

calcolo delle distanze riscalate per le celle sature del bacino, ovvero per quelli in cui il deflusso è ipotizzato prevalentemente superficiale, utilizza valori di r dell'ordine di 20, mentre per le zone non sature, dove il deflusso è prevalentemente subsuperficiale, r è dell'ordine 100.

La suddivisione del bacino in aree sature ed insature viene svolto applicando un filtro sulle celle il cui valore di indice topografico risulta superiore alla soglia di saturazione fissata.

L'elaborazione statistica delle mappe delle distanze riscalate permette di ottenere le funzioni di ampiezza relative alle celle in cui si produce deflusso superficiale e a quelle in cui si produce deflusso subsuperficiale.

L'applicazione del modello al bacino della roggia di Calavino è finalizzata alla stima dell'idrogramma della portata di picco in corrispondenza della sezione di chiusura scelta per il bacino.

In Figura 25, si riportano le mappe delle distanze riscalate rispettivamente, per il deflusso superficiale (relativo alle sole porzioni sature) e quello subsuperficiale (delle sole porzioni non sature) relative ad una saturazione del bacino del 15%.

Nelle mappe si osserva che i percorsi relativi al deflusso subsuperficiale sono molto più lunghi rispetto a quelli superficiali, ragionevolmente con valori di velocità molto differenti. Inoltre, quello che appare chiaro è che la distanza dei pixel dalla sezione di chiusura per il deflusso superficiale si estende in maniera regolare man mano che ci si allontana dall'asta principale; al contrario per quanto riguarda il deflusso profondo solo le celle poste in prossimità dell'alveo hanno una distanza riscalata ridotta, mentre allontanandosi di poco dal corso d'acqua le distanze raggiungono valori molto elevati, in accordo con velocità molto ridotte.

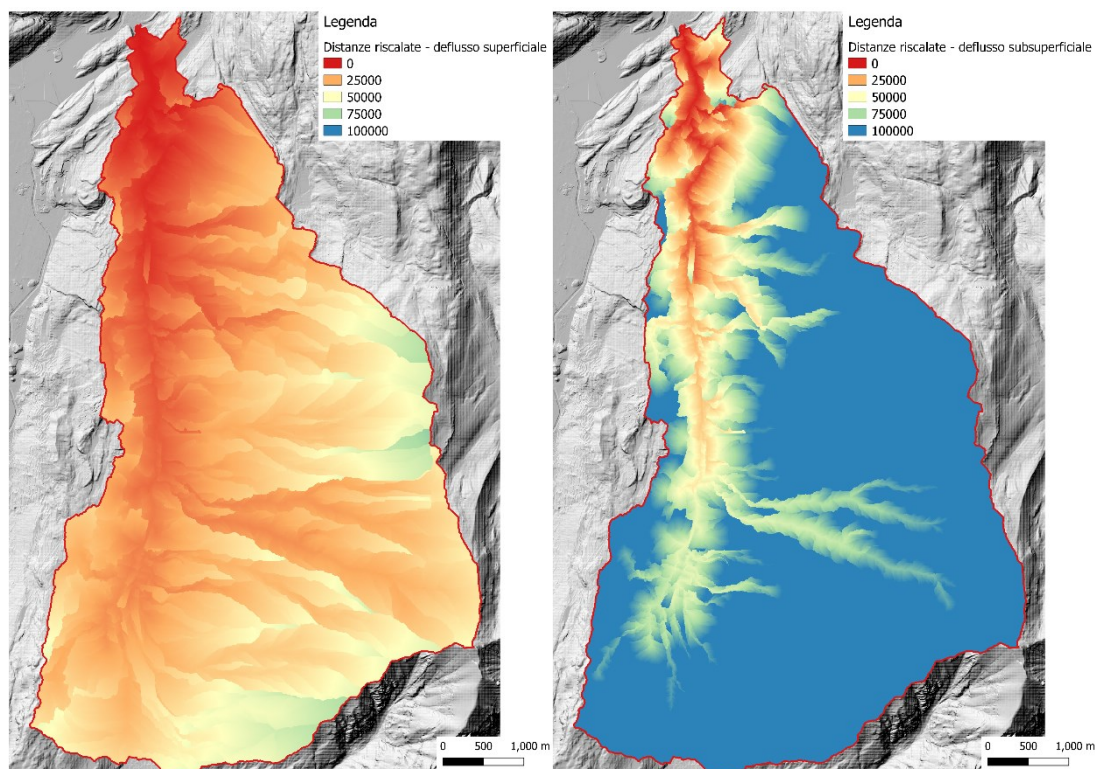


Figura 25 Mappa della distanza riscalata per il deflusso superficiale della roggia, $r=20$ (sinistra) e per il deflusso sub superficiale $r=100$ (a destra), relative ad una saturazione del sottobacino pari al 15%

7.1.5 I parametri del modello

I parametri idraulici permettono di definire in maniera mediata per il bacino la velocità dell'acqua nei canali e le caratteristiche del moto dell'onda di piena. Per il sottobacino in esame sono state eseguite numerose prove considerando velocità medie comprese tra 1 e 2 m/s e coefficienti di dispersione idrodinamica variabili tra 100 e 1000 m²/s. Al termine di queste prove effettuate su tutti i sottobacini dell'intera area di studio si è deciso di utilizzare un valore comune pari a 2 m/s per quanto riguarda la velocità media dell'acqua all'interno della rete dell'intero bacino e 1000 m²/s per il coefficiente di dispersione idrodinamica. La scelta di un valore comune per tutta l'area di studio è dettata dal fatto che non è stato possibile utilizzare dei valori misurati per la taratura dei suddetti parametri, e dal fatto che la geomorfologia dei vari sottobacini analizzati è simile.

In Tabella 3 vengono riassunti i principali parametri utilizzati nel modello PeakFlow.

Parametri modello Peakflow	
<i>Velocità media nel canale</i>	2 m/s
<i>Coefficiente di dispersione idrodinamica</i>	1000 m ² /s
<i>Saturazione del terreno</i>	15 %

Tabella 3 Parametri utilizzati nel modello Peakflow

I parametri delle curve di possibilità pluviometrica a (funzione dello spazio e del tempo di ritorno) e n (funzione solo dello spazio) relativi all'intera area di studio sono ricavati tramite l'analisi statistica delle precipitazioni e seguono l'equazione:

$$h = a \cdot t^n$$

La PAT ha reso disponibili le mappe su una griglia regolare dei dati spazialmente distribuiti del coefficiente pluviometrico a , dell'esponente n e del coefficiente di variazione globale V relative alle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica distribuite sull'intero territorio provinciale.

Mediante un processo di interpolazione spaziale effettuato attraverso il modello dell'Ordinary Kriging si sono ricavati i parametri delle L.S.P.P. utilizzati nella stima dell'idrogramma di piena per tre tempi di ritorno.

	a	n
<i>Tr= 30 anni</i>	34.4	0.384
<i>Tr=100 anni</i>	40.3	0.384
<i>Tr=200 anni</i>	43.7	0.384

Tabella 4 Parametri delle L.S.P.P. del rio

7.1.6 Calcolo della portata liquida di picco

Come descritto in precedenza, grazie della morfologia ed ai sopralluoghi effettuati, la reale area che contribuisce alla formazione del picco di piena è quella identificata posizionando la sezione di chiusura a monte dell'area oggetto di intervento. L'idrogramma di piena calcolato verrà utilizzato nelle successive modellazione e per la realizzazione della carta della pericolosità.

Utilizzando i parametri descritti nei paragrafi precedenti, sono state condotte diverse simulazioni con il modello *Peakflow* che hanno dato origine agli idrogrammi di piena, riportati per i vari tempi di ritorno.

I valori relativi alla portata massima rilevata in funzione dei diversi tempi di ritorno, il tempi di picco dell'evento, la durata della pioggia tale da determinare il picco, il grado di saturazione del bacino imbrifero utilizzato e il coefficiente udometrico sono riportati in Tabella 5.

Tr [anni]	Saturazione [%]	Ql [m ³ /s]	Area [km ²]	Coefficiente Udometrico [m ³ /s/km ²]	Tpicco [h]
30	15	29.15	30.00	0.97	8.03
100	15	34.15	30.00	1.14	8.03
200	15	37.03	30.00	1.23	8.03

Tabella 5 Risultati della portata di picco per differenti tempi di ritorno per la roggia di Calavino

Come si osserva nella precedente tabella, le portate di picco oscillano tra valori di 29 m³/s e 37 m³/s per tempi di ritorno rispettivamente di 30, 100 e 200 anni. Il tempo di picco è nell'ordine di quasi 8 ore, mentre il coefficiente udometrico, che esprime la portata per unità di superficie, è compreso tra 1-1.2 m³/s/km², che rappresentano risposte idrologiche del bacino lente. Tali valori possono essere considerati coerenti con la morfologia del bacino della roggia, caratterizzato da ridotte pendenze e da molteplici tratti tombinati che in occasione di fenomeni di precipitazione estrema possono occludersi e di fatto rallentare l'onda di piena in termini temporali e di intensità.

In Figura 26 viene rappresentato l'idrogramma di piena liquido ottenuto mediante il modello Peakflow considerando una saturazione iniziale del terreno pari al 15%, per la parte di bacino idrologico che realmente contribuisce alla formazione del picco di piena.

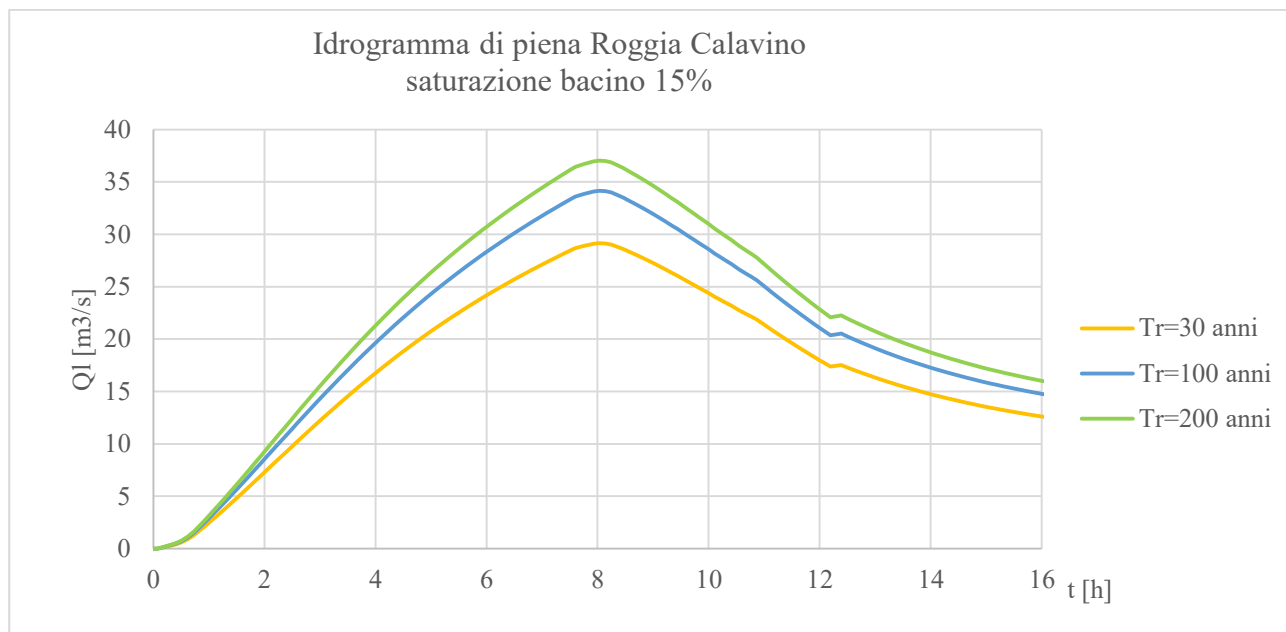


Figura 26 Idrogramma di piena liquida della roggia di Calavino per differenti tempi di ritorno

7.2 DETERMINAZIONE DEL TIPO DI EVENTO IDROGEOLOGICO

Una volta determinato nel dettaglio il bacino idrografico della roggia di Calavino, dalle caratteristiche topografiche, morfologiche, presenza di opere idrauliche e analisi delle caratteristiche dell'alveo è possibile identificare il tipo di evento atteso innescato da eventi di precipitazione intensa: piena liquida, piena con trasporto solido o colata di detriti.

Come descritto nei paragrafi precedenti la roggia di Calavino funge da collettore principale delle acque di tutta la Valle dei Laghi. L'alveo che scorre nel fondovalle è perlopiù sagomato con sezione regolare e sistemazione a cunettone rivestita in pietra per garantire un veloce deflusso delle portate. Dai sopralluoghi effettuati **non si sono osservati fenomeni di erosione e/o deposito lungo l'alveo**. L'unico apporto di materiale solido può essere attribuito ai torrenti presenti lungo i versanti che possono trasportare a valle materiale anche in forma di colata di detriti. Tuttavia, il forte cambio di pendenza tra versante e fondovalle ne favorisce il deposito naturale in ciascun tratto conoidale impedendone di fatto il trasporto lungo la roggia di Calavino. Nel caso remoto in cui vi siano fenomeni di trasporto solido la presenza di numerosi tratti tombati che attraversano il fondovalle (Bresimo, Cavedine, Lasino, Calavino, ...) si presentano come sezioni critiche al libero deflusso della portata. Queste, infatti, è più probabile che si occludano favorendo il deposito del materiale a monte. A fronte di tali considerazioni e la presenza di numerosi centri abitati e colture nelle immediate vicinanze del rio è lecito escludere che un evento dovuto a fenomeni di pioggia intensa possa provocare la movimentazione di materiale solido come trasporto di fondo, ma bensì al massimo in frazione di trasporto in sospensione nel fondovalle.

La roggia di Calavino a valle dell'omonimo paese da cui prende il nome percorre, prima di sfociare nel lago di Toblino, la roggia dei Canevai caratterizzata da numerosi tratti in roccia e profonde vasche (Steep and pools), come si osserva in Figura 27. In questo tratto la roggia assume le sembianze di un torrente naturale con sezione variabile fino a 4-5 m. In tale zona non si sono osservate erosioni dell'alveo o zone di forte deposito a conferma di quanto descritto in precedenza. Inoltre, la presenza di roccia affiorante fa pensare che durante gli anni di vita del torrente questo abbiamo scavato la forra anche per la mancanza di apporto solido da monte fino a raggiungere gli strati inerodibili in roccia.

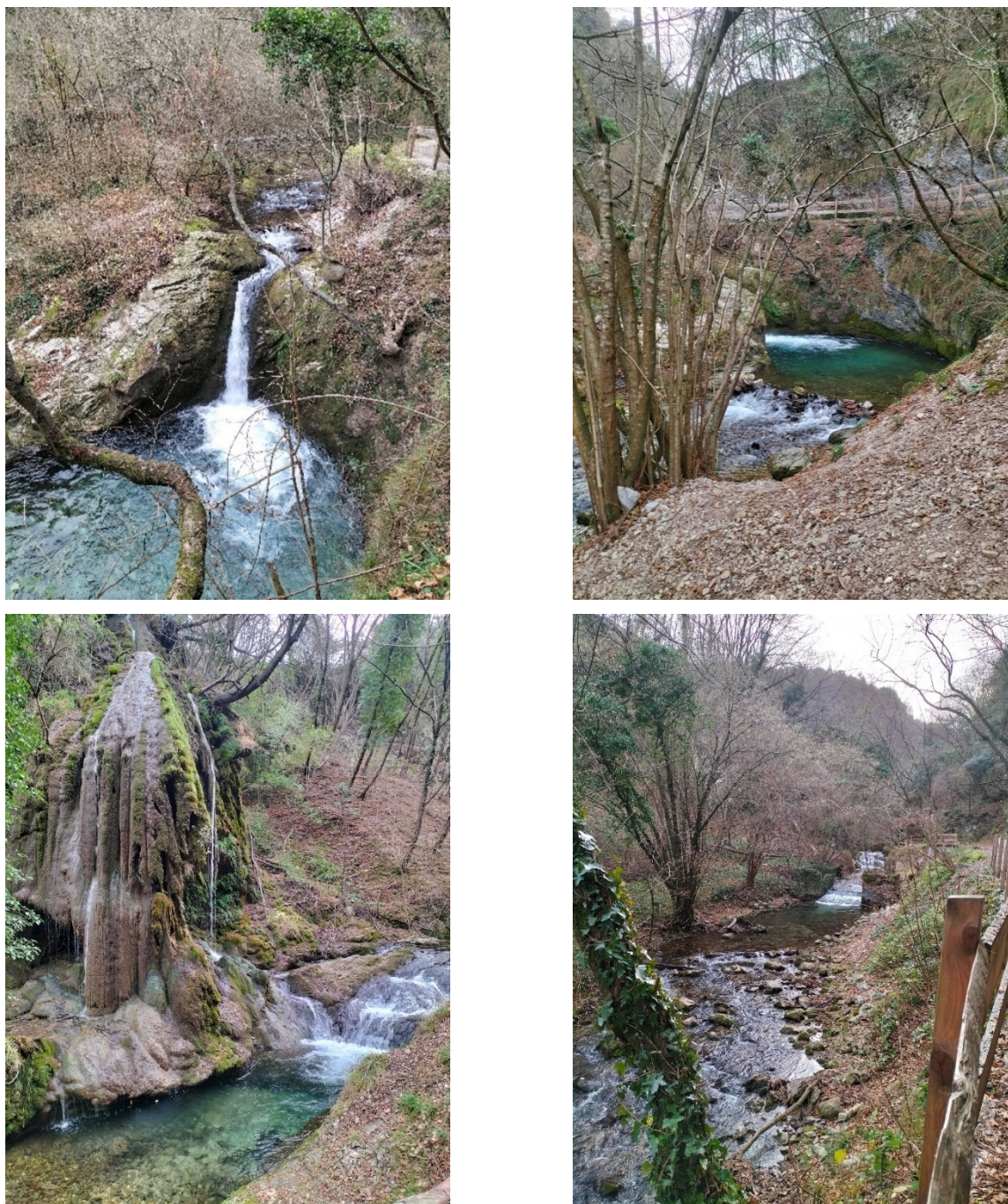


Figura 27 Roggia di Calavino o rio Freddo nel tratto che attraversa la forra dei Canevai

L'ultimo tratto presenta un attraversamento (Figura 28) che per eventi caratterizzati da portate di piena importanti è stato considerato occluso a favore di sicurezza; a valle di questo la roggia presenta forma di nuovo regolare con argini in muratura fino a terminare nel lago.



Figura 28 Roggia di Calavino nel tratto terminale prima di sfociare nel Lago di Toblino

Sulla base delle considerazioni appena riportate si ritiene opportuno considerare un evento di onda di piena liquida e trascurare l'eventuale contributo di portata solida in quanto irrisorio sia per le caratteristiche morfologiche e geologiche del tratto in forra e del tratto fortemente regimato di monte (cunettone e tratti tombinati che scorrono perlopiù paralleli alla viabilità e zone agricole).

7.3 MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE EVENTO DI PIENA

Noto l'idrogramma di portata liquido, al fine di perimetrare le aree soggette a pericolosità alluvionale è necessario condurre una modellazione idraulica nella roggia di Calavino nell'area in analisi. A tale scopo, è stato impiegato il programma di calcolo HEC-RAS v. 5.0.3 sviluppato da US Army Corps of Engineers che risolve sia le equazioni di diffusione dell'onda in 2D che le equazioni complete del Saint-Venant. 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 del 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. Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare step temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce

un miglioramento in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.

Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturati o non strutturati. Ciò significa che le celle computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni diverse delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono. Le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella della maglia computazionale è pre-elaborata per sviluppare dei grafici dettagliati sulle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione di HEC. Inoltre, ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale dove vengono le variabili che descrivono le proprietà idrauliche. Il flusso si muove in tutta la faccia (tra le celle) basandosi su questi dati. Questo permette l'utilizzo di celle molto grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.

Per la costruzione della griglia di calcolo il software integra l'interfaccia grafica Ras Mapper, che a partire dal modello digitale del terreno ricava la 2DFlow Area sul dominio preventivamente delimitato dall'utente. Attraverso la creazione di break line è possibile orientare il posizionamento delle celle di calcolo in corrispondenza, ad esempio, di argini, per descrivere in modo più fedele l'andamento del terreno e le sue discontinuità.

In tale modellazione idraulica è stato utilizzato il Lidar fornito dalla Provincia Autonoma di Trento del 2014 con risoluzione 0.5x0.5 m, mentre la risoluzione della mesh è stata raffinata in funzione del grado di approfondimento necessario per lo studio del sito, in particolare:

- Alveo e rilevato stradale della SS45Bis risoluzione a 0.5 m;
- sito oggetto di intervento risoluzione pari a 1 m;
- laghi di Santa Massenza e Toblino risoluzione pari a 10 m;
- restanti celle del dominio a risoluzione di 2 m.

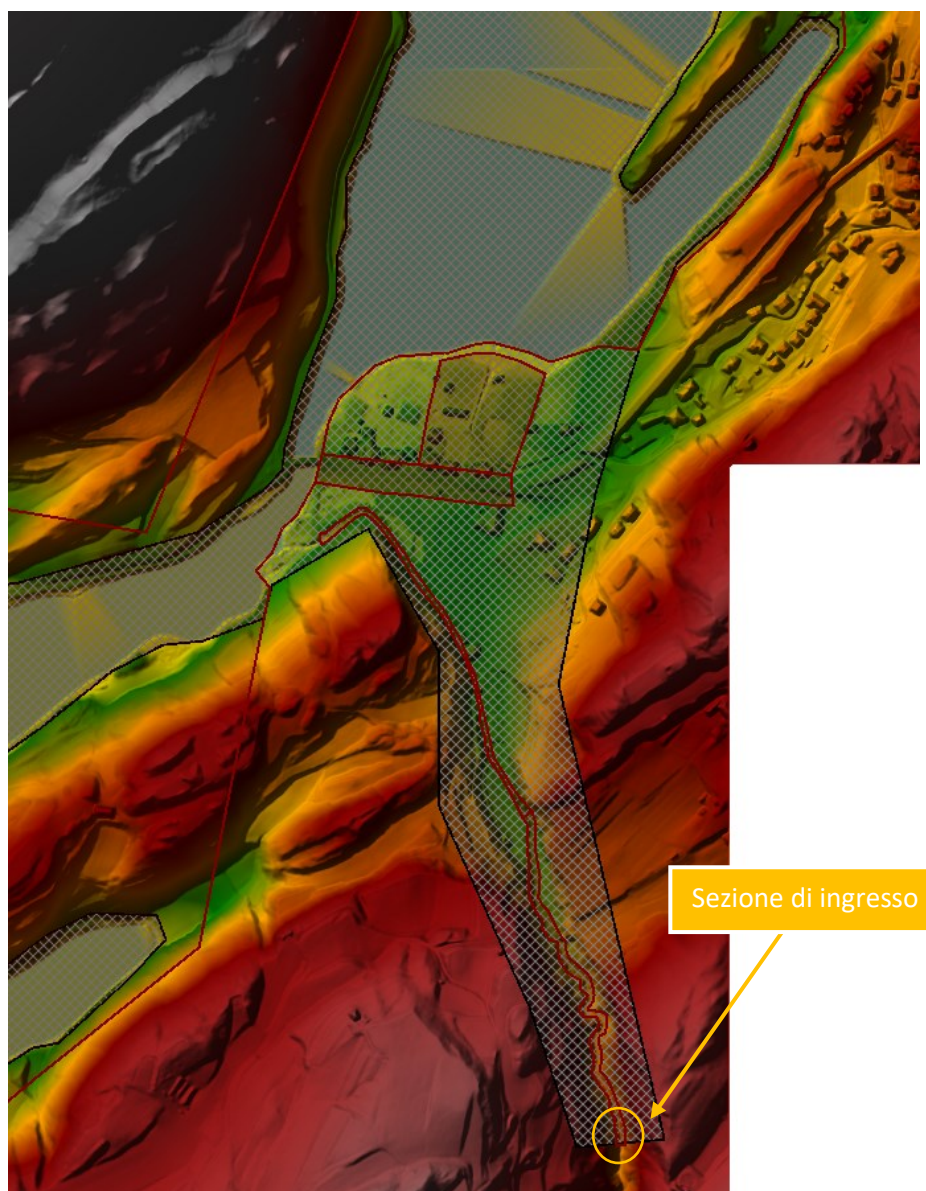


Figura 29 Dominio di calcolo utilizzato per la modellazione idraulica

Le condizioni al contorno assunte riguardano:

- l'idrogramma della portata rilasciata nel dominio 2D in corrispondenza della sezione di ingresso posta nella forra. Tale scelta nasce dalla necessità di individuare eventuali zone di esondazione e in particolare di considerare l'attraversamento presente occluso e analizzare se il deflusso è in grado di allagare l'area oggetto di intervento;
- la condizione di valle è stata imposta lungo tutto il perimetro dei Laghi. Tale condizione è necessaria per considerare l'immissione della roggia nel lago senza che questa alteri significativamente il livello dello stesso ed analizzare eventuali fenomeni di rigurgito a monte lungo il canale stesso in prossimità della foce.

