



COMUNE DI TRENTO

PROVINCIA AUTONOMA
DI TRENTO



Verifica del pericolo idraulico (*articolo 10 del l.p. 1 luglio 2001 n. 9*) e **studio di compatibilità idraulica** (*Norme di Attuazione del PUP di Trento - l.p. n. 5 del 2008*) e dell'art.15 comma 2 della l.p. n. 15 del 2015, in relazione al
“Piano Attuativo per la Zona di Espansione C1 in località Dossol a Sopramonte con effetto di variante al PRG del Comune di Trento (TN)”

RELAZIONE TECNICA



Committente:

Sig. Girardi Fausto

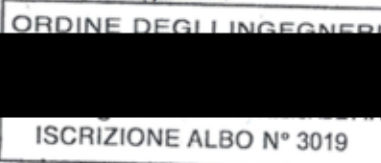
Per presa visione



Data: 08/11/2022

Il tecnico

Ing. Elisabetta Casagrande



INDICE

1	Introduzione.....	3
2	Elenco dei dati, delle carte tematiche e degli elaborati significativi consultati	4
3	Software utilizzati	5
4	Relazione tecnica per il Rio Bozon	5
4.1	Analisi geomorfometrica dei bacini.....	7
4.2	Analisi delle sistemazioni esistenti	13
4.3	Dati storici, analisi dei pericoli noti e dei dissesti.....	15
4.4	Sopralluogo e rilievi topografici effettuati.....	15
4.5	Studio idrologico	18
4.5.1	Input necessari al modello	18
4.5.2	Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica - LSPP	20
4.5.3	Risultati della modellazione idrologiche	21
4.6	Stima dell'apporto solido e definizione del processo idraulico da simulare	22
4.7	Relazione idraulica	24
4.7.1	Breve descrizione dei software utilizzati.....	24
4.7.2	Considerazioni modellistiche e definizione ed argomentazione degli scenari di pericolo assunti	26
4.8	Risultati delle modellazioni idrauliche.....	28
4.9	Valutazione del pericolo nell'area di studio	32
5	Verifica di compatibilità idraulica – (l.p. 5/2008).....	34
5.1	Indicazioni di mitigazione della pericolosità.....	34
6	Conclusioni.....	35
7	Bibliografia.....	36

1 Introduzione

L'oggetto di questo studio riguarda la **verifica del pericolo idraulico**, ai sensi dell'articolo 10 del l.p. 1 luglio 2001 n. 9, e la **verifica di compatibilità idraulica**, ai sensi delle Norme di Attuazione del PUP di Trento (Allegato B - l.p. n. 5 del 2008) e dell'art.15 comma 2 della l.p. n. 15 del 2015, in relazione al **Piano Attuativo per la Zona di Espansione C1 in località Dossol a Sopramonte con effetto di variante al PRG del Comune di Trento**.

In figura 1 si riporta l'inquadramento dell'area oggetto di studio (in tratteggio verde). rispetto al reticolo idrografico e al catasto



figura 1: Inquadramento dell'area oggetto di studio (evidenziata in tratteggio verde) rispetto all'idrografia a sinistre e rispetto al catasto a destra.



figura 2: A sinistra: estratto dell'attuale PRG nell'area di studio. A destra: Estratto del Piano Guida del 3 ottobre del 1987.

In figura 2 si riporta un estratto del PRG e del Piano Guida 292 del 3 ottobre del 1987. Il Piano Attuativo ha lo scopo di integrare nel PRG quanto stabilito nel Piano Guida del 1987, quindi consentire l'edificazione nell'area di studio. Per maggiori dettagli si rimanda alla documentazione di variante redatta dello Studio Associato Galasso Progettisti Associati.

L'area oggetto di studio attualmente è inquadrata all'interno della Carta della Pericolosità della Provincia Autonoma di Trento (figura 3) in un'area da approfondire in corrispondenza al reticolo del rio Bozon (art.18 Norme di Attuazione al PUP – l.p. n.5 del 2008).