Di fondamentale importanza in questo studio è da considerare la condizione iniziale, ovvero la quota media che assumono i Laghi di Santa Massenza e Toblino, serbatoi finali del fenomeno. Questi serbatoi naturali,

grazie alla presenza di un sistema complesso a cascata di impianti idroelettrici, come la centrale di Santa Massenza e di Cavedine sono dotati di organi di regolazione del livello idrico (con valore minimo e massimo fissato in funzione della produzione delle centrali); il livello dei laghi è regimato dal Canale Rimone collocato a Sud del lago di Toblino che collega quest'ultimo con il lago di Cavedine in grado di veicolare circa 90 m³/s di portata. Con tale configurazione idraulica si può ipotizzare una quota del lago che rimane inalterata durante eventi che coinvolgono la roggia oggetto del presente studio. In tale elaborato si è fissata la quota del lago a 245.5 m s.l.m. pari circa il valore medio tra la quota massima e la minima prevista.

Altro parametro di forte importanza è dato dalla scabrezza del terreno e dell'alveo. I valori da attribuire a ciascun uso del suolo sono stati presi in riferimento a quanto riportato nella tabella V.3.9 della Parte V del PGUAP. In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** si riportano i valori di Manning utilizzati in unione della tipologia di suolo.

Scabrezza al fondo - Manning	
<i>Alveo in forra</i>	<i>n = 0.045</i>
<i>Bosco</i>	<i>n = 0.060</i>
<i>Alveo a valle</i>	<i>n = 0.030</i>
<i>Aree coltivate</i>	<i>n = 0.040</i>
<i>Aree prato</i>	<i>n = 0.035</i>
<i>Aree urbanizzate</i>	<i>n = 0.015</i>
<i>Lago</i>	<i>n = 0.022</i>

Tabella 6 Valori di scabrezza, coefficiente di Manning utilizzato per la modellazione in HEC-RAS

In Figura 30 si riporta la mappa della scabrezza utilizzata nella modellazione HEC-RAS.

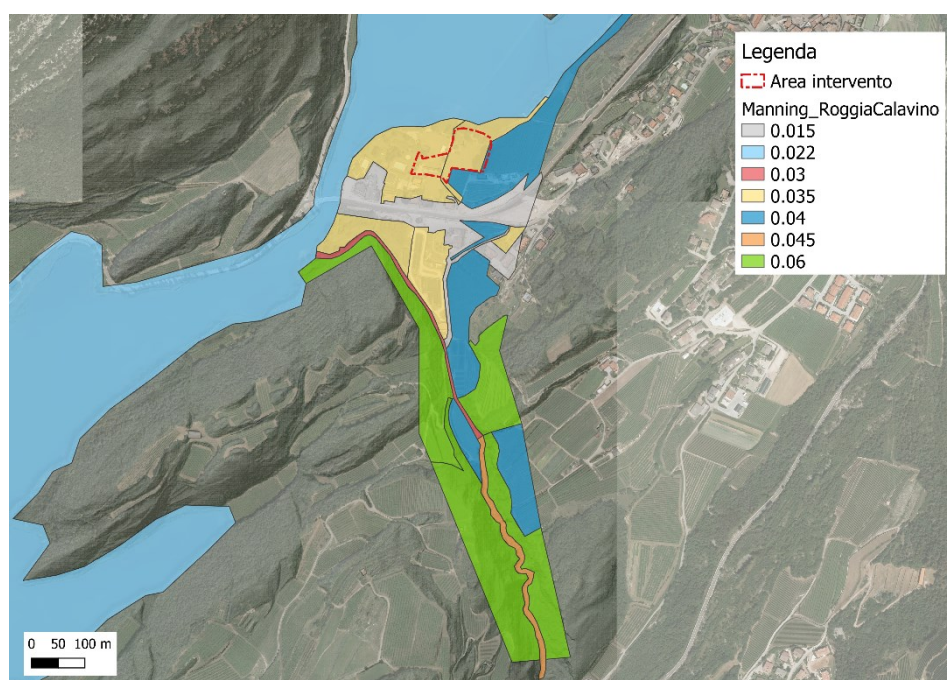


Figura 30 Valori del coefficiente di scabrezza di Manning per lo studio della roggia di Calavino

Il software utilizzato per la modellazione bidimensionale in HEC-RAS non permette la modellazione in termini di trasporto solido e quindi non considera l'eventuale porzione di territorio in erosione e deposito.

L'area oggetto di intervento è caratterizzata da pendenze ridotte, inferiori all'1%, pertanto la capacità di trasporto della corrente in tale tratto subisce una notevole riduzione. Si può quindi ipotizzare che la modellazione idraulica a fondo fisso sia rappresentativa dell'evento reale. Pertanto, nella sezione di ingresso si è inserito l'idrogramma di piena liquida riportato nel paragrafo 7.1 per ciascun tempo di ritorno.

Nei paragrafi successivi vengono riportati i risultati ottenuti, per ciascun tempo di ritorno in analisi (30, 100 e 200 anni) di un evento di piena liquida sulla roggia di Calavino.

7.3.1 Tr 30 anni

In Figura 31 e Figura 32 vengono riportati i valori di tirante e velocità massima ottenuti dalla modellazione idraulica.

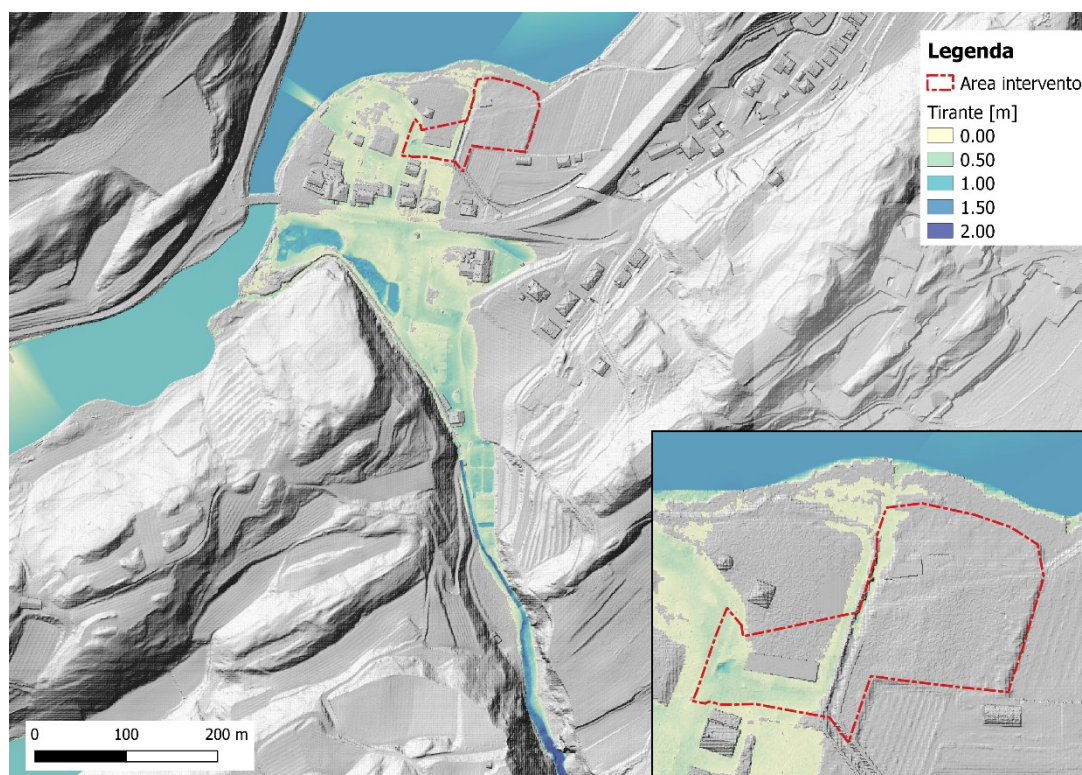


Figura 31 Tirante massimo per un evento corrispondente a Tr 30 anni

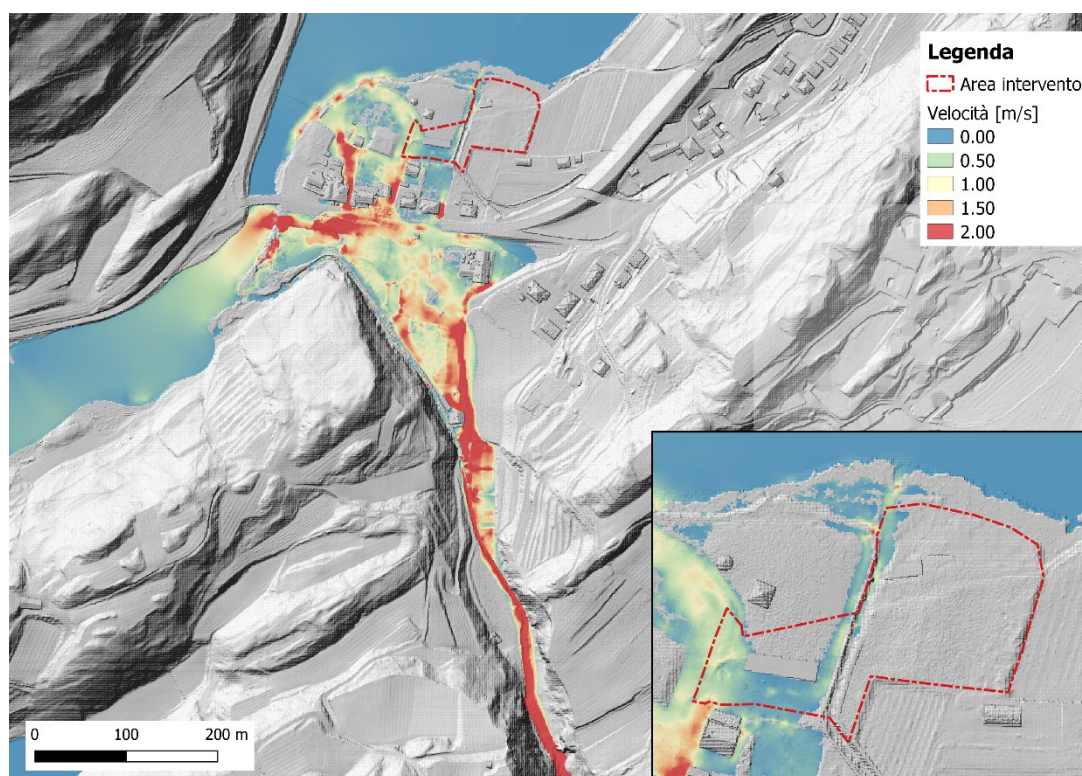


Figura 32 Velocità massima del flusso per un evento corrispondente a Tr 30 anni

7.3.2 Tr 100 anni

In Figura 33 e Figura 34 vengono riportati i valori di tirante e velocità massima ottenuti dalla modellazione idraulica.

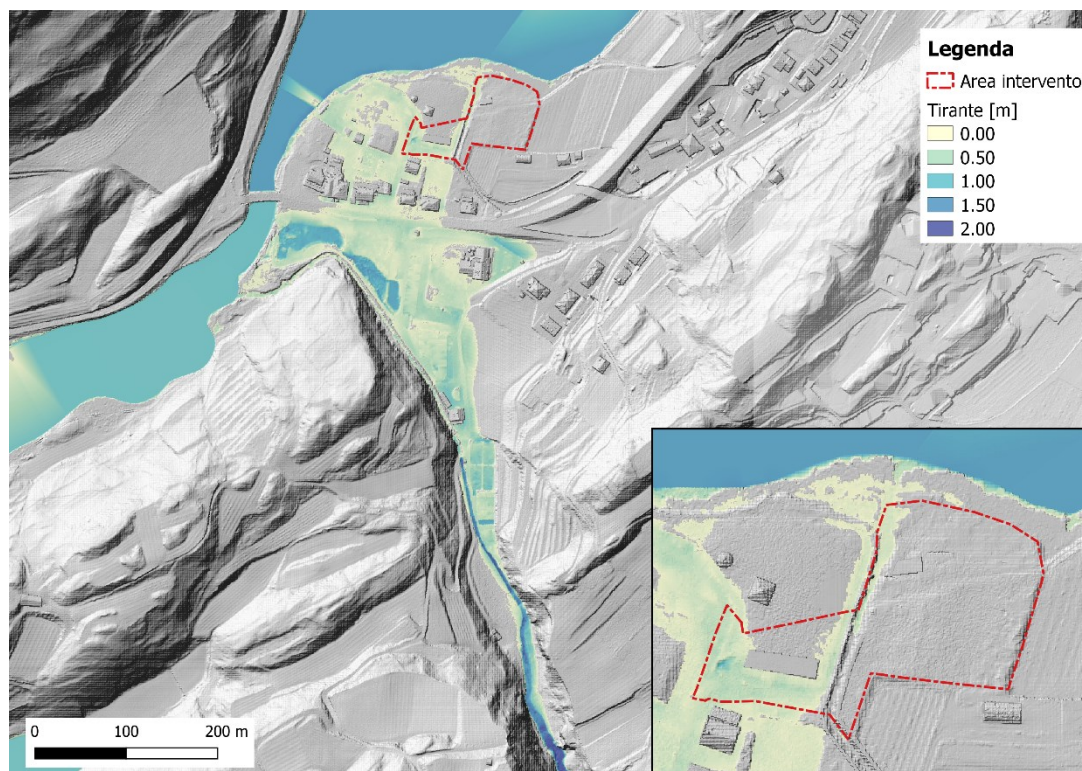


Figura 33 Tirante massimo per un evento corrispondente a Tr 100 anni

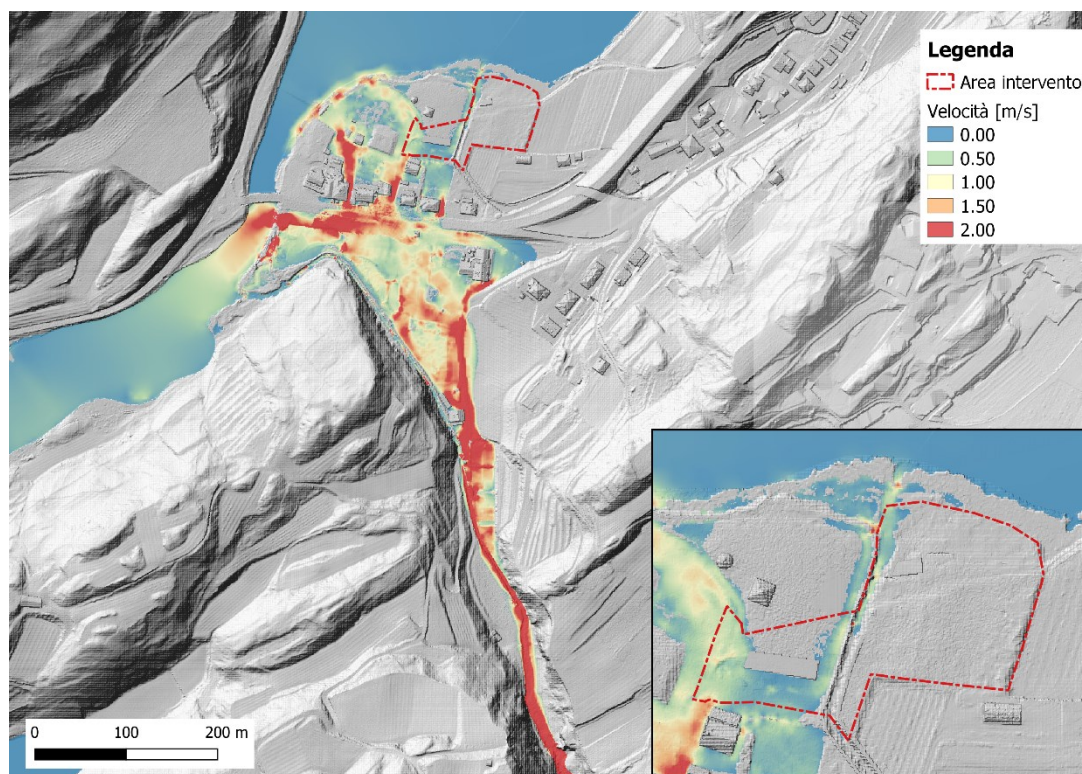


Figura 34 Velocità massima del flusso per un evento corrispondente a Tr 100 anni

7.3.3 Tr 200 anni

In Figura 35 e Figura 36 vengono riportati i valori di tirante e velocità massima ottenuti dalla modellazione idraulica.

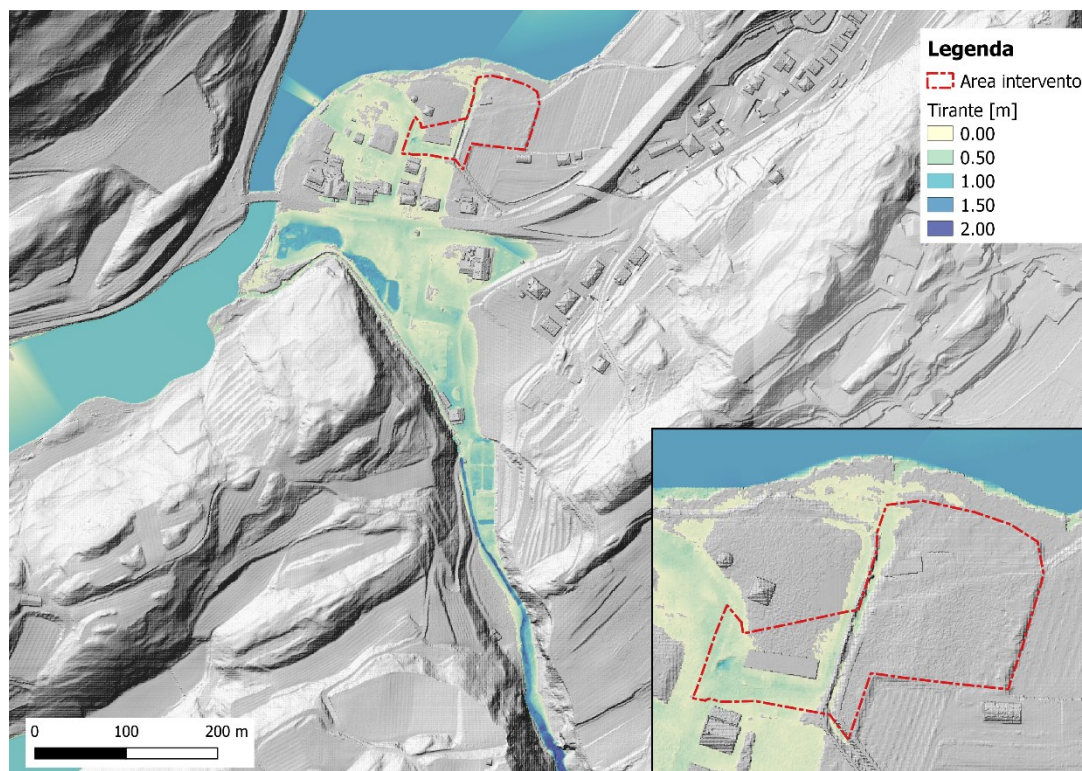


Figura 35 Tirante massimo per un evento corrispondente a Tr 200 anni

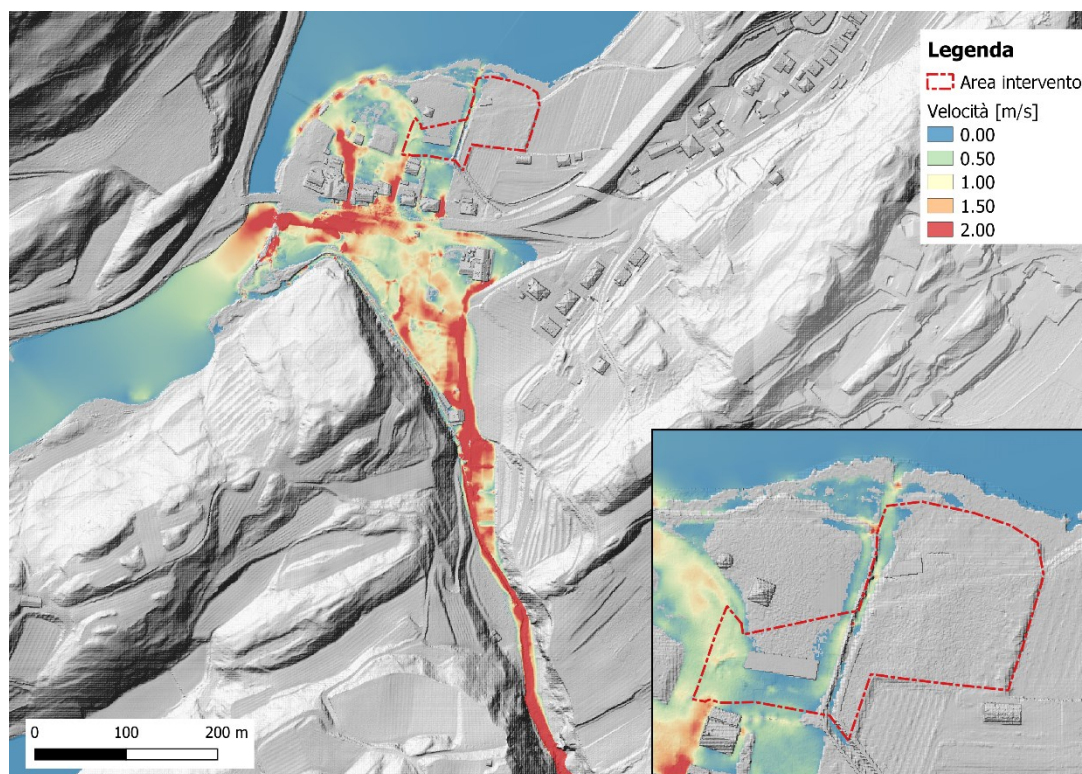


Figura 36 Velocità massima del flusso per un evento corrispondente a Tr 200 anni

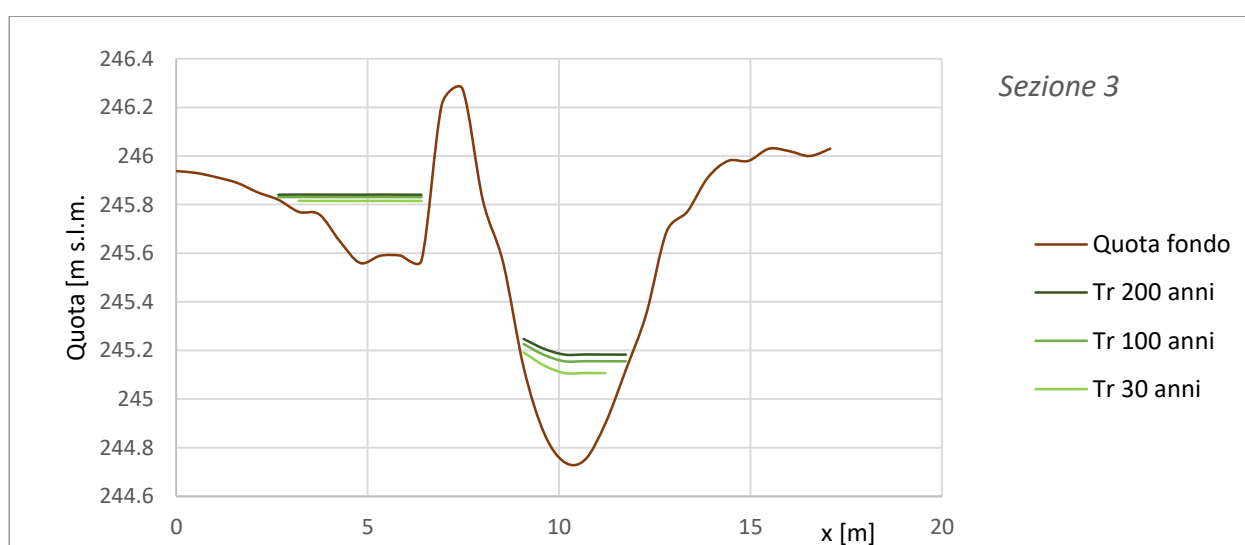
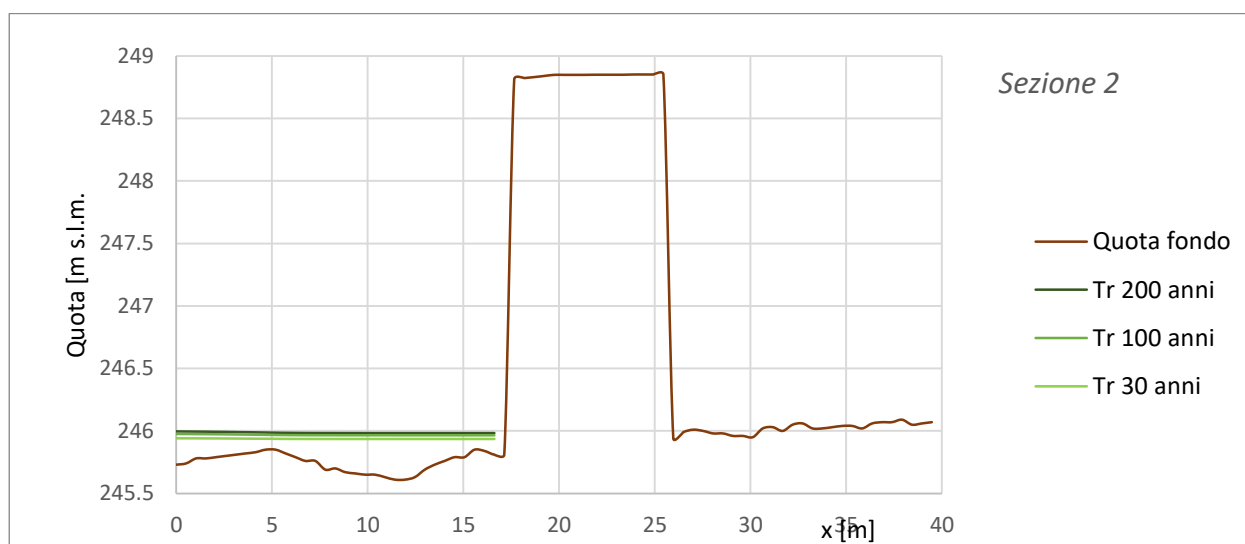
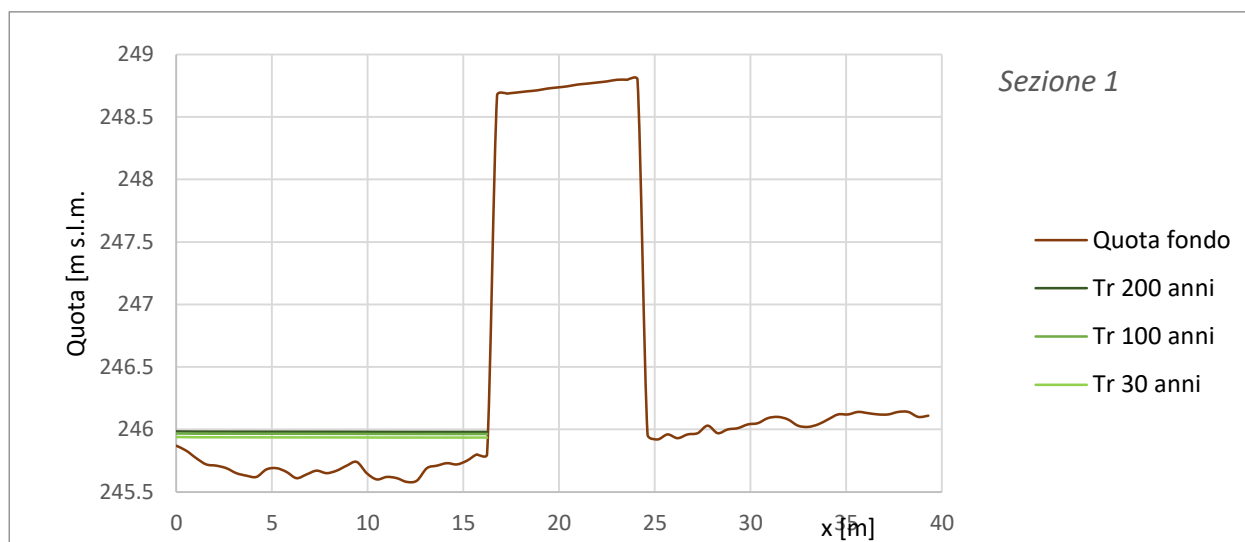
I risultati della modellazione bidimensionale hanno evidenziato, per ciascun tempo di ritorno:

- esondazione della roggia di Calavino in prossimità dell'attraversamento a quota (251 m s.l.m. circa) a causa dello stesso ed al restringimento di sezione rispetto al tratto di alveo naturale nella forra dei Canevai;
- si ha in parte sormonto del ponte e rientro parziale del flusso nella roggia che si immette nel Lago di Toblino, mentre una buona quota parte defluisce lungo la strada presente allagando in parte le aree di piscicoltura presenti e la pizzeria posta in sinistra alla SS45Bis;
- Il flusso viene deviato lungo la strada principale grazie al rilevato a protezione della pizzeria fino al suo ingresso; da qui la strada non presenta ostacoli al libero deflusso dell'onda di piena, la quale attraversa la strada e si infila tra le case allagando parzialmente la zona di intervento ed in particolare quella relativa alla realizzazione del nuovo padiglione. In tale zona si raggiungono valori massimi della quota della superficie libera a tergo della struttura pari a circa **246 m s.l.m.**;
- La zona dedicata al parcheggio non è interessata dal fenomeno studiato;
- Livelli maggiori di tirante si osservano a monte del nuovo padiglione previsto a progetto, con valori massimi mai superiori a 0.5 m in termini di tirante e 0.5 m/s di velocità. Il flusso aggira la struttura e prosegue verso valle. La presenza di una scogliera di circa 60-70 cm di altezza funge da argine sinistro per la roggia di Padergnone che non viene interessata dal flusso proveniente dal rio Freddo. Solo nel tratto dell'immissione nel Lago, laddove viene a mancare la scogliera il flusso converge allargandosi senza mai raggiungere il nuovo Chiosco. Si sottolinea tuttavia come il livello all'interno del percorso Kneipp si alzi con probabili danni allo stesso.

Di seguito si riportano alcune sezioni critiche dell'area di studio e i valori della superficie libera raggiunta.



Figura 37 Sezioni critiche nel sito di intervento



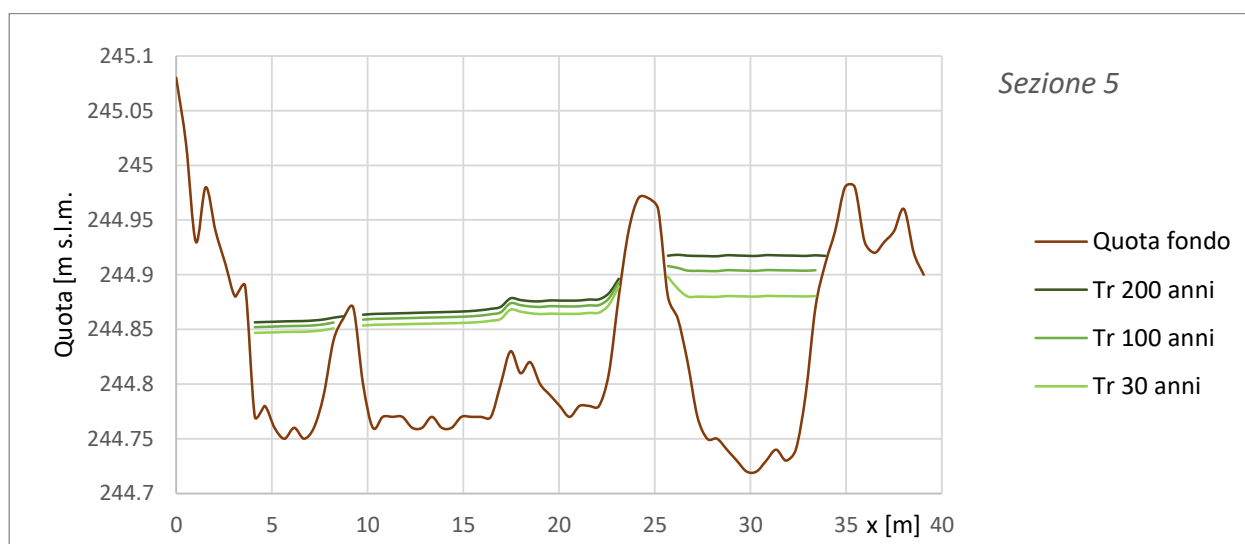
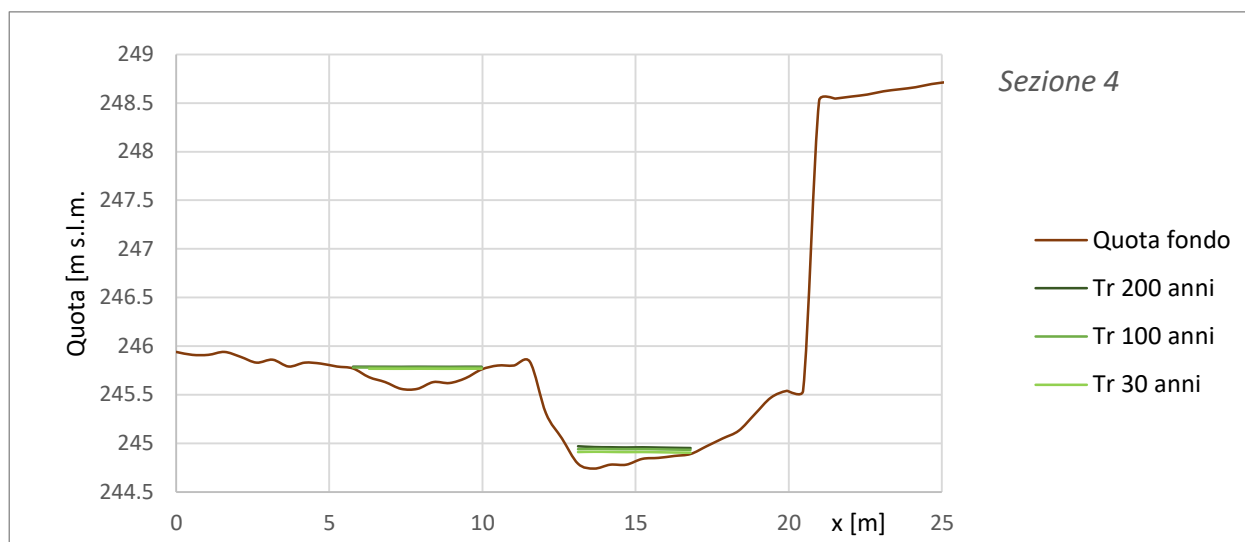


Figura 38 Sezioni critiche e valore massimo della superficie libera per ciascun tempo di ritorno legato all'evento di piena della roggia di Calavino

L'esondazione della roggia di Calavino e l'allagamento della zona in oggetto di tale analisi comportano situazioni di criticità associate a fenomeni di onda di piena che possono creare situazioni di pericolo. Tale aspetto verrà analizzato nel dettaglio nel capitolo dedicato alla mappatura del pericolo mediante la nuova Carta della Pericolosità sulla base dei risultati della modellazione ottenuti e sulla normativa vigente.

8 ROGGIA DI PADERGNONE: Bacino idrografico

Il sito oggetto di intervento è, nel tratto finale, attraversato dalla roggia di Padergnone o tratto di monte del Canale Rimone. Tale rio spezza di fatto in due la zona di intervento che verrà collegata sfruttando una passerella esistente e costruendone una nuova per garantire la fruibilità del parco Kneipp e del nuovo padiglione multifunzionale dal nuovo parcheggio previsto.

Dal punto di vista idrogeologico la roggia di Padergnone si sviluppa interamente nel comune di Valledaghi in senso contrario alla roggia di Calavino descritta nei paragrafi precedenti; l'orientamento è di tipo N - S e raccoglie le acque della Valle dei Laghi, in particolare lungo il tratto che si estende da Covelo a Padergnone.

La roggia nasce dalle sorgenti di una piccola valle che scorre trasversalmente alla SS45Bis e che collega quest'ultima a Covelo in direzione Nord. Nel canale confluiscono anche il rio Vagina che nasce a monte della frazione di Covelo ed il rio Castin a valle del paese di Vezzano.

Il rio Vagina raccoglie le acque del versante sud del Monte Gaza, ma di fatto dal sopralluogo fatto e dall'analisi dell'idrografia della PAT non risultano presenti segni di alveo inciso, tanto che nel paese di Covelo è identificato come tratto fittizio (Figura 39). Tale aspetto è da considerare nella determinazione della portata di picco.



Figura 39 A sinistra il rio Vagina a valle della località di Covelo; a destra la roggia di Padergnone in Località Naran a valle della confluenza

A valle la roggia prosegue in direzione ovest fino a Vezzano parallelamente alla viabilità stradale e ciclabile presente.



Figura 40 Roggia di Padergnone lunga la SS45Bis a monte di Vezzano a sinistra e roggia di Padergnone nel paese di Vezzano a destra

Il rio Castin raccoglie anch'esso le acque del versante Sud del Monte Gaza ed è il bacino parallelo al rio Vagina; questo attraversa prima località Ciago e successivamente il centro di Vezzano mediante tratto tombato. A valle di questo, dove sorgono i primi capannoni della zona industriale del loco si ha la confluenza tra la roggia di Padergnone e il rio Castin. Questa scorre in direzione Sud con sezione completamente regimata e sistemazione a cunetta attraverso prati coltivati fino a raggiungere la località di Padergnone.



Figura 41 Confluenza tombata del rio Castin e della roggia di Padergnone lungo la SS45Bis a valle di Vezzano

Quest'ultima è anch'essa caratterizzata da lunghi tratti tombati della roggia che torna a cielo aperto solamente a valle della frazione.

Si sottolinea che la parte più a valle del paese di Padergnone è contraddistinta da tratti a cielo aperto e tratti tombati. In Figura 42 si riporta il tratto a monte del centro abitato che presenta tratti tombati a causa della viabilità e tratti a cielo aperto.



Figura 42 Tratti tombati e a cielo aperto del canale Rimone lungo il paese di Padergnone

Il tratto terminale è contraddistinto da un attraversamento mediante scatolare in calcestruzzo che attraversa la SS45Bis e tratto canalizzato fino a sfociare nel lago di Santa Massenza.



Figura 43 Tratto di valle della roggia di Padergnone. A sinistra lo scatolare sottostante la SS45Bis, mentre a destra l'ultimo tratto prima dell'immissione nel lago di Santa Massenza

Analogamente a quanto esposto per la roggia di Calavino, al fine di identificare eventuali condizioni di pericolosità in relazione ad eventi di piena sulla roggia di Padergnone è necessario identificare il bacino idrografico che contribuisce alla formazione del picco di piena.

La trattazione teorica è la medesima di quella esposta per l'altra roggia studiata in tale studio; pertanto, di seguito vengono riportati solo i risultati principali e si rimanda ai paragrafi precedenti per maggiori dettagli.

A partire dal DTM dell'area di studio ricampionato ad una risoluzione di 7X7m sono state eseguite le classiche operazioni di analisi GIS finalizzate alla perimetrazione dei confini dei sottobacini idrologici e si sono ottenute:

- la mappa delle direzioni di drenaggio (Figura 44) che indica, per ogni porzione di suolo considerato, verso quale direzione si orienta l'acqua nella sua discesa verso valle, è inoltre necessaria per la successiva estrazione del reticolo idrografico;

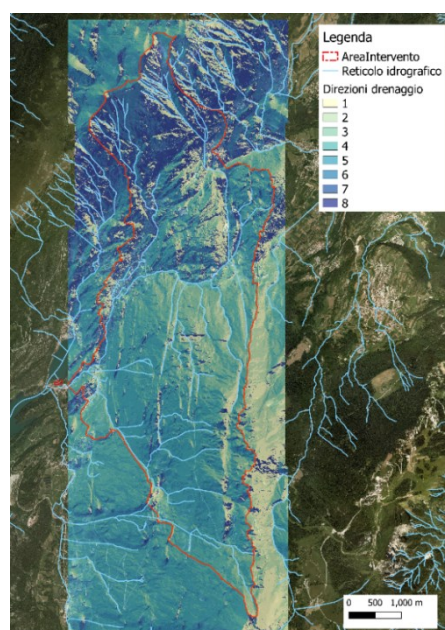


Figura 44 la mappa delle direzioni di drenaggio dell'area in esame calcolata con il GIS JGrass

- la mappa delle aree totali contribuenti (Figura 45) che rappresenta per ogni cella, il totale espresso in numero di celle presenti a monte e che drenano nella porzione di suolo considerata;

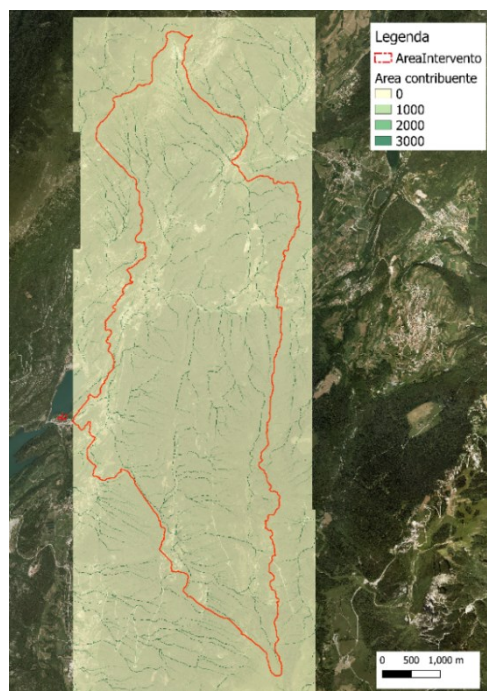


Figura 45 la mappa delle aree contribuenti totali sull'area di studio espressa in forma logaritmica per poter apprezzare la variabilità dei valori nelle celle

- la mappa raster di prima approssimazione della rete idrografica ottenuta scegliendo un valore di soglia di area contribuyente totale per ogni cella al fine di differenziare le aree classificate come versante da quelle classificate come canale (Figura 46);

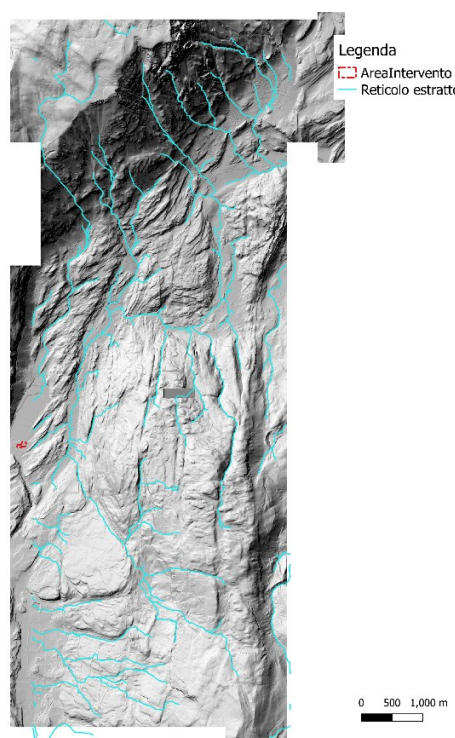


Figura 46 Mappa del reticolo idrografico

- la mappa vettoriale contenente il punto che identifica la sezione di chiusura del bacino (Figura 47).

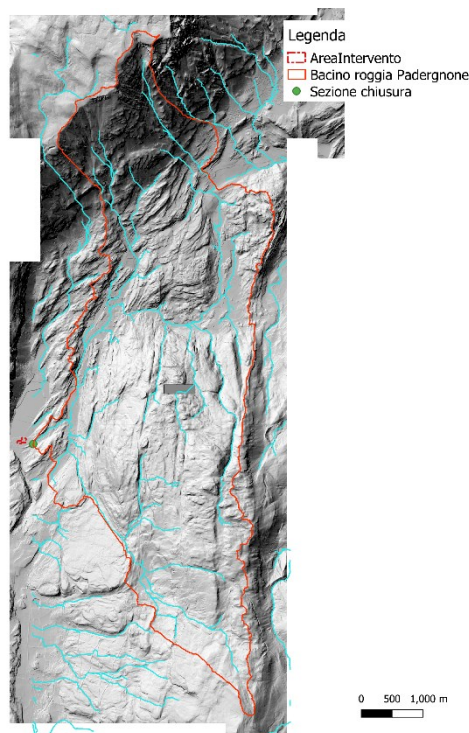


Figura 47 Sezione di chiusura del bacino della roggia di Padergnone

In particolare, quest'ultima viene realizzata sotto la completa supervisione dell'utente in quanto le sezioni di chiusura vengono scelte in corrispondenza dei pixel canale della mappa raster della rete idrografica. Si noti che in alcune aree di fondovalle il DTM non risulta sufficientemente rappresentativo del reale andamento planimetrico del corso d'acqua e le procedure di estrazione della rete producono mappe non coerenti nei tratti a pendenza prossima allo zero. Di conseguenza, nella scelta delle coordinate delle sezioni di chiusura è necessario prediligere i punti in corrispondenza di un tratto di alveo reale, guidando tale scelta mediante l'uso di ortofotocarte. In questo caso la scelta della sezione di chiusura è stata imposta a monte delle particelle oggetto di analisi di compatibilità a quota di circa 250.7 m s.l.m., in questo modo si ottiene, mediante analisi idrologica la portata di picco che compete al tratto di roggia di valle. In Tabella 6 vengono riportate le caratteristiche principali del bacino identificato e dell'asta principale del reticolo idrografico.

Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Il bacino della roggia di Padergnone si può dividere in cinque tratti omogenei, escludendo i tratti di versante del rio Vagina e rio Castin che contribuiscono alla formazione del picco di piena. Il primo tratto da dove nasce la roggia fino a monte di Vezzano è caratterizzato da pendenze ridotte (1-3%); queste aumentano (10-11%) in prossimità del centro abitato in quanto quest'ultimo si trova a quote inferiori; proseguendo verso valle la roggia riprende pendenze tipiche del fondovalle (1-2%) fino all'altezza della confluenza con il rio Castin. Nel tratto che collega Padergnone con la confluenza data la morfologia del territorio le pendenze aumentano (circa 11-12%) scorrendo lungo prati e campi agricoli, fino ad arrivare nel centro abitato di Padergnone che ormai non si trova a quote molto maggiori rispetto al lago di Santa Massenza, punto in cui la roggia sfocia. Infatti, nel tratto in paese di Padergnone, almeno lungo i tratti

a cielo aperto le pendenze del rio si attestano attorno a 1-2% fino a ridursi progressivamente alla quota del Lago.