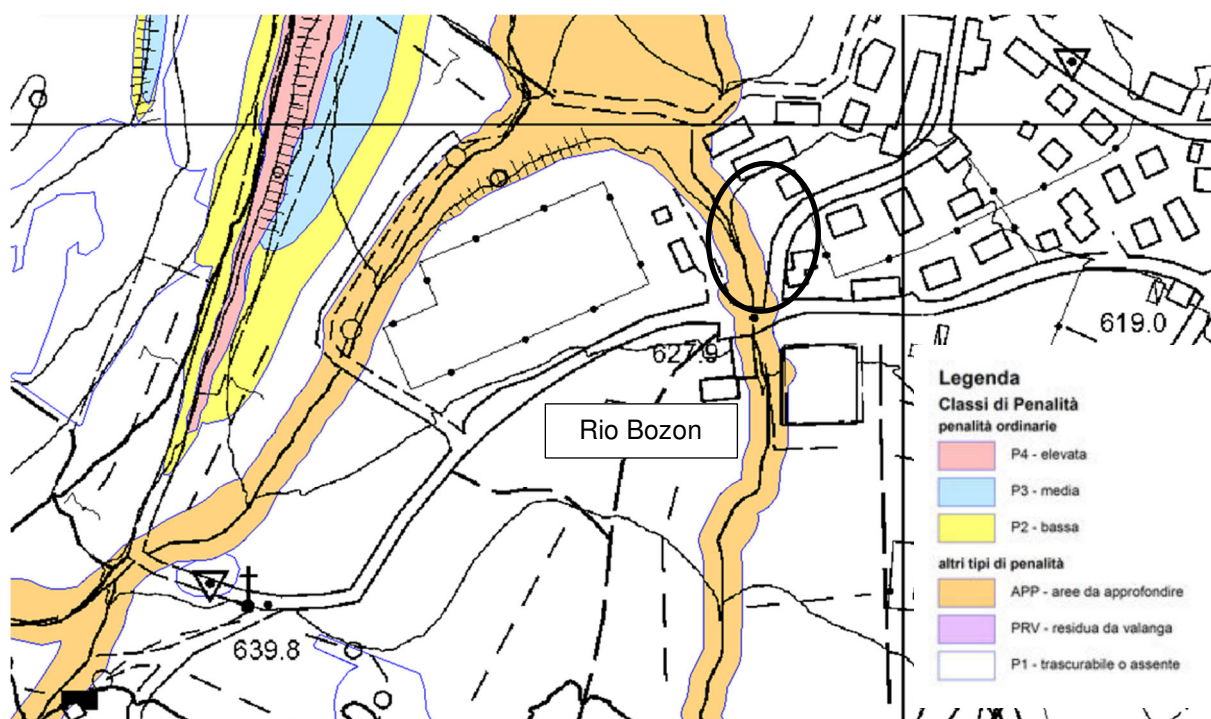


figura 3: Estratto della Carta della Pericolosità (Webgis PAT).

2 Elenco dei dati, delle carte tematiche e degli elaborati significativi consultati

Di seguito è riportata una lista dei dati e delle fonti utilizzate e consultate:

- Modello digitale del terreno (DTM a 10 m e 1.0 m di risoluzione). Provincia Autonoma di Trento, Webgis – Lidar e www.dati.trentino.it;
- Ortofotocarte del 2015 Provincia Autonoma di Trento, Webgis – Ortofoto digitale;
- Carta tecnica provinciale (1:10000 e 1:5000). Provincia Autonoma di Trento, Webgis – CTP;
- Carta dell'uso del suolo reale. Provincia Autonoma di Trento, Webgis e Servizio Bacini Montani;
- Carta Geologica. Provincia Autonoma di Trento, Webgis e Servizio Bacini Montani;
- Mappe catastali. Provincia Autonoma di Trento, Webgis e www.dati.trentino.it;
- Documentazione eventi. Provincia Autonoma di Trento, Banca dati progetto Arca;
- Catasto delle opere. Provincia Autonoma di Trento, Webgis e Servizio Bacini Montani;

- Dati idrologici. Provincia Autonoma di Trento, www.dati.trentino.it;
- Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche – PGUAP. Provincia Autonoma di Trento, Webgis.

3 Software utilizzati

La tabella 1 riporta una lista con una breve descrizione dei principali software utilizzati nel presente lavoro.

VERIFICA DEL PERICOLO		
Ambito	Software	Descrizione
Rilievi e sopralluoghi	Geopaparazzi 3.0.0	Raccolta informazioni di campo e foto georeferenziate
Analisi statistiche	R 3.3.2	Analisi statistiche sui dati di input ed output delle modellazioni
Geomorfologia	Udig 1.4, R 3.3.2	Carte geomorfologiche, curve ipsografiche, classificazione Cavalli e Marchi (2206), indice di Melton
Idrologia	Peakflow	Analisi idrologiche e definizione idrogramma di piena
Idraulica	Flo2D – Trent2D	Modellazione idraulica 2D a fondo fisso a fondo mobile
GIS	Qgis 2.18, Globalmapper 13	Analisi dati geografici georeferenziati
Relazioni	Microsoft Word 2016	Redazione relazioni tecniche

tabella 1: Elenco dei software utilizzati per lo svolgimento del presente lavoro.

4 Relazione tecnica per il Rio Bozon

Il Rio Bozon si origina sul Monte Bondone, poco a monte di Malga Brigolina, ad una quota di circa 1150 m s.l.m e scorre verso nord fino a confluire nel Rio di Vela ad una quota di circa 580 m s.l.m., a valle dell'abitato di Sopramonte.

In figura 4 è evidenziato il perimetro del bacino del torrente su ortofoto del 2015 fornite dalla Provincia Autonoma di Trento.

Il bacino è estratto a monte della confluenza con il Rio di Vela, nel punto di coordinate 658893 m (Est) 5104000 m (Nord).

Dal punto di vista geologico (figura 5) la parte medio – alta del bacino è caratterizzata da fasce alternate di calcari Rosso Ammonitico Veronese (ARV) e Formazione di Rotzo (RTZ), la parte media è caratterizzata da fasce di Scaglia Rossa (SAA) e Scaglia Variegata Alpina (VAA) alternate con zone del Sistema Postglaciale Alpino (PTG) e Sistema del Garda (SGD). Infine, la parte basale del bacino è caratterizzata da un conoide alluvionale.

Per quanto riguarda l'uso del suolo

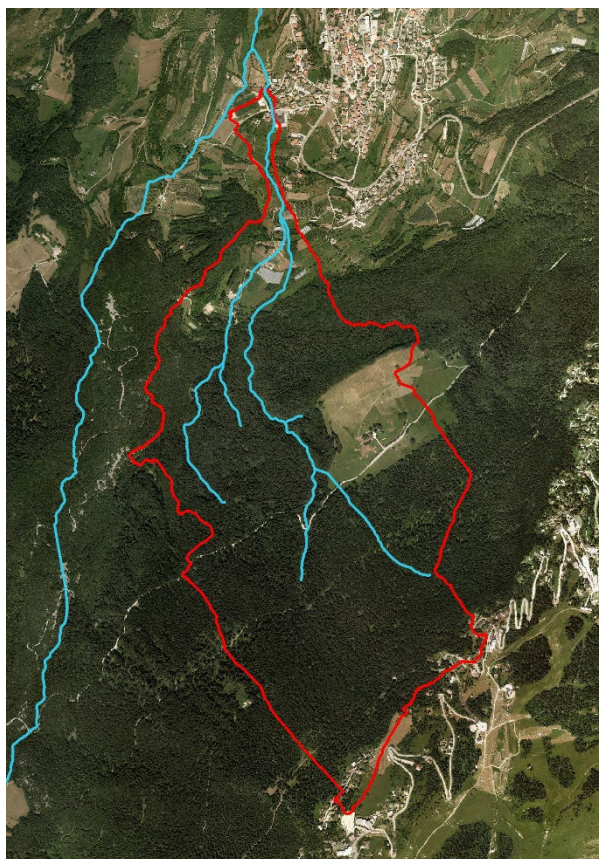


figura 4: Bacino idrografico e reticolo del Rio Bozon.