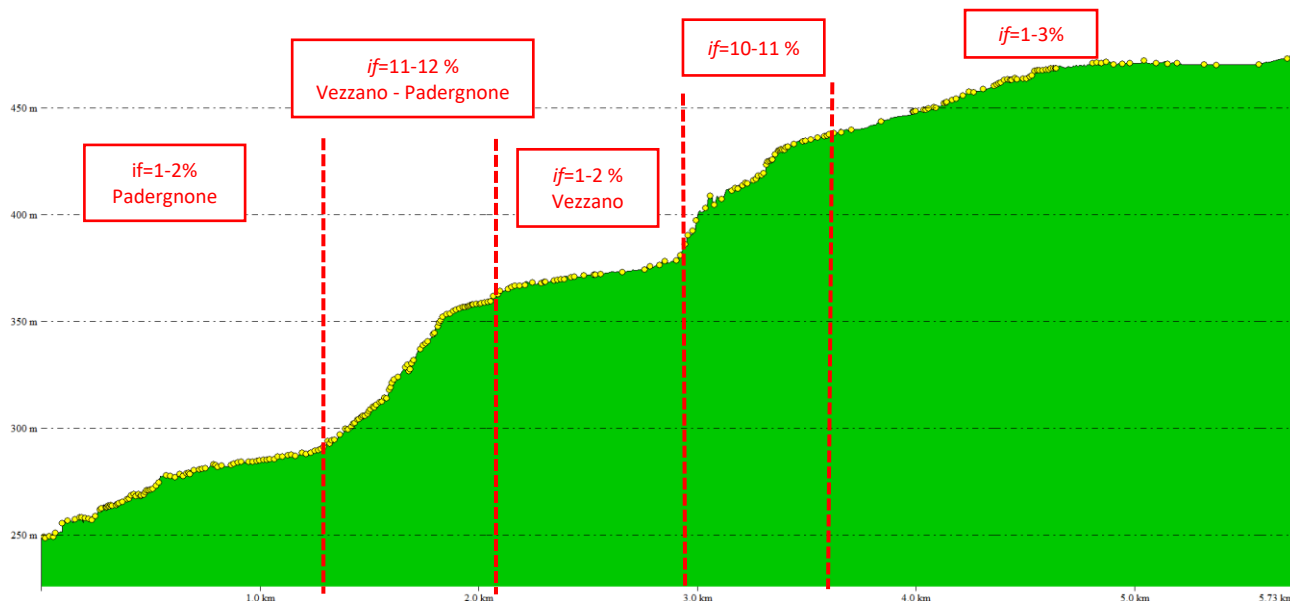


Figura 48 Profilo longitudinale dell'asta principale della roggia di Padergnone o Canale di Rimone

8.1 CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA

In tale capitolo verrà descritto il calcolo degli idrogrammi di piena in relazione agli assegnati tempi di ritorno. Per tale trattazione è stato utilizzato JGrass e nello specifico il modello Peakflow.

I parametri idrologici utilizzati sono i medesimi utilizzati per la roggia di Calavino date le simili caratteristiche morfologiche dei due bacini.

La trattazione è la medesima utilizzata per la roggia di Calavino, pertanto si rimanda al paragrafo 7.1 e 7.1.2 per maggiori dettagli circa il modello geomorfologico utilizzato.

8.2 Calcolo della portata di massima piena con JGrass

A seguito dell'analisi geologica-geomorfologica, validata anche da sopralluoghi effettuati in situ, si è scelta la sezione di chiusura del bacino attorno ai 251.7 m s.l.m., ovvero in una sezione a monte dell'area oggetto di intervento, laddove è stata individuata la sezione critica della roggia per una possibile esondazione, in particolare a monte dello scatolare che attraversa la SS45Bis. In questo modo è possibile determinare l'idrogramma della portata di massima piena per i tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni che transita nell'alveo in adiacenza all'area oggetto di trasformazione urbanistica.

Anche in questo caso, nonostante il bacino presenti numerosi tratti tombati che attraversano i numerosi centri abitati della valle, a favore di sicurezza si è deciso di considerare l'intera area come contribuente alla formazione del colmo di piena. Tuttavia, i tratti tombati rappresentano una sezione critica al normale deflusso dell'onda di piena con possibili esondazioni a monte degli stessi, contribuendo di fatto alla laminazione del picco in caso di alveo completamente a cielo aperto. Per considerare tale fenomeno ci si è

basati sulla taratura del modello andando a modificare i parametri idraulici che governano l'analisi idrologica in modo da allungare l'evento e ridurre l'intensità. Infine, c'è da precisare come, anche nel caso di esondazione a monte, il deflusso, per caratteristiche morfologiche della Valle potrebbe rientrare totalmente in alveo.

Il calcolo del picco di piena è stato eseguito utilizzando un modello geomorfologico semidistribuito e fisicamente basato adatto a riprodurre la risposta del bacino a scala di evento. Tale modello, Peakflow, è integrato nel GIS JGRASS e permette di determinare l'idrogramma di piena nella sezione di chiusura, relativamente all'evento considerato.

8.2.1 Il modello Peakflow

Il modello Peakflow calcola la portata aggregando i deflussi precedentemente separati in superficiali e subsuperficiali sulla base della saturazione del terreno. L'ipotesi di base è che le sole aree sature contribuiscano al deflusso superficiale, mentre quelle insature contribuiscono al deflusso subsuperficiale, generalmente più lento. La trattazione geomorfologica consente di differenziare, punto per punto nel bacino, sia il tipo di deflusso (superficiale e subsuperficiale) che il tempo necessario all'acqua per raggiungere la sezione di uscita e contribuire al picco di piena. Tale approccio è implementato attraverso il calcolo della funzione di ampiezza, ovvero la distribuzione dei tempi di residenza del bacino considerato.

8.2.2 Input necessari al modello

Al fine di generare un'idrogramma di piena nella sezione di chiusura del bacino è necessaria la determinazione, in primo luogo, il valore di saturazione iniziale del terreno. In analogia a quanto riportato per il rio Freddo si è ipotizzata una percentuale di saturazione iniziale pari al 15%. Con tale assunzione è possibile scindere le zone sature da quelle insature mediante l'utilizzo dell'indice topografico, che descrive la tendenza di un pixel a saturarsi in funzione della pendenza locale e dell'estensione dell'area a monte in esso drenante. Su questa mappa di indice topografico, corretta rispetto alle aree pianeggianti, viene svolta un'analisi statistica per determinare la distribuzione dell'indice topografico rispetto alle celle del bacino e la relativa probabilità cumulata. Sul relativo grafico, riportato in Figura 49, in corrispondenza del valore complementare a 100 della percentuale di saturazione fissata (ovvero 85%, se si è ipotizzata una percentuale di saturazione pari al 15%), si legge, sull'asse delle ascisse, il valore di indice topografico. Tutte le celle del bacino aventi valore di indice topografico superiore al valore così determinato sono, secondo le ipotesi fatte, saturi e contribuiscono al deflusso superficiale.

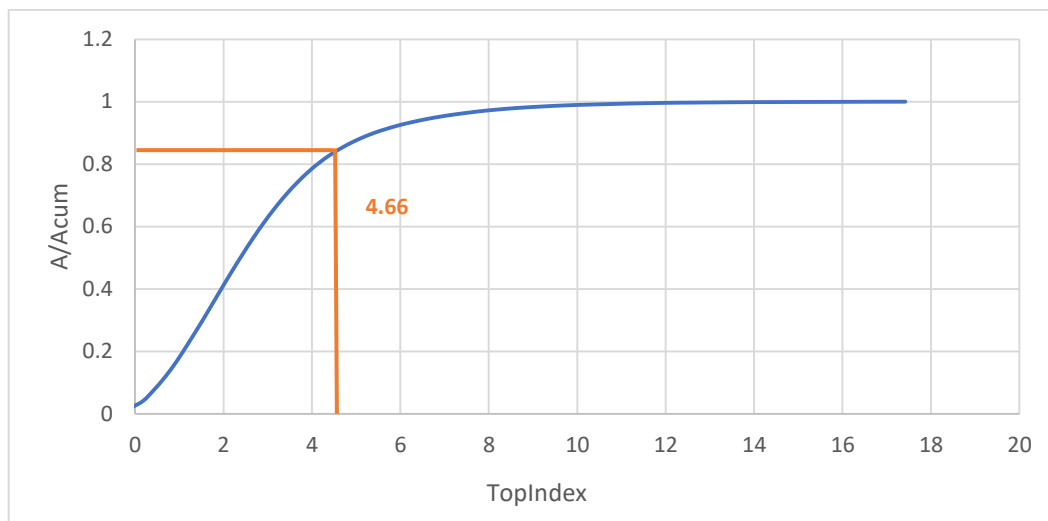


Figura 49 Frequenza cumulata dell'indice topografico calcolato sul bacino della roggia di Padergnone

Relativamente al bacino della roggia di Padergnone sono state fatte numerose prove con percentuali di saturazione diverse, e alla fine si è ipotizzato uno scenario con saturazione iniziale pari al 15%, a cui corrisponde un unico valore di soglia di indice topografico per l'intero bacino pari a 4.66. La scelta della percentuale di saturazione del bacino costituisce l'unico parametro del modello che richiede la sensibilità nella sua stima. Tale parametro è stato utilizzato per calibrare l'onda di piena in modo da ottenere valori sia in termini di durata dell'evento che di portata massima compatibili con la roggia in analisi e le sue caratteristiche. In Figura 50 viene riportata la mappa dell'indice topografico evidenziando le aree sature da quello non sature.

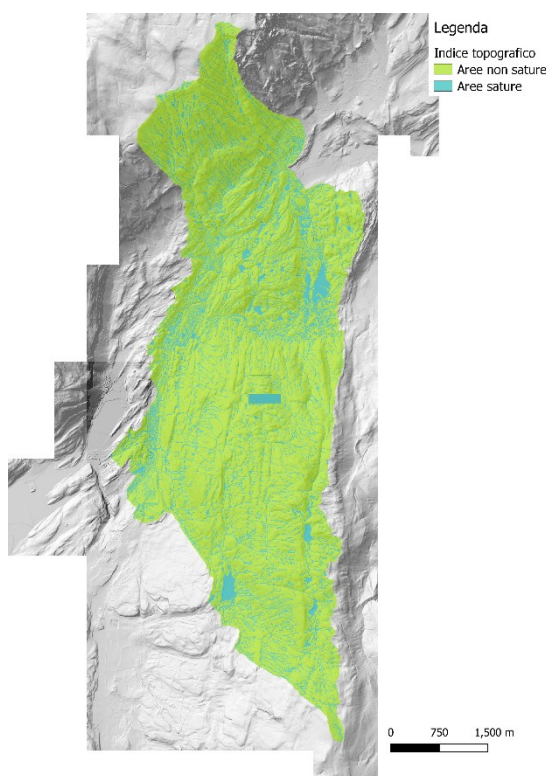


Figura 50 Indice Topografico del bacino della roggia di Calavino

Il calcolo delle distanze riscalate relativamente ai siti saturi ed insaturi è funzionale al calcolo della funzione d'ampiezza. Questa descrive la distribuzione di probabilità delle distanze di ogni singola cella dalla sezione di chiusura, misurate lungo i vari percorsi di drenaggio (versante + canale). Anche in questo caso il parametro r che permette di differenziare il tempo di risposta dei versanti dal tempo di risposta dei canali, è ipotizzato prevalentemente superficiale, utilizza valori di r dell'ordine di 20, mentre per le zone non sature, dove il deflusso è prevalentemente subsuperficiale, r è dell'ordine 100.

La suddivisione del bacino in aree sature ed insature viene svolto applicando un filtro sulle celle il cui valore di indice topografico risulta superiore alla soglia di saturazione fissata.

In Figura 51, si riportano le mappe delle distanze riscalate rispettivamente, per il deflusso superficiale (relative alle sole porzioni sature) e quello subsuperficiale (delle sole porzioni non sature) relative ad una saturazione del bacino del 15%.

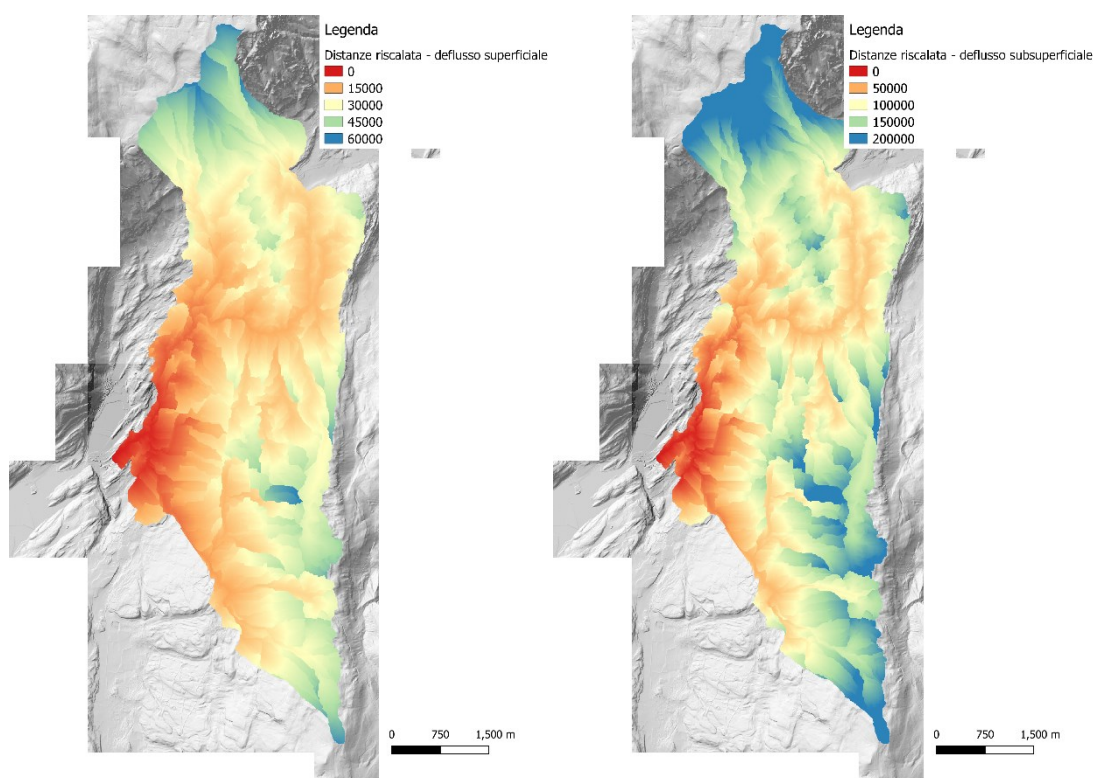


Figura 51 Mappa della distanza riscalata per il deflusso superficiale della roggia, $r=20$ (a sinistra) e per il deflusso subsuperficiale $r=100$ (a destra), relative ad una saturazione del sottobacino pari al 20%

8.2.3 I parametri del modello

I parametri idraulici permettono di definire in maniera mediata per il bacino la velocità dell'acqua nei canali e le caratteristiche del moto dell'onda di piena. Per il sottobacino in esame sono state eseguite numerose prove considerando velocità medie comprese tra 1 e 2 m/s e coefficienti di dispersione idrodinamica variabili tra 100 e 1000 m²/s. Al termine di queste prove effettuate su tutti i sottobacini dell'intera area di studio si è

deciso di utilizzare un valore comune pari a 2 m/s per quanto riguarda la velocità media dell'acqua all'interno della rete dell'intero bacino e 1000 m²/s per il coefficiente di dispersione idrodinamica. La scelta di un valore comune per tutta l'area di studio è dettata dal fatto che non è stato possibile utilizzare dei valori misurati per la taratura dei suddetti parametri, e dal fatto che la geomorfologia dei vari sottobacini analizzati è simile.

In Tabella 3 vengono riassunti i principali parametri utilizzati nel modello PeakFlow.

Parametri modello Peakflow	
<i>Velocità media nel canale</i>	2 m/s
<i>Coefficiente di dispersione idrodinamica</i>	1000 m ² /s
<i>Saturazione del terreno</i>	15 %

Tabella 7 Parametri utilizzati nel modello Peakflow

I parametri delle curve di possibilità pluviometrica a (funzione dello spazio e del tempo di ritorno) e n (funzione solo dello spazio) relativi all'intera area di studio sono ricavati tramite l'analisi statistica delle precipitazioni e seguono l'equazione:

$$h = a \cdot t^n$$

La PAT ha reso disponibili le mappe su una griglia regolare dei dati spazialmente distribuiti del coefficiente pluviometrico a , dell'esponente n e del coefficiente di variazione globale V relative alle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica distribuite sull'intero territorio provinciale.

Mediante un processo di interpolazione spaziale effettuato attraverso il modello dell'Ordinary Kriging si sono ricavati i parametri delle L.S.P.P. utilizzati nella stima dell'idrogramma di piena per tre tempi di ritorno.

	a	n
<i>Tr= 30 anni</i>	34	0.361
<i>Tr=100 anni</i>	39.8	0.361
<i>Tr=200 anni</i>	43.1	0.361

Tabella 8 Parametri delle L.S.P.P. del rio

8.2.4 Calcolo della portata liquida di picco

Come descritto in precedenza, grazie della morfologia e ai sopralluoghi effettuati, la reale area che contribuisce alla formazione del picco di piena è quella identificata posizionando la sezione di chiusura a monte dell'area oggetto di intervento. L'idrogramma di piena calcolato verrà utilizzato nelle successive modellazione e per la realizzazione della carta della pericolosità.

Utilizzando i parametri descritti nei paragrafi precedenti, sono state condotte diverse simulazioni con il modello *Peakflow* che hanno dato origine agli idrogrammi di piena, riportati per i vari tempi di ritorno.

I valori relativi alla portata massima rilevata in funzione dei diversi tempi di ritorno, il tempo di picco dell'evento, la durata della pioggia tale da determinare il picco, il grado di saturazione del bacino imbrifero utilizzato e il coefficiente udometrico sono riportati in Tabella 9 Tabella 5.

Tr [anni]	Saturazione [%]	Ql [m ³ /s]	Area [km ²]	Coefficiente Udometrico [m ³ /s/km ²]	Tpicco [h]
30	15	24.09	23.00	1.05	6.67
100	15	28.20	23.00	1.23	6.67
200	15	30.54	23.00	1.33	6.67

Tabella 9 Risultati della portata di picco per differenti tempi di ritorno per la roggia di Padergnone

Come si osserva nella precedente tabella, le portate di picco oscillano tra valori di 24 m³/s e 30 m³/s per tempi di ritorno rispettivamente di 30, 100 e 200 anni. Il tempo di picco è nell'ordine di poco più di 6 ore e trenta, mentre il coefficiente udometrico, che esprime la portata per unità di superficie, è compreso tra 1-1.30 m³/s/km², che rappresentano risposte idrologiche del bacino lente. Tali valori possono essere considerati coerenti con la morfologia del bacino della roggia (in analogia ai risultati ottenuti per la roggia di Calavino), caratterizzato da ridotte pendenze e da molteplici tratti tombinati che attraversano i paesi della valle che in occasione di fenomeni di precipitazione estrema possono occludersi e di fatto rallentare l'onda di piena in termini temporali e di intensità.

In Figura 52 viene rappresentato l'idrogramma di piena liquido ottenuto mediante il modello Peakflow considerando una saturazione iniziale del terreno pari al 15%, per la parte di bacino idrologico che realmente contribuisce alla formazione del picco di piena.

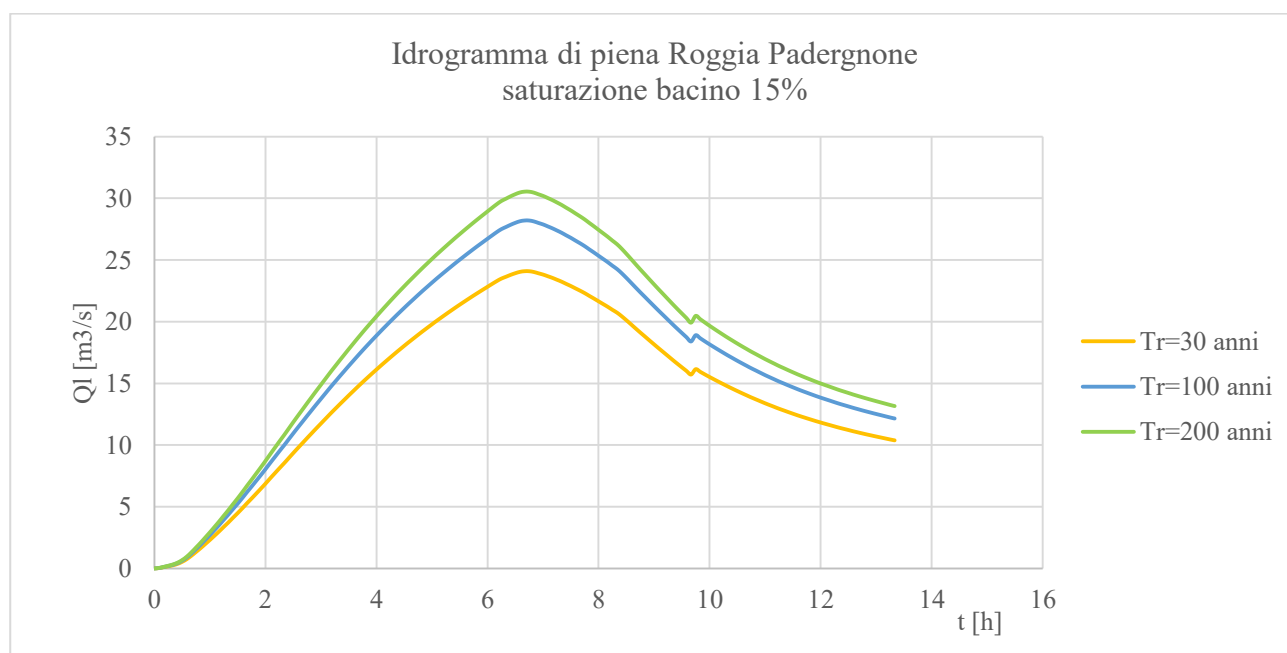


Figura 52 Idrogramma di piena liquida della roggia di Padergnone per differenti tempi di ritorno

Ulteriore elemento utile per l'approfondimento dell'analisi idrologica è la conferma mediante verifica delle sezioni critiche, in particolare sono state rilevate 7 sezioni critiche della roggia di Padergnone nel tratto in paese (Figura 53).

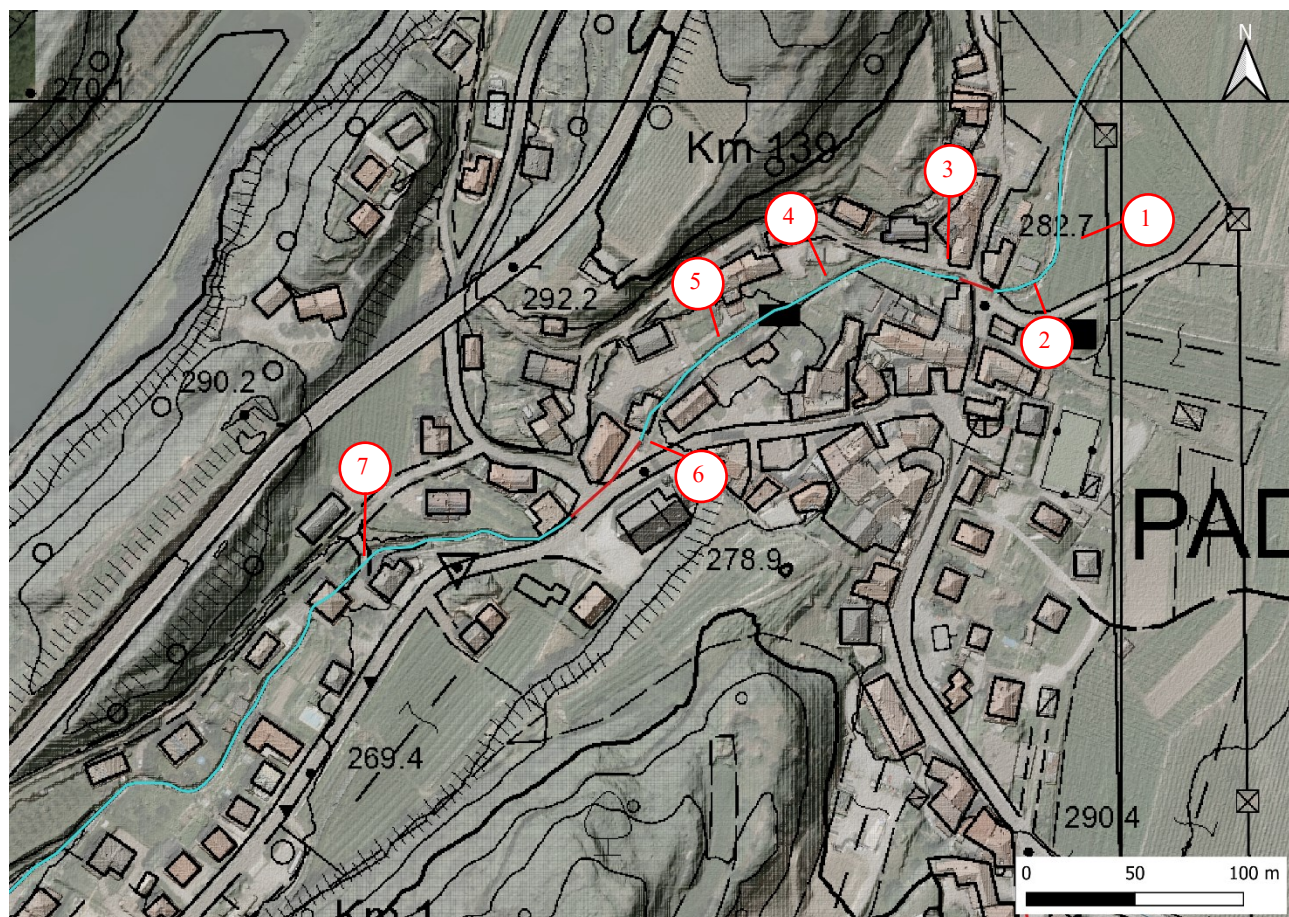


Figura 53 Estratto planimetrico della roggia di Padergnone in centro al paese e sezioni critiche rilevate







Figura 54 Sezioni critiche della roggia di Padergnone in centro al paese

In Tabella 10 si riporta, per ciascuna sezione individuata, le caratteristiche geometriche e la portata massima transitabile.

Tabella 10 Sezioni critiche della roggia di Padergnone in paese e portata massima

N. Sezione	B [m]	H [m]	if	QI [m ³ /s]
1	2.4	1.20	0.02	11.6
2	2.75	1.60	0.01	14.4
3	3.0	1.30	0.02	15.5
4	2.5	1.35	0.025	16
5	1.90	2.0	0.025	18
6	2.50	1.80	0.025	23.2
7	3.2	2.0	0.035	44.3

Come evidenziato nella precedente tabella le sezioni di monte risultano sottostimate rispetto ad un evento trentennale, mentre le sezioni più a valle (in centro al paese) risultano compatibili con questo tipo di evento a supporto della modellazione idrologica effettuata.

8.3 DETERMINAZIONE DEL TIPO DI EVENTO IDROGEOLOGICO E ANALISI DEL TRATTO DI STUDIO

Anche in questo caso, prima di impostare la modellazione bidimensionale è necessario determinare il tipo di evento da simulare: onda di piena liquida, trasporto solido o colata di detriti.

Le caratteristiche topografiche, morfologiche, la configurazione stessa della roggia che è fortemente regolare (sezione rettangolare e/o trapezia) completamente rivestita in pietra, permettono di aspettarsi per la roggia di Padergnone la stessa tipologia di fenomeno della roggia di Calavino precedentemente studiata.

Infatti, dai sopralluoghi effettuati non si sono osservati fenomeni di erosione e/o deposito lungo l'alveo. L'unico apporto di materiale solido può essere attribuito ai torrenti (Vagina e Castin) presenti lungo i versanti che possono trasportare a valle materiale anche in forma di colata di detriti. Tuttavia, il forte cambio di pendenza tra versante e fondovalle ne favorisce il deposito in ciascun tratto conoidale impedendone di fatto il trasporto lungo la roggia. Nel caso remoto in cui vi siano fenomeni di trasporto solido la presenza di numerosi tratti tombati che attraversano il fondovalle (Vezzano e Padergnone) si presentano come sezioni critiche al libero deflusso della portata. Queste, infatti, è più probabile che si occludano favorendo il deposito del materiale a monte. A fronte di tali considerazioni e la presenza dei centri abitati e colture nelle immediate vicinanze del rio che non possono essere considerati come fonte di materiale solido asportabile, è lecito escludere che un evento dovuto a fenomeni di pioggia intensa possa provocare la movimentazione di materiale solido come trasporto di fondo, ma bensì al massimo in frazione di trasporto in sospensione nel fondovalle. Nel tratto a valle del centro di Padergnone, dove si conclude il tratto tombato, il rio attraversa la viabilità (SS45Bis) mediante scatolare in calcestruzzo di larghezza pari a 3m e luce libera pari a 1.30 m.

A valle di questo, la roggia subisce una brusca curva a 90° direzione ovest; qui a protezione dell'edificio presente a nord è stato realizzato un muro di altezza pari a 1.50 m.

Nell'ultimo tratto è presente un leggero cambio di sezione (allargamento localizzato), nel tratto che costeggia lo svincolo di Padergnone. Anche in questo punto non si sono osservati fenomeni di deposito di materiale a sostegno della precedente tesi (assenza di trasporto solido), per poi avere geometria regolare, ovvero larghezza alveo 3 m e sponde regolari in muretti rivestiti in pietra variabili da 1.5 m a 1.8 m.

Nel tratto a valle è presente un attraversamento che per semplicità non è stato considerato in quanto, molto probabilmente non rappresenta la sezione critica del rio, che con tutta probabilità, date le elevate portate in gioco è rappresentata dallo scatolare.





Figura 55 Roggia di Padergnone nel tratto di valle oggetto di studio

Sulla base delle considerazioni appena riportate si ritiene opportuno considerare un evento di onda di piena liquida e trascurare l'eventuale contributo di portata solida in quanto irrisorio sia per le caratteristiche morfologiche e geometriche del tratto fortemente regimato di monte (cunettone e tratti tombinati che scorrono perlopiù in zone agricole e al di sotto dei centri abitati di Vezzano e Padergnone).

8.4 *MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE EVENTO DI PIENA*

Noto l'idrogramma di portata liquido, al fine di perimetrare le aree soggette a pericolosità alluvionale è necessario condurre una modellazione idraulica nella roggia di Padergnone nell'area in analisi. In analogia allo studio relativo alla roggia di Calavino è stato utilizzato il programma di calcolo HEC-RAS v. 5.0.3. Per maggiori dettagli si rimanda al paragrafo 7.3

In tale modellazione idraulica è stato utilizzato il Lidar fornito dalla Provincia Autonoma di Trento del 2014 con risoluzione 0.5x0.5 m, mentre la risoluzione della mesh è stata raffinata in funzione del grado di approfondimento necessario per lo studio del sito, in particolare:

- Alveo della roggia e il piccolo delta, risoluzione a 0.5 m;

- sito oggetto di intervento risoluzione pari a 1 m;
- laghi di Santa Massenza e Toblino risoluzione pari a 10 m;
- restanti celle del dominio a risoluzione di 1 m.

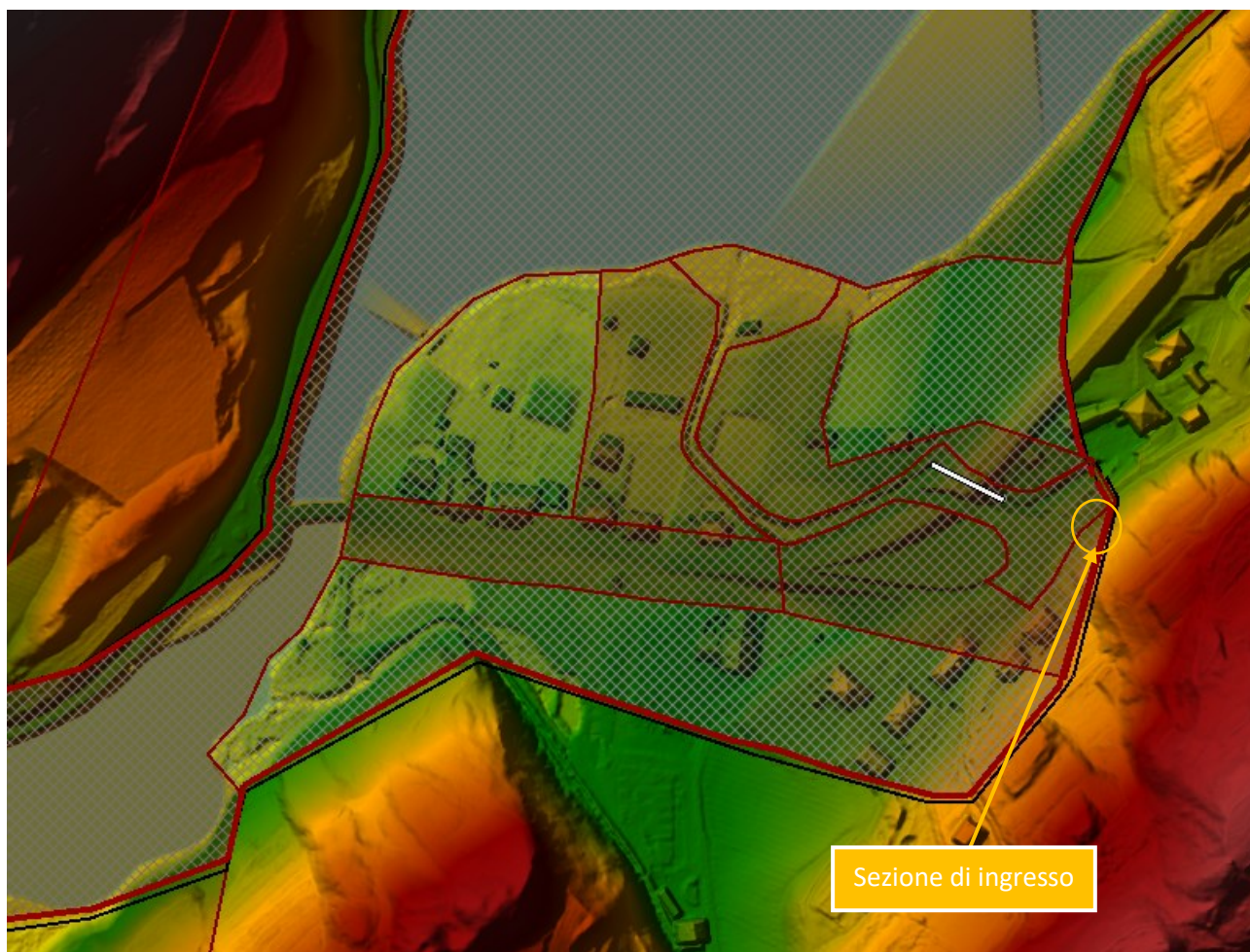


Figura 56 Dominio di calcolo utilizzato per la modellazione idraulica

Come descritto nel paragrafo precedente, poco a valle della sezione di ingresso è presente uno scatolare al di sotto del rilevato stradale. Per avere un risultato che meglio si avvicina alla realtà è stata inserita nel dominio di calcolo tale struttura di geometria nota. In questo modo è possibile determinare se tale opera è insufficiente al transito della portata di picco, e conseguente regime in pressione che si può instaurare all'intero della stessa; inoltre è possibile identificare il comportamento idraulico dell'eventuale quota parte di flusso che potrebbe allagare la strada presente in sinistra idrografica. In Figura 57 si riporta il dettaglio della struttura implementata nel modello 2D.

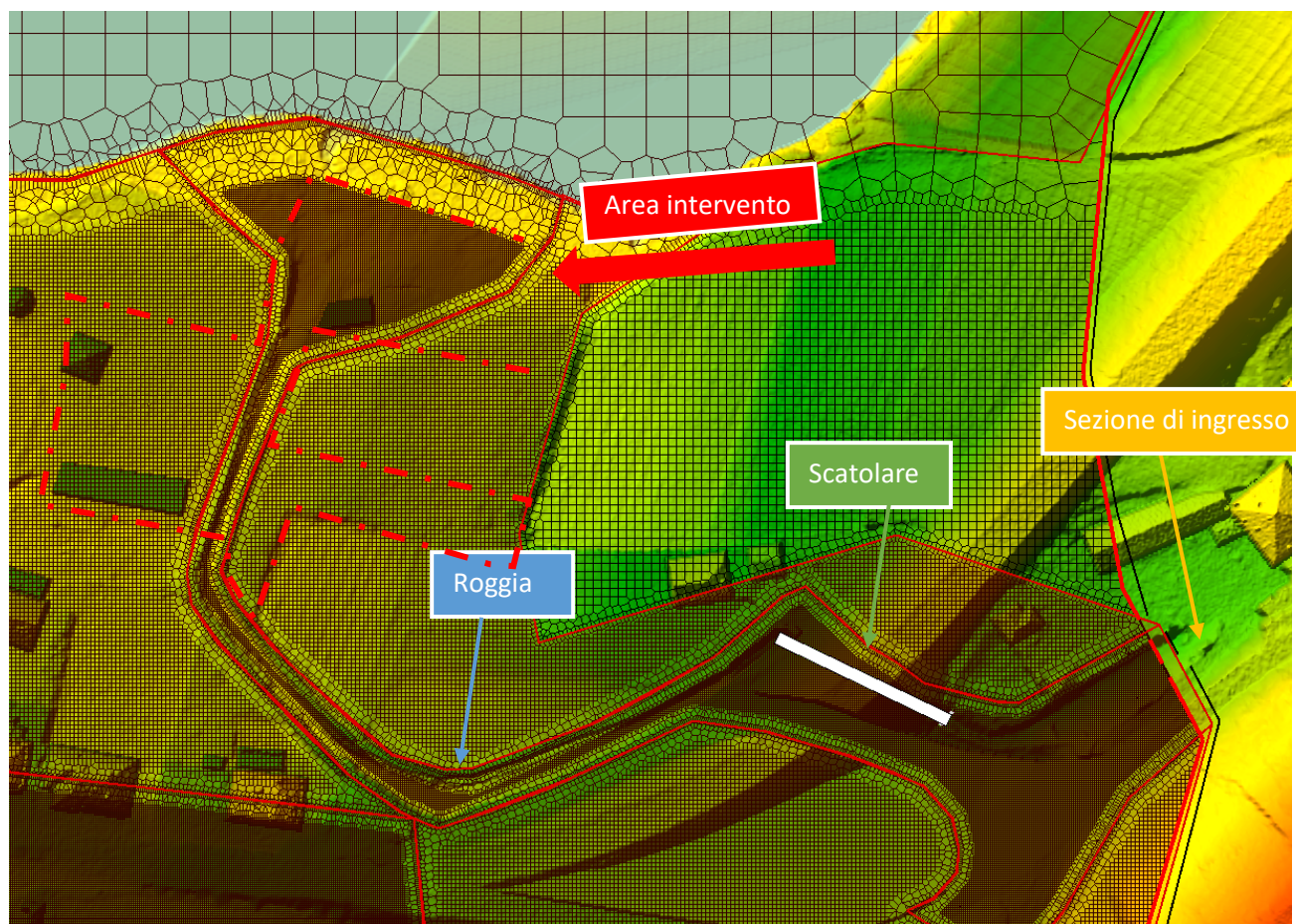


Figura 57 Estratto del dominio di calcolo per l'analisi idraulica della roggia di Padergnone e struttura scatolare

Le condizioni al contorno assunte riguardano:

- l'idrogramma della portata rilasciata nel dominio 2D in corrispondenza della sezione di ingresso posta a valle del tratto tombato del centro abitato di Padergnone. Tale scelta nasce dalla necessità di individuare eventuali zone di esondazione e in particolare di considerare l'attraversamento tramite scatolare e analizzare se il deflusso è in grado di allagare l'area oggetto di intervento;
- la condizione di valle è stata imposta lungo tutto il perimetro dei Laghi. Tale condizione è necessaria per considerare l'immissione della roggia nel lago senza che questa alteri significativamente il livello dello stesso ed analizzare eventuali fenomeni di rigurgito a monte lungo il canale stesso.

Di fondamentale importanza in questo studio è da considerare la condizione iniziale, ovvero la quota media che assumono i Laghi di Santa Massenza e Toblino, serbatoi finali del fenomeno. Questi serbatoi naturali, grazie alla presenza di un sistema complesso a cascata di impianti idroelettrici, come la centrale di Santa Massenza e di Cavedine sono dotati di organi di regolazione del livello idrico (con valore minimo e massimo fissato in funzione della produzione delle centrali); il livello dei laghi è regimato dal Canale Rimone collocato a sud del lago di Toblino che collega quest'ultimo con il lago di Cavedine. Con tale configurazione idraulica si può ipotizzare una quota del lago che rimane inalterata durante eventi che coinvolgono la roggia

oggetto del presente studio. In tale elaborato si è fissata la quota del lago a 245.5 m s.l.m. pari circa il valore medio tra la quota massima e la minima prevista.

Altro parametro di forte importanza è dato dalla scabrezza del terreno e dell'alveo. I valori da attribuire a ciascun uso del suolo sono stati presi in riferimento a quanto riportato nella tabella V.3.9 della Parte V del PGUAP. In Tabella 11 si riportano i valori di Manning utilizzati in funzione della tipologia di suolo.

Tabella 11 Valori di scabrezza, coefficiente di Manning utilizzato per la modellazione in HEC-RAS

Scabrezza al fondo - Manning	
<i>Alveo</i>	<i>$n = 0.030$</i>
<i>Aree coltivate</i>	<i>$n = 0.040$</i>
<i>Aree prato</i>	<i>$n = 0.035$</i>
<i>Aree urbanizzate</i>	<i>$n = 0.015$</i>
<i>Lago</i>	<i>$n = 0.022$</i>

In Figura 58 si riporta la mappa della scabrezza utilizzata nella modellazione HEC-RAS.

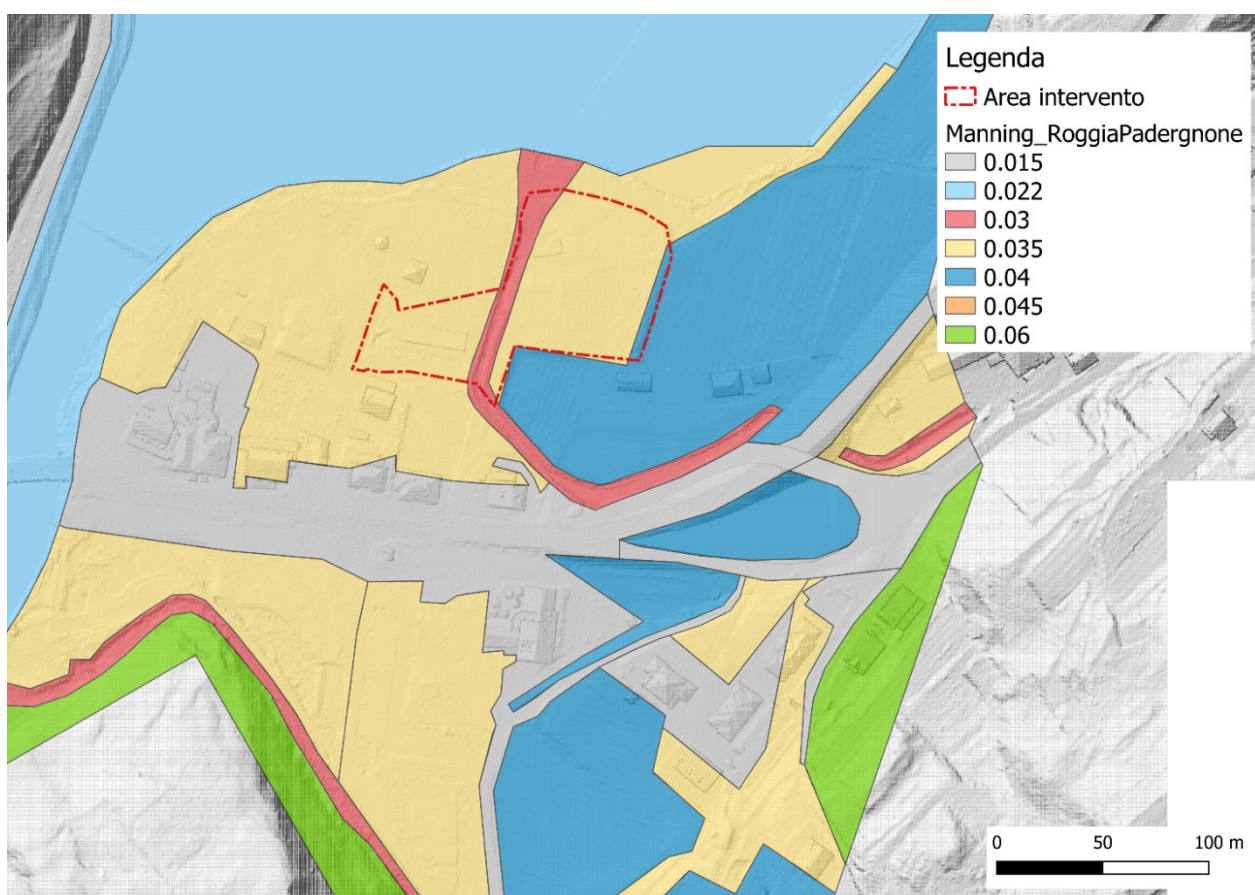


Figura 58 Valori del coefficiente di scabrezza di Manning per lo studio della roggia di Padergnone

Il software utilizzato per la modellazione bidimensionale in HEC-RAS non permette la modellazione in termini di trasporto solido e quindi non considera l'eventuale porzione di territorio in erosione e deposito.

L'area oggetto di variante è caratterizzata da pendenze ridotte, inferiori all'1%, pertanto la capacità di trasporto della corrente in tale tratto subisce una notevole riduzione. Si può quindi ipotizzare che la modellazione idraulica a fondo fisso sia rappresentativa dell'evento reale. Pertanto, nella sezione di ingresso si è inserito l'idrogramma di piena liquida riportato nel paragrafo 8.1 per ciascun tempo di ritorno.

Nei paragrafi successivi vengono riportati i risultati ottenuti, per ciascun tempo di ritorno in analisi (30, 100 e 200 anni) di un evento di piena liquida sulla roggia di Padergnone.

8.4.1 Tr 200 anni

All'interno del dominio di calcolo è stata inserita una struttura di tipo "Culvert" per la modellazione dello scatolare presente. Di seguito vengono riportate alcune mappe rappresentative del fenomeno relativo ad un evento di precipitazione di Tr 200 anni e il relativo funzionamento dell'opera.