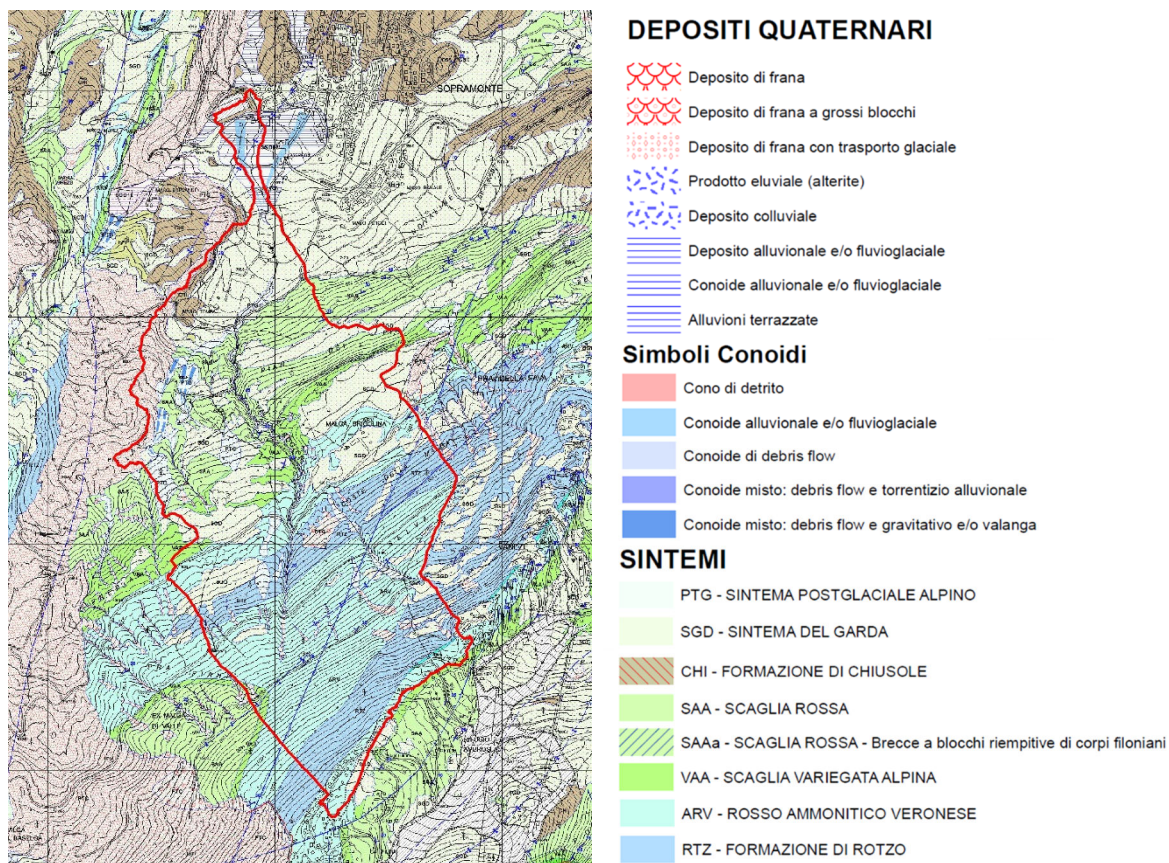


figura 5: Estratto della Carta Geologica per il bacino del Rio Bozon.