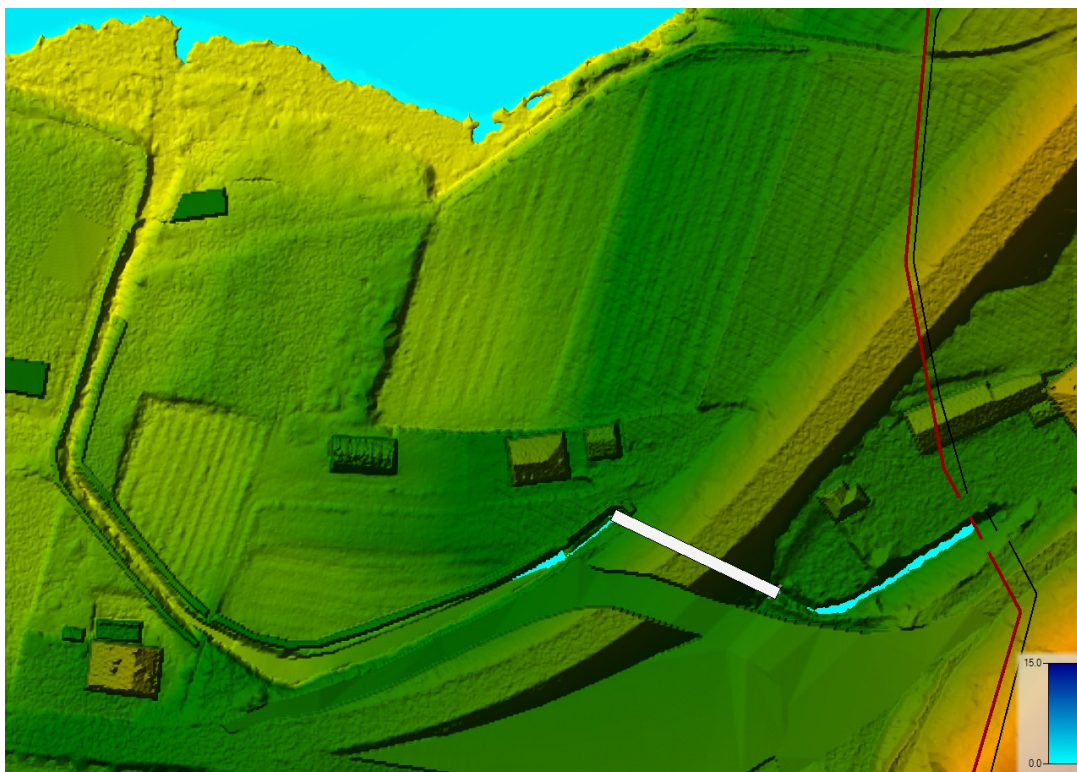


Figura 59 Modellazione bidimensionale in HEC-RAS- Roggia di Padergnone - Evento Tr 200 anni, $t_s=300$ s

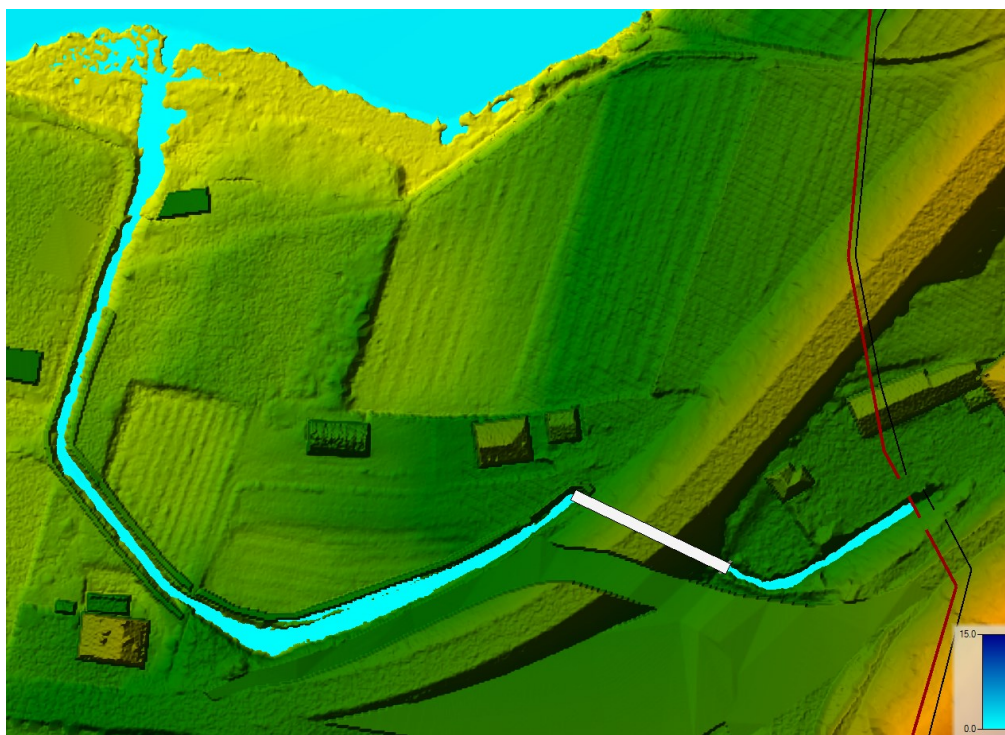


Figura 60 Modellazione bidimensionale in HEC-RAS- Roggia di Padergnone - Evento Tr 200 anni, ts=1500 s

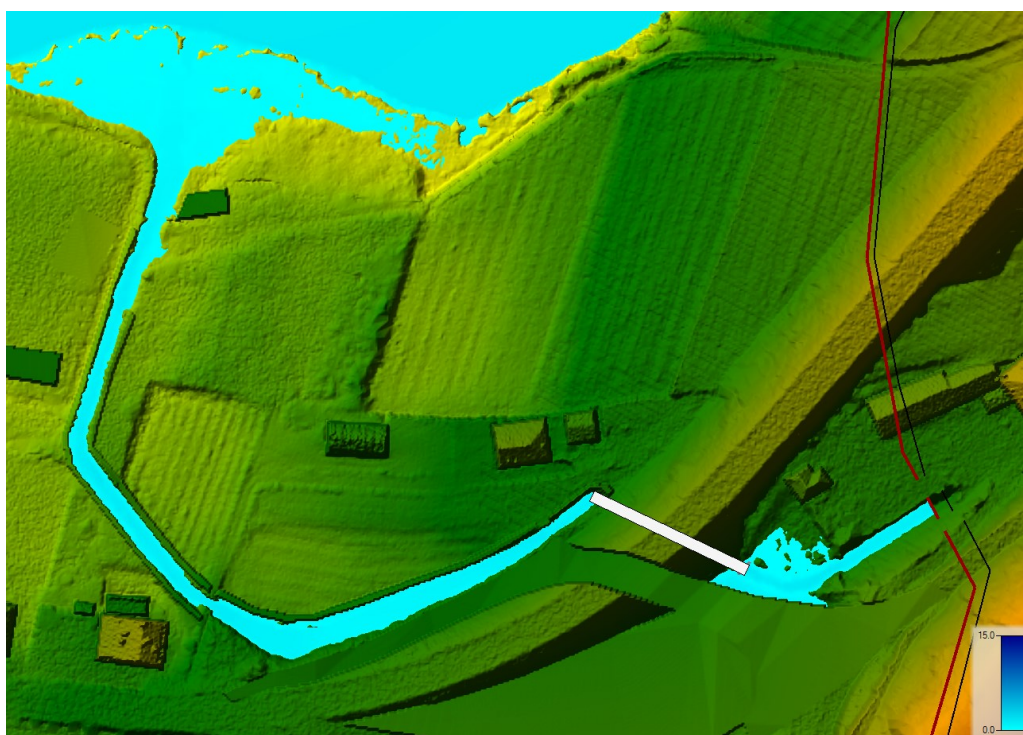


Figura 61 Modellazione bidimensionale in HEC-RAS- Roggia di Padergnone - Evento Tr 200 anni, ts=2700 s

Si osserva come nei primi istanti la portata transita all'interno dello scatolare, fino a circa $7 \text{ m}^3/\text{s}$ circa 30 minuti dopo l'inizio dell'evento; per gli istanti successivi le dimensioni dello scatolare non riescono a far defluire la portata e a monte e si osserva il fenomeno di rigurgito con allagamento della zona presente a monte del rilevato ed esondazione lungo la strada di uscita da Padergnone.

Tale fenomeno si osserva per tutti gli eventi simulati (Tr 100 e 30 anni) date anche le portate in gioco maggiori di quella massima transitabile a pelo libero dallo scatolare.

In Figura 62 e Figura 63 vengono riportati i valori di tirante e velocità massima ottenuti dalla modellazione idraulica.

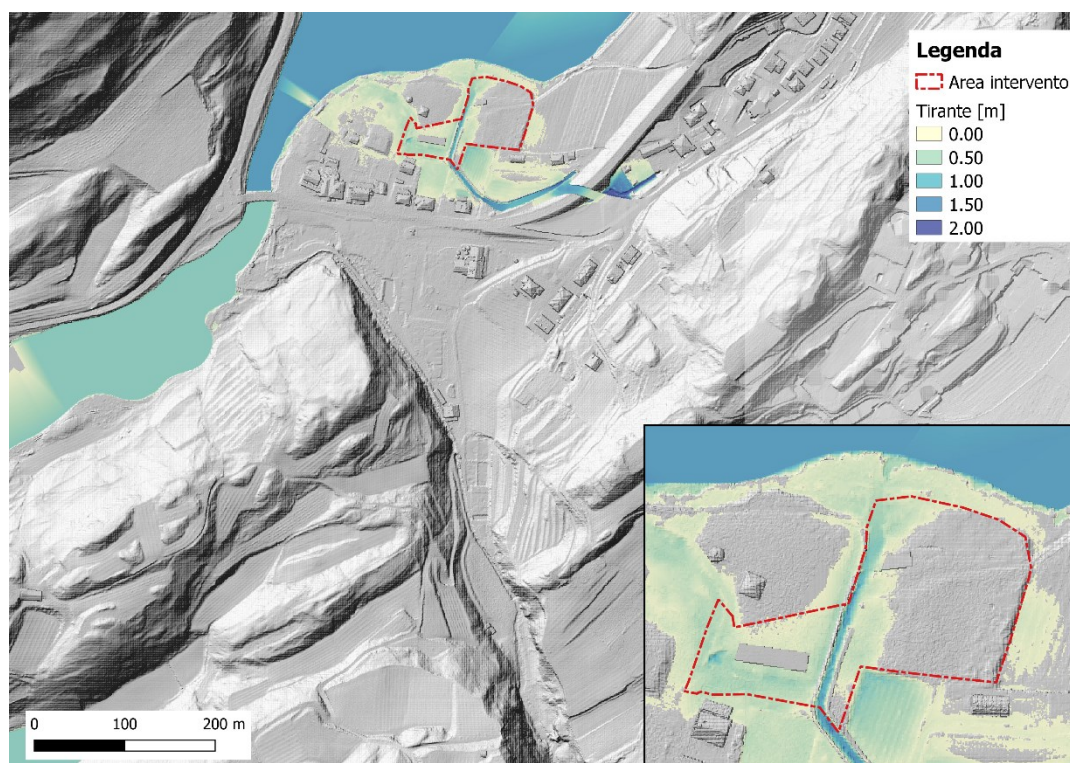


Figura 62 Tirante massimo per un evento corrispondente a Tr 200 anni

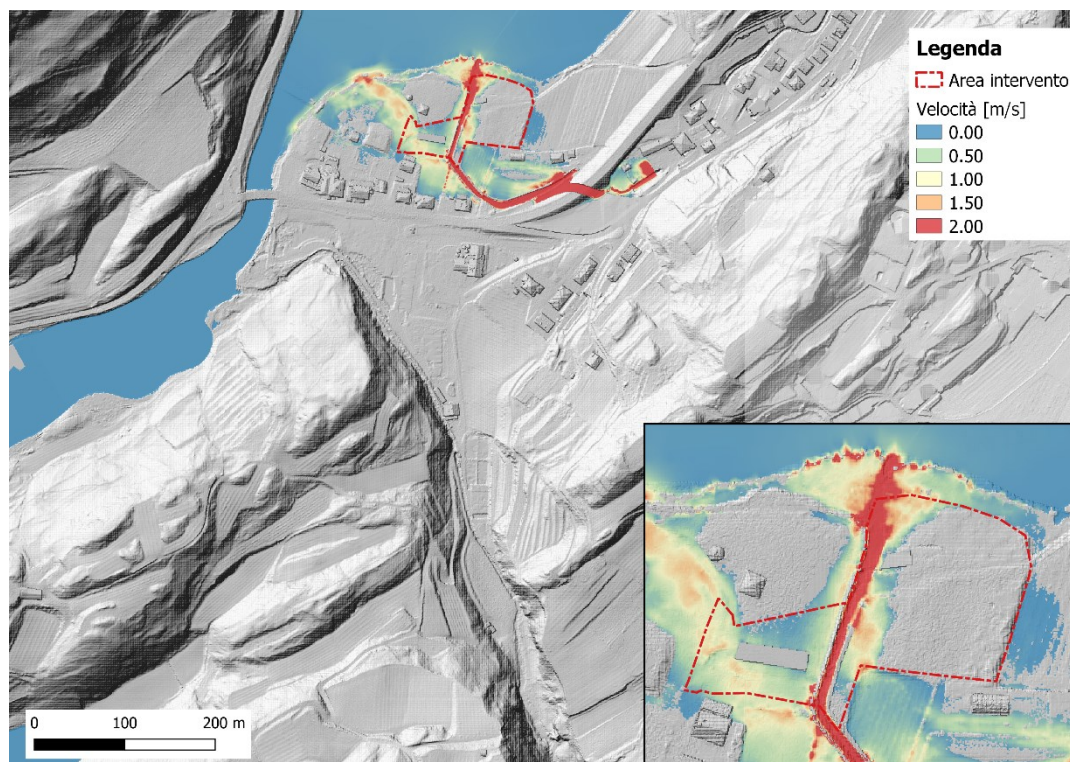


Figura 63 Velocità massima del flusso per un evento corrispondente a Tr 200 anni

8.4.2 Tr 100 anni

In Figura 64 e Figura 65 vengono riportati i valori di tirante e velocità massima ottenuti dalla modellazione idraulica.

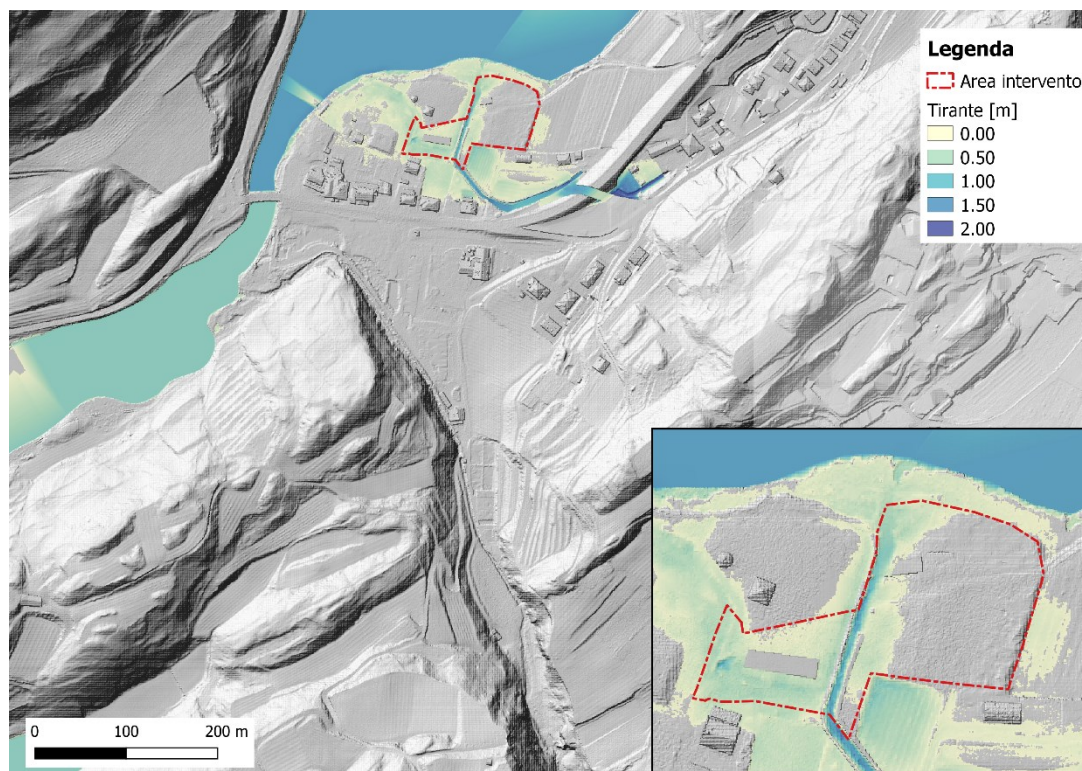


Figura 64 Tirante massimo per un evento corrispondente a Tr 100 anni

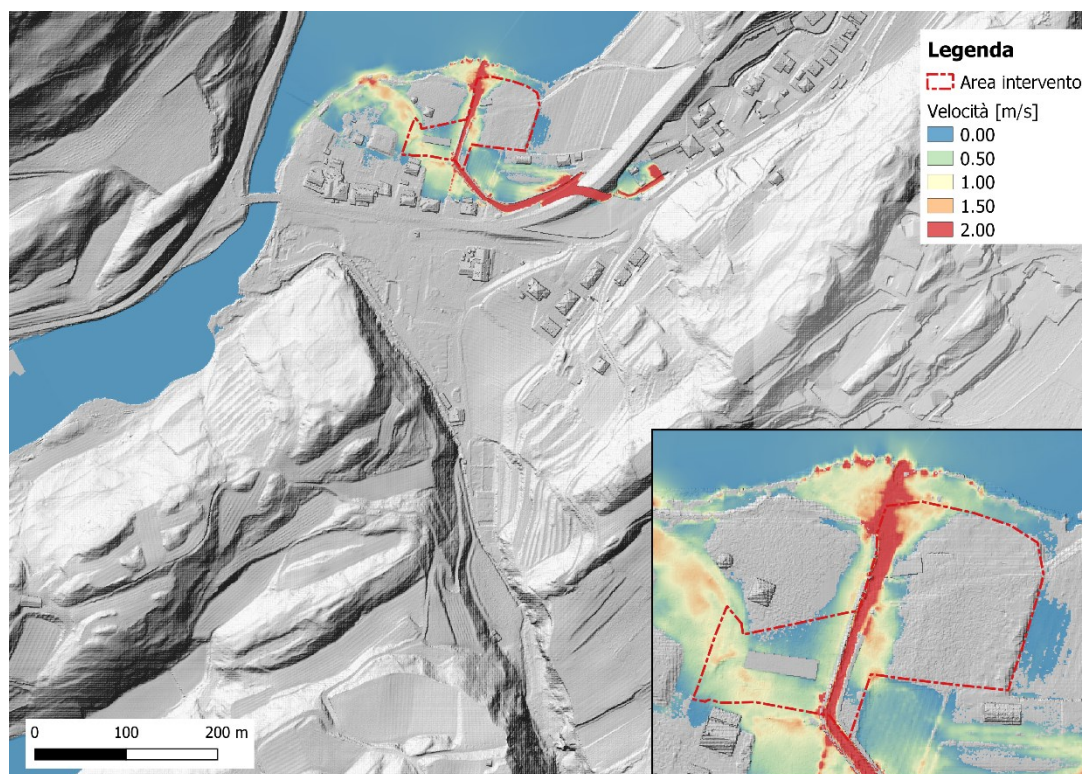


Figura 65 Velocità massima del flusso per un evento corrispondente a Tr 100 anni

8.4.3 Tr 30 anni

In Figura 66 e Figura 67 vengono riportati i valori di tirante e velocità massima ottenuti dalla modellazione idraulica.

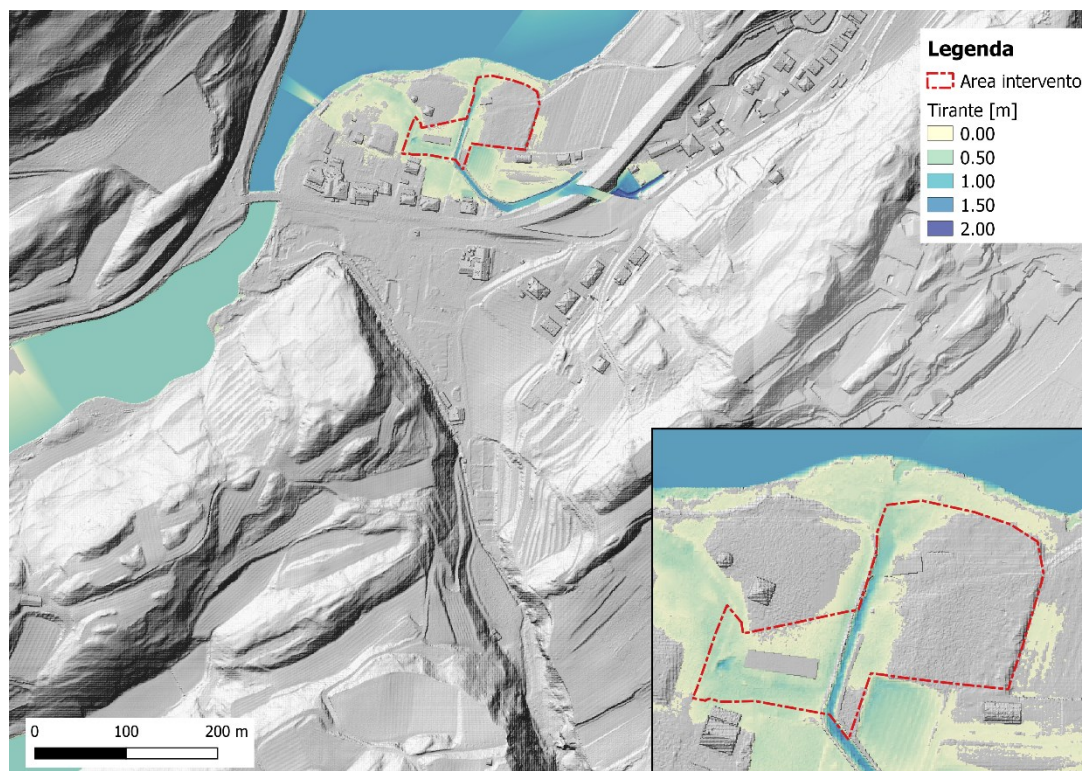


Figura 66 Tirante massimo per un evento corrispondente a Tr 30 anni

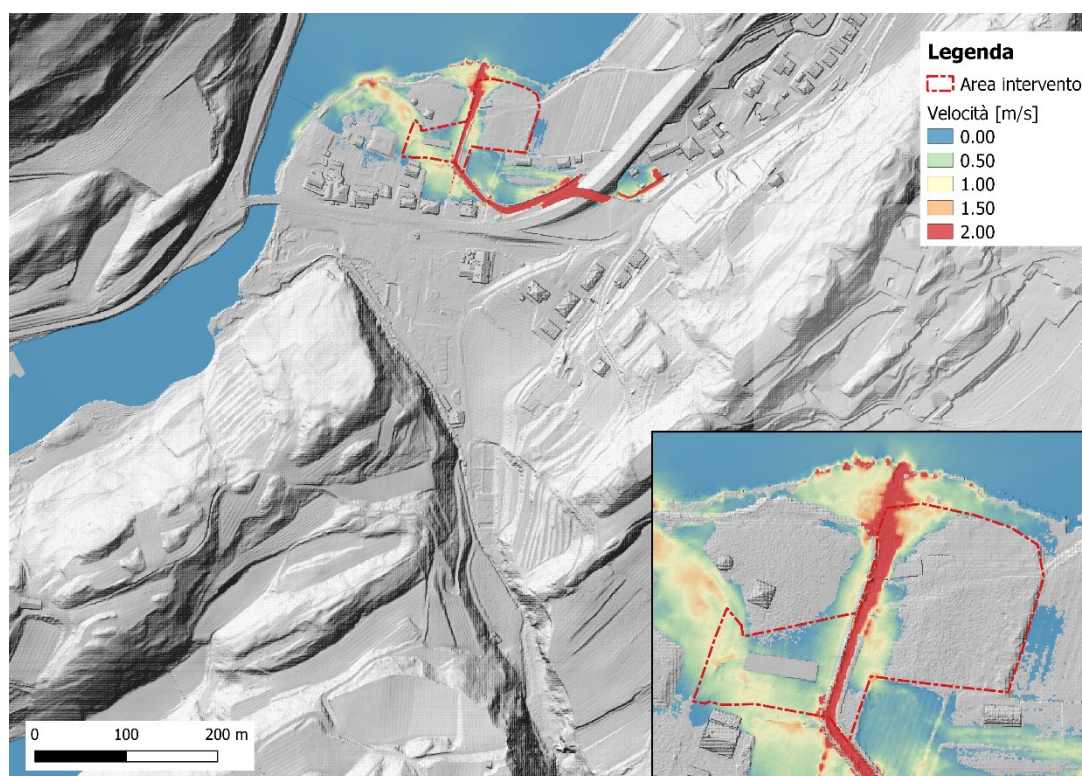


Figura 67 Velocità massima del flusso per un evento corrispondente a Tr 30 anni

Di seguito viene riportata la quota della superficie libera per ciascun evento analizzato e le sezioni di maggiore interesse all'interno del sito oggetto di intervento.