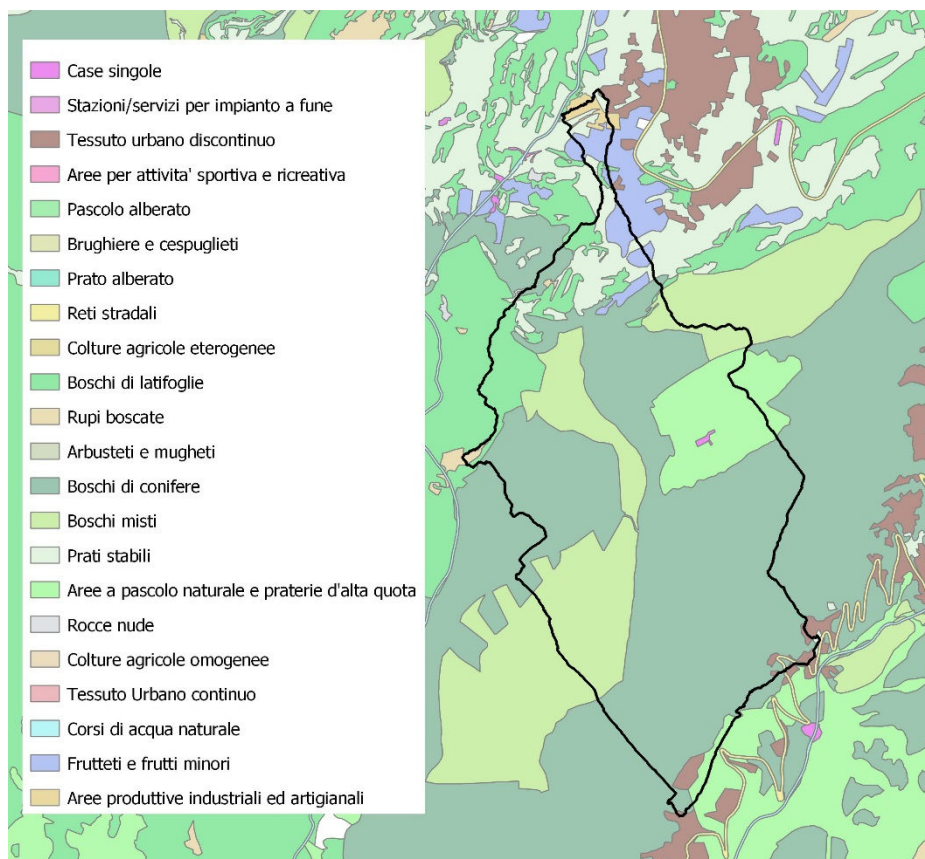


figura 6: Indicazioni sull'uso del suolo relativo a bacino idrografico sotteso al Rio Bozon.

4.1 Analisi geomorfometrica dei bacini

L'analisi geomorfometrica di un bacino fornisce indicazioni importanti circa il riconoscimento delle forme e dei processi che hanno interessato/interesseranno il bacino stesso. Pertanto, tale analisi permette di ricavare informazioni utili circa lo stato di maturità del bacino ed i fenomeni erosivi, di trasporto e/o di alluvionamento che potrebbero interessare il bacino in futuro. Lo studio quantitativo della morfologia del bacino presentato in questo paragrafo si basa sull'utilizzo e sull'analisi di modelli digitali del terreno (DEM) effettuato in ambiente GIS.

Le caratteristiche generali del bacino di alimentazione del Rio Bozon sono riassunte nella tabella 2.

Caratteristiche morfometriche	Rio Bozon		
Area del bacino [km ²]	2.3		
Perimetro del bacino [km]	11.9		
Indice di compattezza C_f [-]	2.17		
Quota (min., max., media) [m s.l.m.]	610	1631	1047
Pendenze (min., max., media) [°]	0	84	24
Lunghezza del collettore (km)	2.7		
Pendenza media del collettore (°)	14 - 6		

tabella 2: Caratteristiche generali del Rio Bozon e del relativo bacino di alimentazione.

Un valore dell'indice di compattezza elevato (>1) per il bacino in questione indica il fatto che l'area drenante ha uno sviluppo allungato; a questa caratteristica corrisponde in generale una diminuzione del tempo di corrivazione (tempo di trasferimento delle gocce di pioggia da uno specifico punto sulla superficie topografica fino alla sezione di chiusura del bacino).

La figura 7 mostra la mappa delle esposizioni (i.e., direzioni del versante) del bacino di interesse. L'analisi di tale mappa permette di individuare le forme caratteristiche del bacino.

La figura 8 a destra mostra la mappa delle pendenze del bacino, la pendenza media è pari a circa 24° . La stessa figura riporta, a sinistra, la mappa dell'altimetria del bacino.