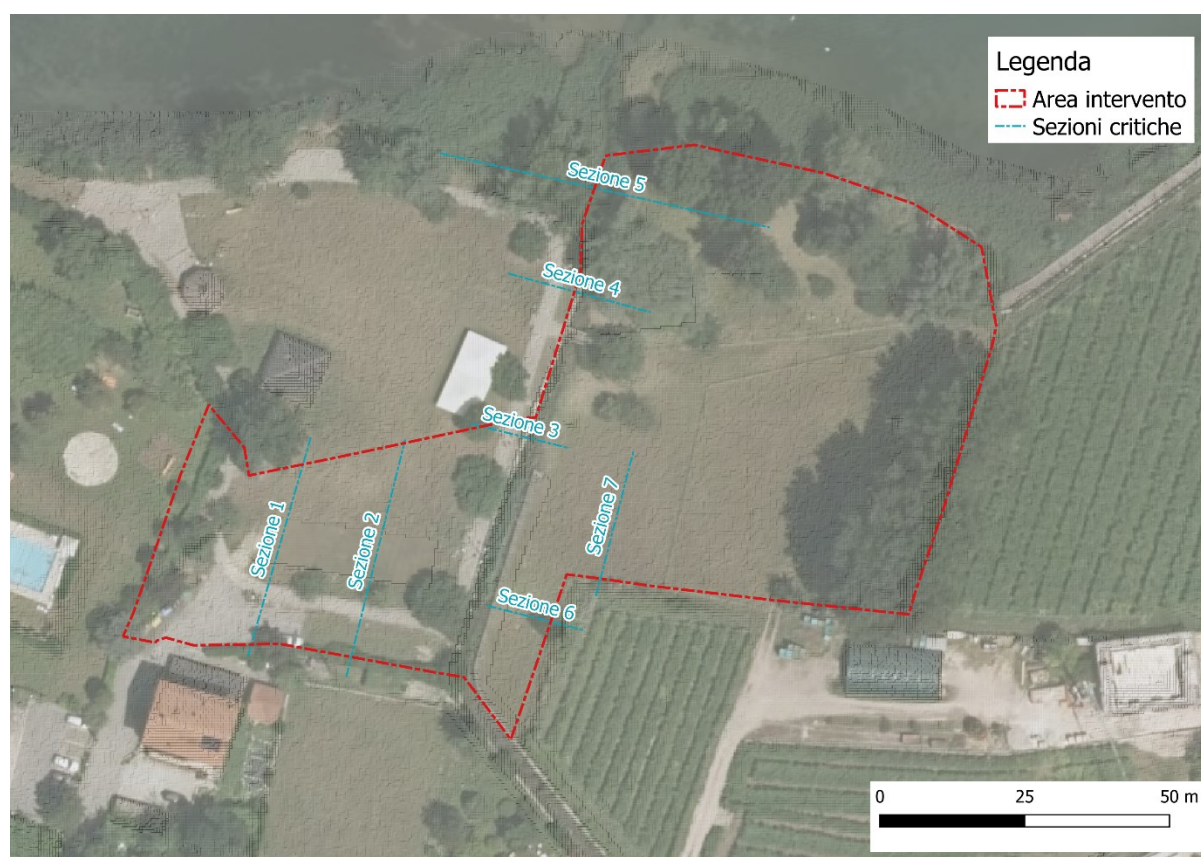
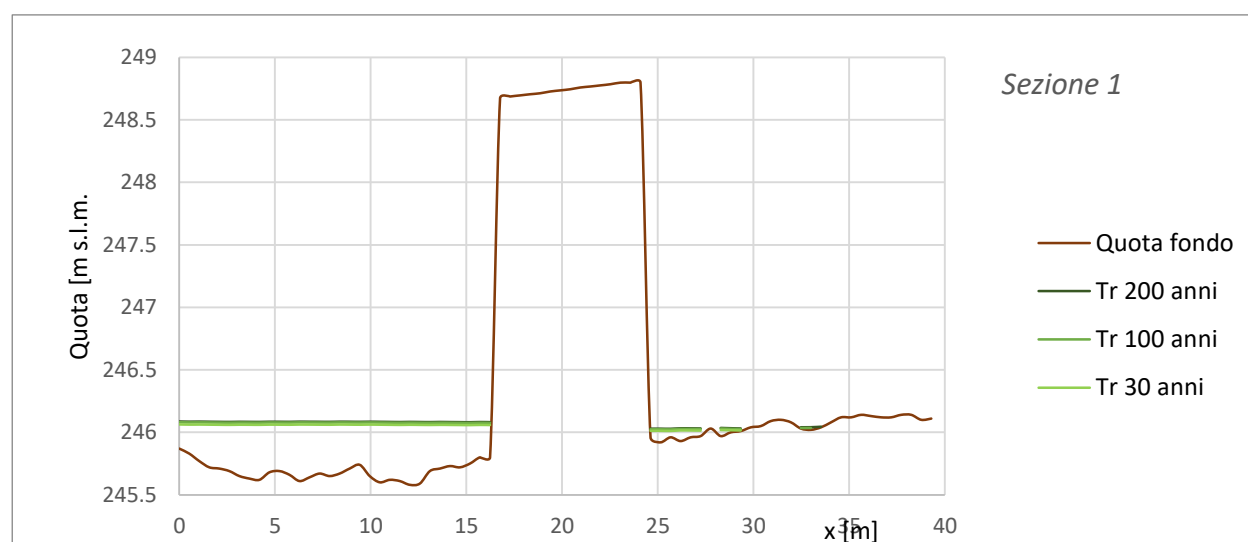
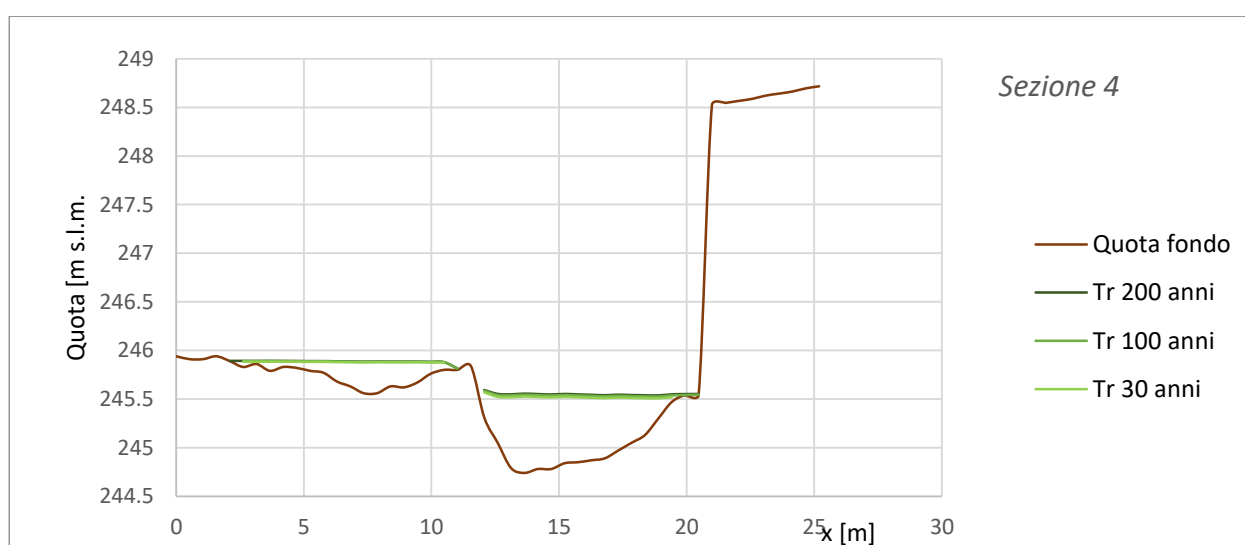
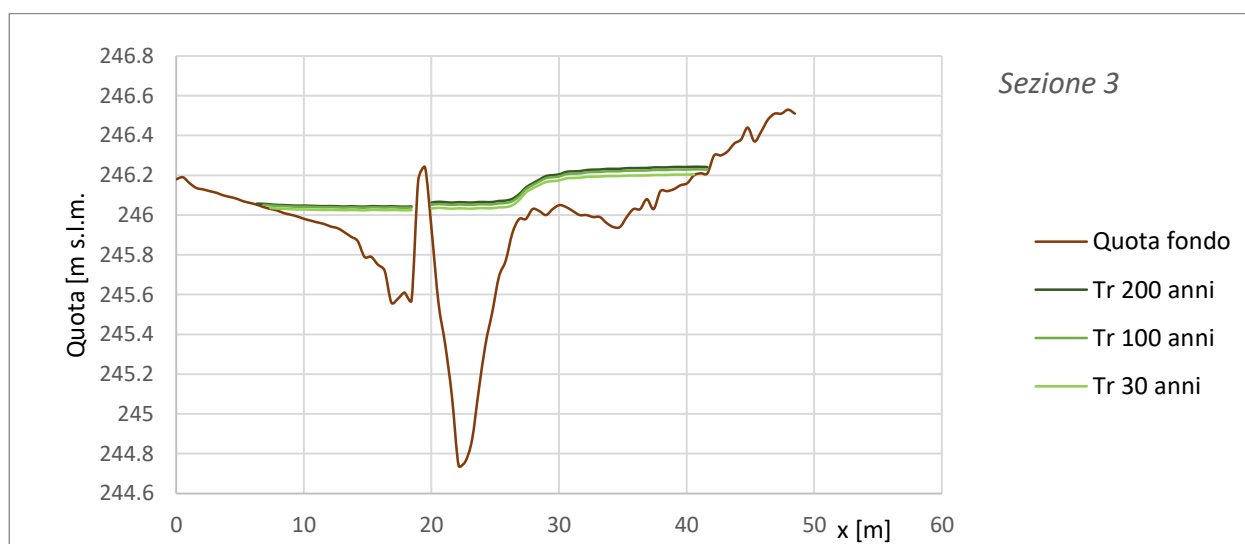
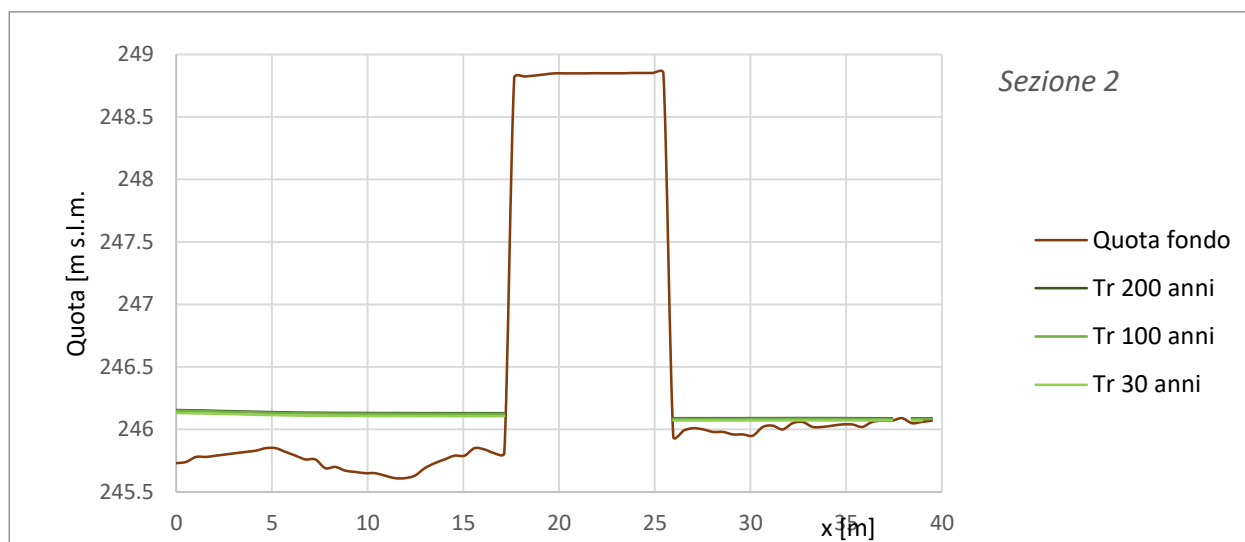


Figura 68 Sezioni critiche nel sito di intervento





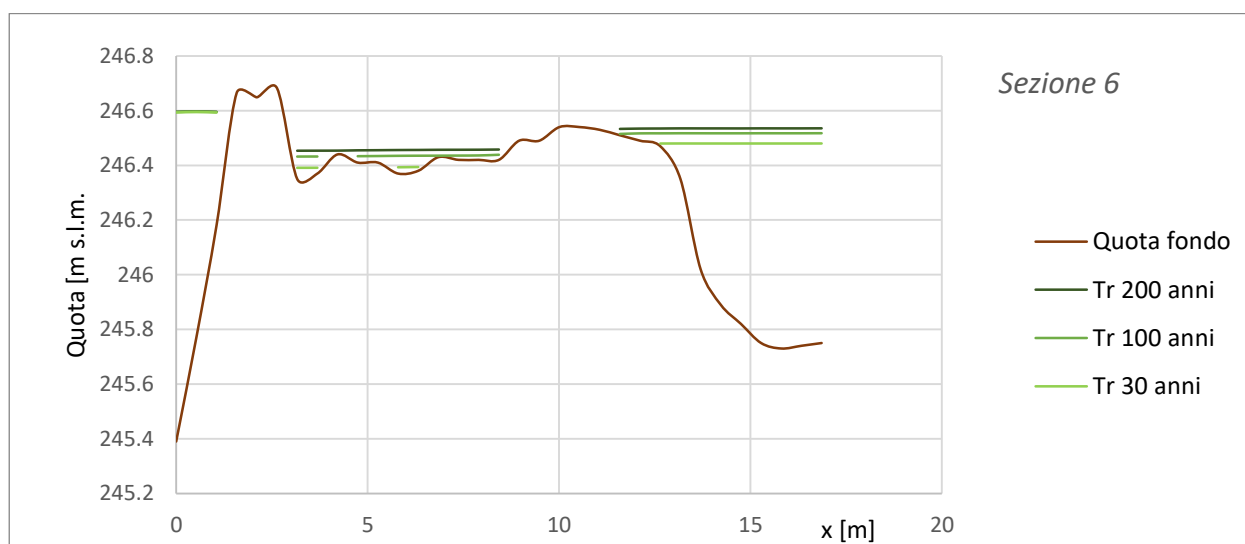
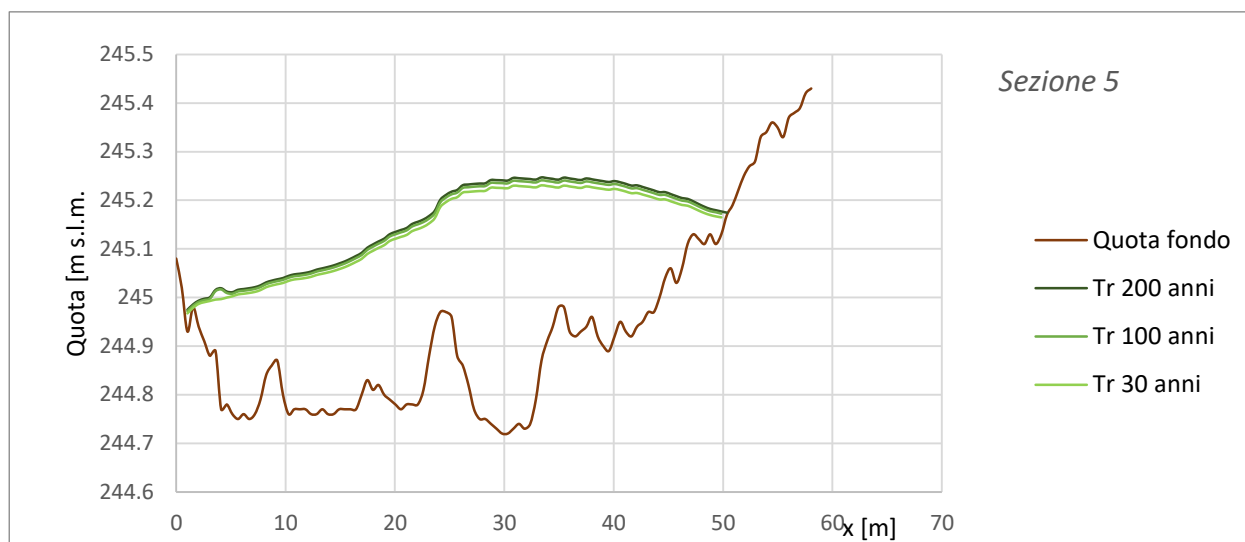


Figura 69 Sezioni critiche e valore massimo della superficie libera per ciascun tempo di ritorno legato all'evento di piena della roggia di Padergnone

I risultati della modellazione bidimensionale evidenziato, per ciascun tempo di ritorno:

- Per la prima mezz'ora dell'evento, dove la portata è inferiore a $7 \text{ m}^3/\text{s}$, il deflusso transita all'interno dello scatolare ed è contenuto all'interno delle sponde della roggia nel tratto in analisi con tirante massimo circa pari a 0.6-1.2 m;
- Per tempi maggiori la sezione dello scatolare non è sufficiente a far transitare la portata con rigonfiamento verso monte (profilo di rigurgito) e innalzamento del tirante idrico fino a quando si ha esondazione lungo la strada adiacente; durante tale processo parte del deflusso esce dallo scatolare (in pressione) e si osservano valori del tirante molto elevato subito a valle della brusca curva (tirante circa 2 m). La sezione idrica non è più sufficiente a contenere l'onda di piena e si ha alluvionamento delle campagne e dell'edificio presente in destra idrografica;
- Contemporaneamente in prossimità della curva verso est presente poco a monte dell'area a prato in sinistra idrografica, si ha sormonto dell'argine ed esondazione dell'area oggetto di intervento, in particolare quella relativa alla zona di realizzazione del nuovo padiglione. In tale zona si osservano valori di tirante nell'ordine dei 0.3-0.5 m e quota massima della superficie libera attorno a 246.15 m s.l.m. (sezione 1 e sezione 2);
- In destra idrografica la zona adibita a campagna che si trova ad una quota inferiore (circa 80 cm) rispetto a quella del parcheggio si allaga completamente fino a riempirsi; così il flusso prosegue indisturbato verso il Lago impattando sul nuovo Chiosco e sul percorso Kneipp. Parte di questa portata rientra nella roggia prima di immettersi nel lago provocando un innalzamento del tirante che raggiunge quota massima pari a 245.9 m s.l.m. (Sezione 4);
- Per quanto riguarda l'area a parcheggio questa viene invasa dall'evento con valori di tirante mai superiori a 0.3 m.

L'esondazione della roggia di Padergnone e l'allagamento della zona in oggetto di tale analisi comportano situazioni di criticità associate a fenomeni di onda di piena che possono creare situazioni di pericolo. Tale aspetto verrà analizzato nel dettaglio nel capitolo dedicato alla mappatura del pericolo mediante la nuova Carta della Pericolosità sulla base dei risultati della modellazione ottenuti e sulla normativa vigente.

È importante sottolineare come questi risultati debbano essere intersecati con quelli relativi ad un evento di onda di piena sulla roggia di Calavino al fine di identificare le condizioni che massimizzano la pericolosità del sito oggetto di riqualificazione.

9 CARTA DELLA PERICOLOSITÀ E CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ

Le analisi relative alla valutazione della pericolosità alluvionale sono state svolte secondo il documento “Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità” aggiornato con Delibera Provinciale N. 1306 del 04 settembre 2020.

Le analisi di propagazione bidimensionale descritte nel paragrafo precedente per la sistemazione torrentizia sono fondamentali per la realizzazione della mappa della pericolosità, in quanto permettono di ottenere il valore massimo di parametri idraulici di fondamentale importanza, come il tirante e la velocità.

Secondo quanto riportato nel documento “Criteri e metodologia per la redazione e l’aggiornamento delle carte della pericolosità” la pericolosità è intesa come la possibilità che in un certo punto del territorio si verifichi un evento di una data intensità (I) in un assegnato tempo di ritorno (T). La pericolosità (Hazard – H) è espressa secondo quattro classi ordinarie e quattro straordinarie, come evidenziato in Figura 70.

	<i>pericolosità</i>	<i>simbolo</i>	<i>campitura</i>
classi ordinarie	elevata	H4	rosso
	media	H3	blu
	bassa	H2	giallo
	trascurabile	H1	verde chiaro
classi straordinarie	residua	HR4	tratteggio rosso a 45°
		HR3	tratteggio blu a 45°
		HR2	tratteggio giallo a 45°
	potenziale	HP	arancione

Figura 70 Classificazione e campitura della pericolosità (Fonte: "Criteri e metodologia per la redazione delle carte della pericolosità - art. 10, co.5, l.p. 1° luglio 2011, n.9)

L’individuazione della pericolosità ordinaria è subordinata al superamento di determinate soglie limite di parametri idraulici fondamentali e mediante l’utilizzo di matrici di interazione, come la matrice di Buwal che verrà trattata in seguito.

In termini qualitativi, le classi di pericolosità individuate sono:

Pericolosità elevata (H4)

intensità / probabilità	aree in cui l'evento assume intensità elevata, indipendentemente dalla sua probabilità
massimi effetti previsti	- perdita di vite umane - distruzione (spesso immediata) di strutture e infrastrutture - esposizione delle persone a grave pericolo sia all'interno che all'esterno degli edifici
azioni di mitigazione	la valutazione della pericolosità tiene conto della difficoltà di attuare efficaci misure di mitigazione del pericolo

Pericolosità media (H3)

intensità / probabilità	aree in cui l'evento assume intensità media, o anche bassa se con probabilità di accadimento elevata
massimi effetti previsti	- gravi lesioni o forte disagio per le persone fino alla perdita di vite umane - danni gravi (senza distruzione) a strutture e infrastrutture - esposizione delle persone a grave pericolo prevalentemente all'esterno degli edifici
azioni di mitigazione	la valutazione della pericolosità tiene conto della possibilità di attuare efficaci misure di mitigazione del pericolo

Pericolosità bassa (H2)

intensità / probabilità	aree in cui l'evento assume bassa intensità la cui probabilità di accadimento non supera il valore medio
massimi effetti previsti	- lesioni o disagi di modesta entità per le persone con scarsa probabilità di perdita di vite umane - danni modesti a strutture e infrastrutture senza compromissione prolungata di funzionalità - assenza di grave pericolo sia all'esterno che all'interno degli edifici
azioni di mitigazione del pericolo	la valutazione della pericolosità tiene conto della possibilità di attuare efficaci misure di mitigazione del pericolo

Pericolosità trascurabile (H1)

intensità / probabilità	eventi con intensità decisamente modesta; la componente probabilistica è irrilevante o assente
massimi effetti previsti	danni o disagi (sia per le persone che per i beni) privi di particolare rilevanza e facilmente reversibili o assenti

Pericolosità potenziale (HP)

descrizione	È riferita alle porzioni di territorio in cui si riconoscono condizioni particolarmente favorevoli all'insorgenza di eventi dannosi per i quali tuttavia non è ancora disponibile, o risulta tecnicamente inattuabile, la classificazione ordinaria della pericolosità. Sono quindi aree con valenza di salvaguardia che richiedono successivi approfondimenti.
-------------	---

Pericolosità residua (HR)

descrizione	E' riferita alle porzioni di territorio che possono subire effetti dannosi per la presenza di particolari morfologie o strutture capaci di alterare la dinamica degli eventi e quindi di indurre un comportamento anomalo degli stessi che non trova adeguata rappresentazione con le classi di tipo ordinario. Le aree a pericolosità residua sono quindi individuate ad integrazione delle classi di pericolosità ordinarie, in particolare per rappresentare scenari che tengono conto dell'indeterminatezza e dei limiti delle metodologie analitiche applicate o anche dell'azione mitigante di particolari opere di difesa (vedi cap. 2.3).
-------------	---

Secondo i criteri e le metodologie fornite dalla Provincia di Trento, ciascuna classe di pericolosità ordinaria è superata dalle altre in base al superamento di valori di soglia delle grandezze di riferimento, anche secondo matrici di interazione come quella di Buwal valida per il pericolo idrogeologico riportata in Figura 71.

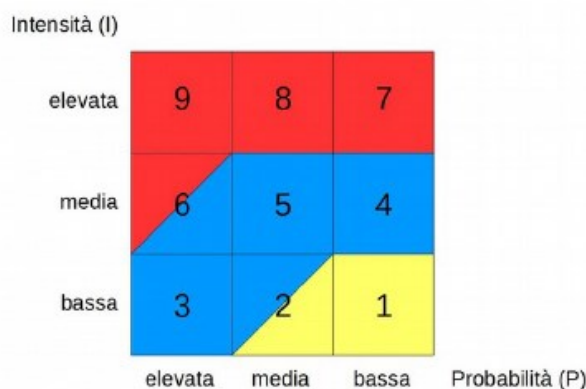


Figura 71 Matrice di interazione per la determinazione della pericolosità associata ai fenomeni idrogeologici (Fonte: "Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità")

Le rogge oggetto di studio rientrano nelle Pericolosità alluvionali. Il concetto di pericolosità alluvionale comprende tutti i fenomeni che comportano la fuoriuscita di un fiume, di un torrente o di un lago in piena. Nello specifico, data la ridotta concentrazione di volume solido, è stato preso in considerazione:

- Piena liquida (o water flood): in questo caso la componente liquida è prevalente ed il materiale solido coinvolto nel processo non raggiunge percentuali significative (in genere inferiore all'1-2%).

La matrice di interazione da utilizzare è quella mostrata in Figura 71, la quale interseca il concetto di probabilità e di intensità del fenomeno.

La probabilità va suddivisa nelle seguenti classi in funzione del tempo di ritorno degli eventi considerati:

- Elevata, per eventi con tempo di ritorno fino a 30 anni;
- Media, per eventi con tempo di ritorno tra 30 e 100 anni;
- Bassa, per eventi con tempo di ritorno tra 100 e 200 anni.

L'intensità del fenomeno è definita dalla combinazione di alcune grandezze fondamentali come: altezza dei tiranti liquidi e/o solidi fuori alveo (h), velocità dei deflussi liquidi e solidi fuori alveo (v), effetto combinato di velocità del flusso (v) e tirante idrico.

intensità	profondità della corrente - h (m)		prodotto tra la profondità e la velocità della corrente - vh (m^2/s)
Elevata	$h > 2$	oppure	$vh > 2$
Media	$0,5 < h < 2$	oppure	$0,5 < vh < 2$
Bassa	$h < 0,5$	oppure	$vh < 0,5$

Figura 72 Intensità dell'evento per inondazioni da piena (Fonte: "Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità)

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni nel caso di onda di piena della roggia di Calavino e della roggia di Padergnone in funzione dei criteri di intensità sopra descritti.

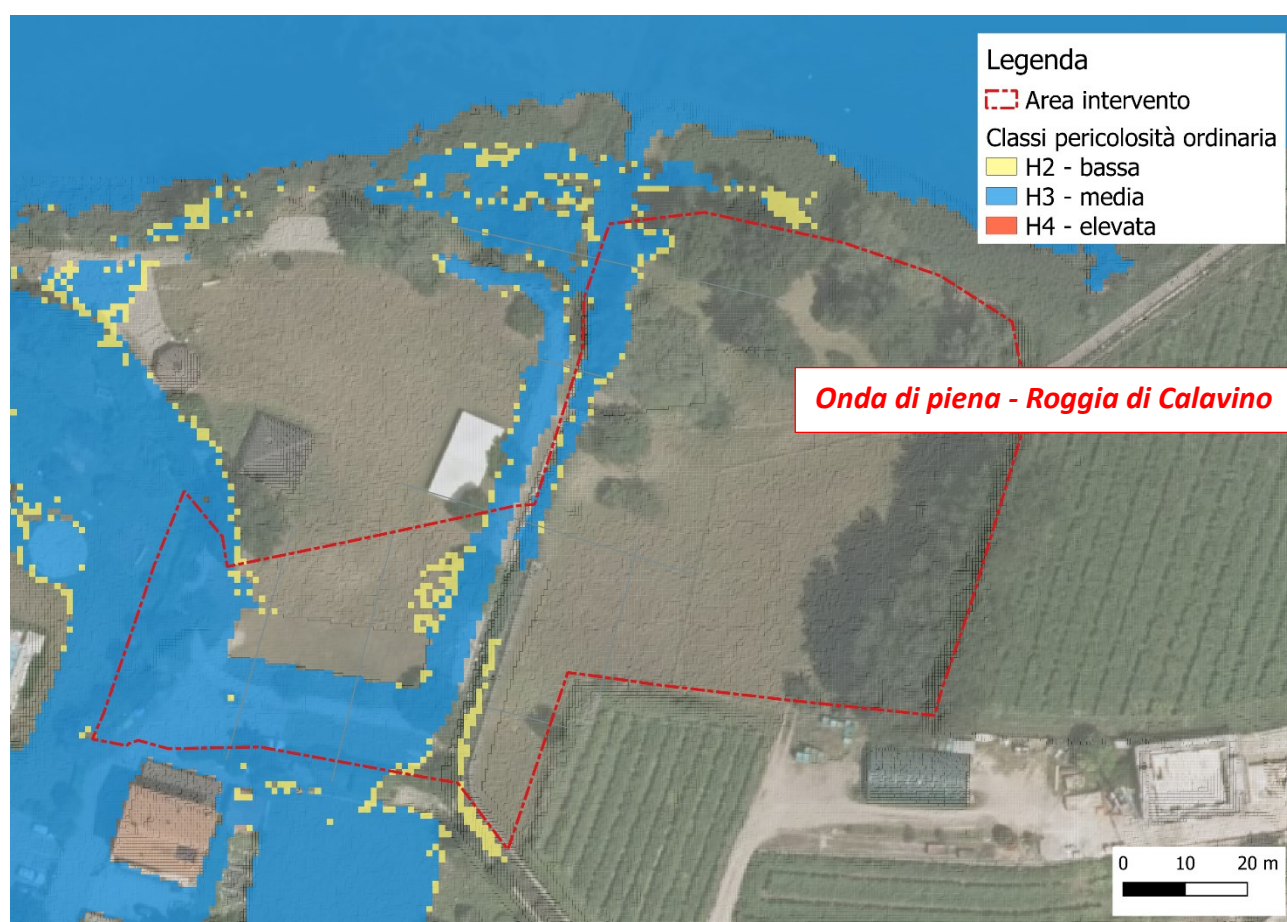


Figura 73 Mappa raster risultato dell'applicazione della matrice di interazione valida per la pericolosità alluvionale nel caso onda di piena basata sulle modellazioni bidimensionali della roggia di Calavino

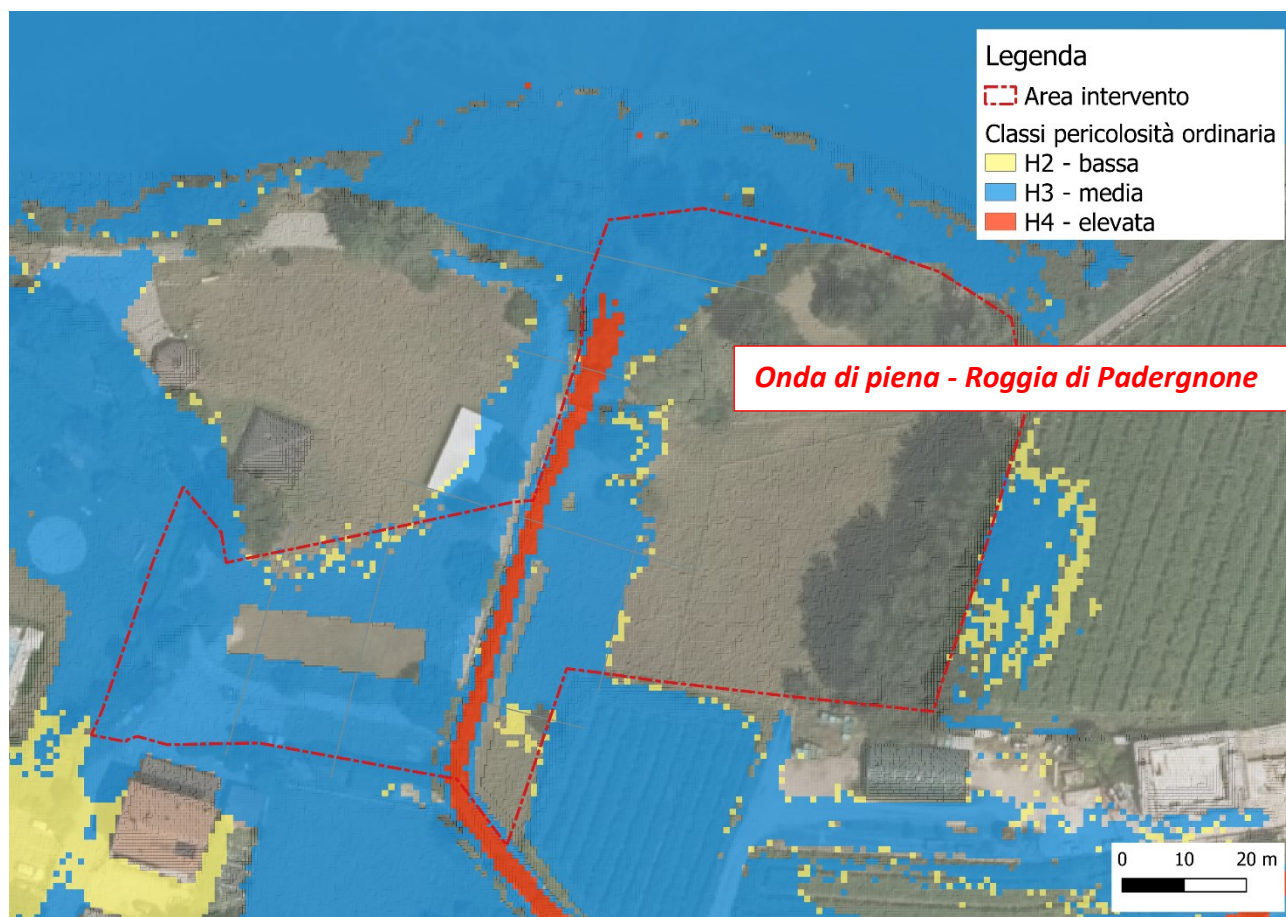


Figura 74 Mappa raster risultato dell'applicazione della matrice di interazione valida per la pericolosità alluvionale nel caso onda di piena basata sulle modellazioni bidimensionali della roggia di Padergnone

Le mappe precedenti sono il risultato della pura applicazione dei valori di soglia dei parametri idraulici e della matrice di Buwal. Come si osserva, in entrambi i casi l'area è classificata, dove si ha passaggio dell'evento, come “Area a pericolosità media – H3”. Tale classificazione, come hanno evidenziato i risultati della modellazione bidimensionale è frutto del termine legato alla probabilità di accadimento dell'evento (Tr 30 anni) e non all'intensità dello stesso in quanto i tiranti sono sempre al di sotto dei 50 cm e le velocità fuori alveo risultano modeste.

Poiché l'esondazione della roggia di Padergnone coinvolge un'area più ampia del sito oggetto di intervento rispetto alla roggia di Calavino e poiché i valori dei parametri idraulici rappresentativi della pericolosità nelle due configurazioni sono confrontabili si ritiene opportuno perimetrale la pericolosità media H3 l'area bagnata dall'evento di piena della roggia di Padergnone.

Secondo quanto riportato nel documento “Criteri e metodologie per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità – art. 10, comma 5 l.p. 1 luglio 2001 n. 9” la pericolosità media (H3) è definita come:

“Aree in cui l'evento assume intensità media, o anche bassa se con probabilità di accadimento elevata. I massimi effetti previsti sono: gravi lesioni per le persone fino alla perdita di vite umane, danni gravi (senza

distruzione) a strutture ed infrastrutture ed esposizione delle persone a grave pericolo prevalentemente all'esterno dell'edificio".

La procedura di redazione della Carta della Pericolosità trova completamento nella fase di supervisione da parte dell'operatore che esegue le modellazioni. Il risultato ottenuto dalle mappe di intensità e la probabilità è costituito infatti da un file raster rappresentativo della matrice del pericolo che va vettorializzato manualmente interpretando la topografia locale, la presenza di infrastrutture e la leggibilità del tematismo alla scala finale.

In Figura 75 viene riportata un'ipotesi della carta della pericolosità valida per il solo pericolo torrentizio e solo nel sito oggetto di intervento.

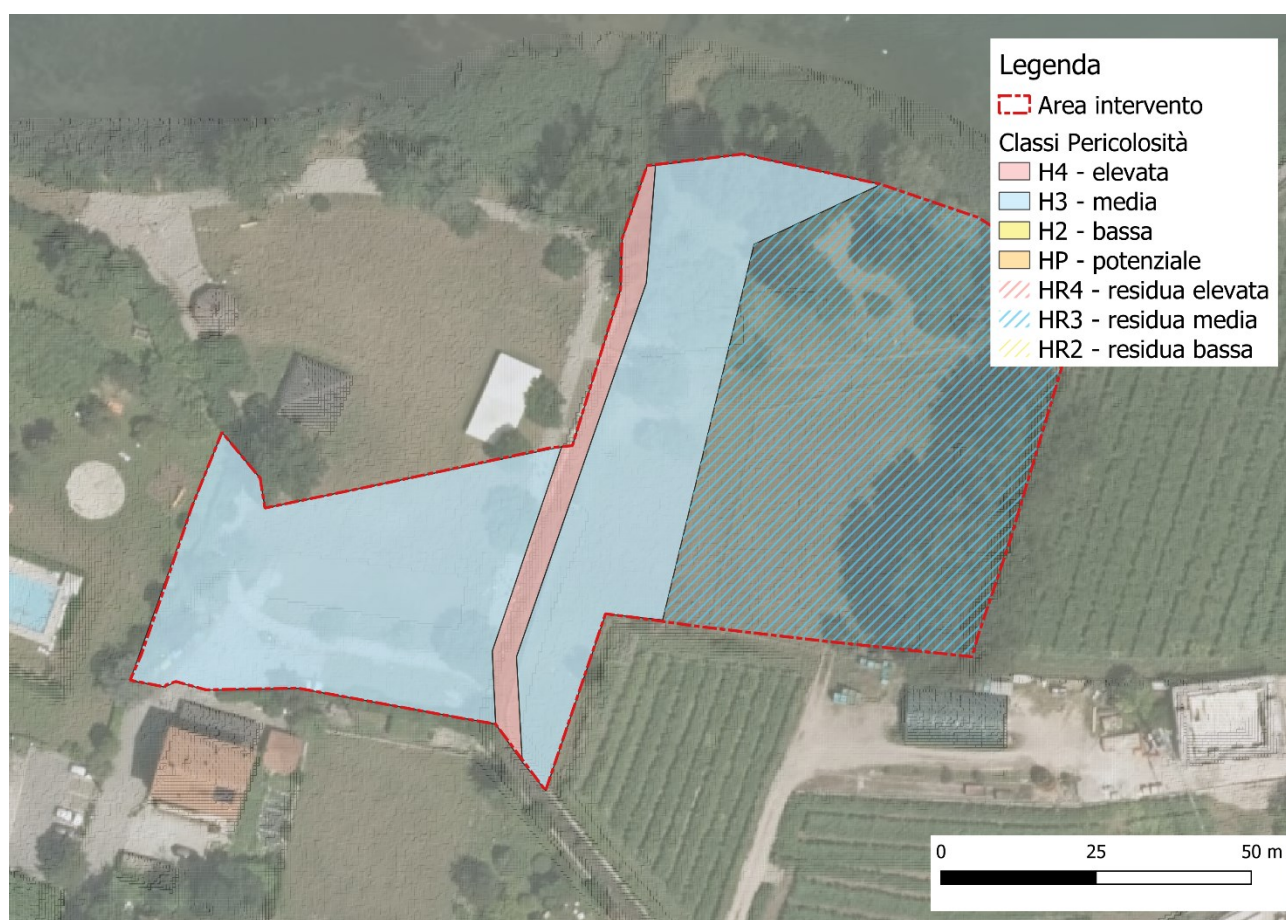


Figura 75 Ipotesi di carta della pericolosità idrogeologica da evento torrentizio nell'area del Parco Due Laghi – Comune di Vallelaghi

In Figura 75 viene riportata la carta della pericolosità vettorializzata manualmente al fine di uniformare le classi di pericolosità ordinario considerando gli aspetti topografici del terreno. A tal proposito si ritiene opportuno attribuire una classe di pericolosità straordinaria, ovvero “Pericolo residua HR3” all’area che rimane di fatto esclusa dalla modellazione ma che in caso di condizioni avverse (ad. esempio la concomitanza di eventi nelle due Rogge) può essere interessata dall’evento. Questa è definita come “*è riferita alla porzione di territorio che possono subire effetti dannosi per la presenza di particolari morfologie o*

strutture capaci di alterare la dinamica degli eventi e quindi di indurre un comportamento anomalo degli stessi che non trova adeguata rappresentazione con le classi di tipo ordinario. Le aree a pericolosità residua sono quindi individuate ad integrazione delle classi di pericolosità ordinarie, in particolare per rappresentare scenari che tengono conto dell'indeterminatezza e dei limiti delle metodologie analitiche applicate o anche dell'azione mitigante di particolare opere di difesa".

Inoltre, in accordo con quanto disposto dai “Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità” che riportano: “a prescindere dalle caratteristiche di intensità e probabilità, tutte le porzioni di territorio ricadenti all'interno delle sponde, comprese le eventuali opere di sistemazione devono essere classificate a pericolosità elevata (H4)”, all'alveo è stata assegnata la classe di pericolosità maggiore. Appare chiaro che l'area oggetto di variazione edilizia, in accordo con la normativa e le prescrizioni vigenti è caratterizzata da criticità; pertanto, **dovranno essere previste prescrizioni** per garantire l'utilizzo dell'area in sicurezza.

Infine, secondo quanto riportato nel documento “Disposizioni tecniche per la predisposizione della Carta di Sintesi della Pericolosità”, approvato dalla G.P. n.1078 del 19 luglio 2019 è stata definita la Carta di Sintesi della Pericolosità (CSP) sulla base della classificazione della pericolosità generata dai pericoli idrogeologici evidenziati dalla precedente Carta della Pericolosità. In particolare, la CSP individua diversi tipo di penalità che possono essere distinti in due gruppi, quelle ordinarie e quelli di altro tipo.

L'area oggetto di intervento, come illustrato in precedenza, presenta aree classificate con classi di pericolosità ordinaria di tipo alluvionale torrentizia. In generale, il grado di penalità è coerente con la classificazione del pericolo individuato in precedenza, pertanto la trasposizione da classi di pericolosità a classi di penalità è rappresentata in Tabella 12.

Carte delle Pericolosità		Carta di Sintesi della Pericolosità	
Pericolosità elevata	H4	Penalità elevata	P4
Pericolosità media	H3	Penalità media	P3
Pericolosità bassa	H2	Penalità bassa	P2
Pericolosità trascurabile	H1	Penalità trascurabile o assente	P1

Tab. 3.1.1: Grado di penalità individuato dalle classi di pericolosità ordinarie

Tabella 12 Grado di penalità individuato dalle classi di pericolosità ordinarie (Fonte: “Disposizioni tecniche per la predisposizione della Carta di Sintesi della Pericolosità”)

A fronte di tale classificazione si riporta in Figura 76 la Carta di Sintesi della Pericolosità per l'area oggetto di analisi ottenuta mediante la modellazione bidimensionale.

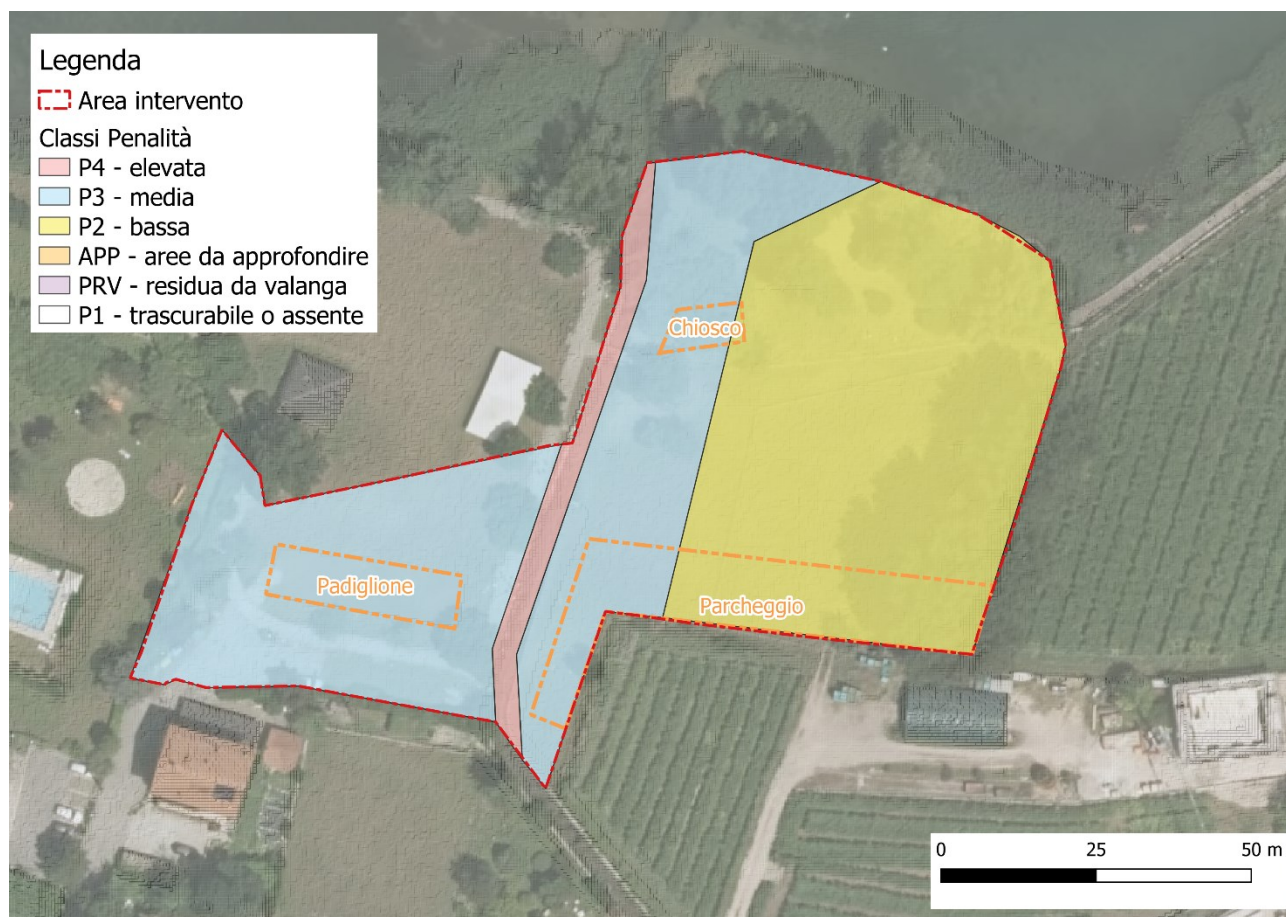


Figura 76 Carta di Sintesi della Pericolosità nell'area oggetto di studio

Come si osserva dalla mappa precedente, l'intero sito del Parco Due Laghi oggetto di intervento di riqualificazione ricade all'interno delle aree classificate:

- penalità ordinaria media (P3) per le aree soggette ad alluvionamento che riguardano in parte il parcheggio (posti auto lato torrente), il chiosco, parzialmente il percorso Kneipp e il nuovo padiglione previsto in sinistra idrografica;
- penalità (P2) che non sono coinvolte dal deflusso (risultati della modellazione sempre affetti da un margine di errore e/o cause imprevedibili) per il prato limitrofo che può essere utilizzato come parcheggio nel caso di manifestazioni eccezionali e parte del percorso Kneipp;
- penalità ordinaria elevata (P4) per la sola porzione relativa all'alveo della roggia di Padergnone;

Si ricorda che in tale classificazione e in particolare circa la localizzazione delle strutture si fa riferimento alla prima versione del progetto (ottobre 2021) e ricorda che l'estratto delle tavole riportate nel paragrafo 4.2.2 recepiscono già quanto indicato nelle prescrizioni descritte nella precedente relazione di compatibilità.

10 CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

Nel paragrafo precedente sono state perimetrate le aree identificate dalle classi di pericolosità e di penalità a fronte della modellazione idraulica dell'area di intervento. L'area oggetto di trasformazione edilizia ricade interamente in classe a penalità media che secondo quanto riportato nel documento "Carta sintesi della pericolosità – Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate, medie o basse e le aree con altri tipi di penalità" è disciplinata dall'art. 16 delle NdA delle PUP. In particolare:

"2. Nelle aree con penalità medie è vietata ogni attività di trasformazione urbanistica ed edilizia, fatte salve le opere di difesa e prevenzione volte alla riduzione o all'eliminazione del pericolo.

...

4. Gli interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia previsti da nuovi strumenti di pianificazione o loro varianti in aree con penalità media sono ammessi solo se questi strumenti di pianificazione prevedono la realizzazione di apposite opere difensive che consentano il declassamento della pericolosità o l'adozione di misure di sicurezza adeguate in relazione ai fenomeni attesi. A tal fine gli strumenti di pianificazione e le loro varianti devono essere supportati dallo studio di compatibilità previsto dal comma 3. Le strutture provinciali competenti, in sede di esame delle previsioni degli strumenti di pianificazione secondo le procedure previste dalla legge urbanistica, si esprimono al riguardo con parere vincolante."

Pertanto, al fine di attestare la corretta compatibilità dell'intervento con il pericolo atteso è necessario introdurre delle prescrizioni sia di carattere **strutturale** che **gestionale** allo scopo di declassare la pericolosità del sito.

Come già detto nei paragrafi precedenti, tale elaborato fa seguito alla richiesta di integrazioni del Servizio Bacini Montani, pertanto a fronte delle nuove analisi idrologiche e delle relative modellazioni idrauliche con modello bidimensionale, visti i risultati **leggermente inferiori in termini di intensità delle variabili idrauliche** (tirante e velocità) nell'area oggetto di intervento **si ritengono valide le prescrizioni individuate nella relazione di compatibilità idraulica precedente sia di natura strutturale che gestionale in termini del pericolo**, a cui si rimanda per maggiori dettagli.

Si conclude nuovamente sottolineando che il progetto riportato in questo elaborato evidenzia delle modifiche rispetto al progetto originale in quanto recepisce le prescrizioni date.

Pertanto, alla luce dei nuovi elementi idrologici, delle nuove modellazioni che non alterano/peggiorano il grado di pericolosità nell'area oggetti di intervento. **se e solo se tali prescrizioni vengono attuate dal progetto si attesta la compatibilità dell'intervento con il pericolo atteso con esito positivo.**

Tanto si relazione in ossequio all'incarico ricevuto.

Verdesina, febbraio 2022

Dott. Geol. Silvio Alberti