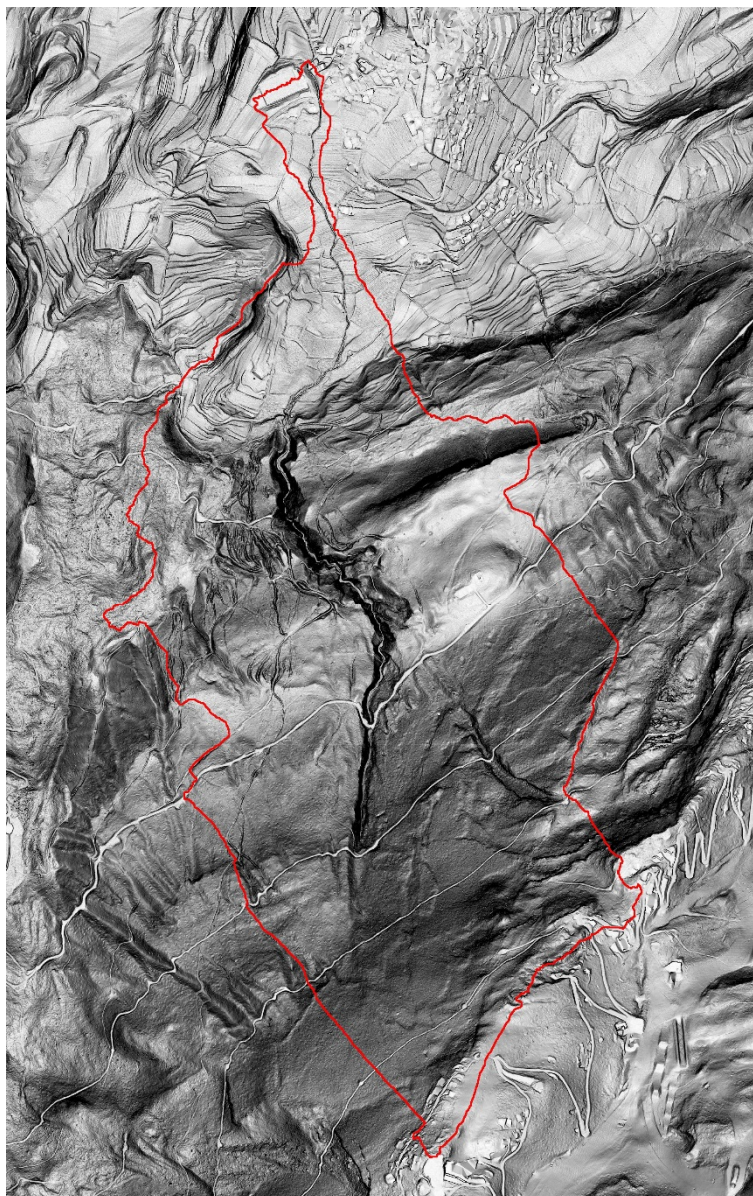


figura 7: Mappa dell'aspect del bacino idrografico sotteso al Rio Assat.

La curva ipsografica riportata in figura 9 fornisce un'indicazione circa lo stato di maturità del bacino. Essa rappresenta la percentuale di area al di sopra di una data quota entro un bacino. Il valore così ricavato viene rapportato all'area totale del bacino, in modo tale da ottenere una quantità normalizzata e quindi confrontabile. L'età del bacino viene definita in base alla forma della curva ipsografica:

- Convessità implica paesaggio giovane;
- Linearità implica paesaggio maturo;
- Concavità implica paesaggio senescente.

La forma della curva ipsografica per il bacino del Rio Bozon indica un paesaggio maturo (moderata attività erosiva). Una classificazione su basi quantitative si ottiene dividendo l'integrale della funzione ipsografica, calcolato numericamente, per l'area del triangolo ricavato congiungendo l'intercetta della curva con l'asse delle ascisse con l'intercetta della curva con l'asse delle ordinate. Indicando tale valore con **a**, si ottiene la seguente classificazione:

- **a** > 1.2: paesaggio giovane (elevata attività erosiva);
- **a** = 0.8 – 1.2 paesaggio maturo (media attività erosiva);
- **a** < 0.8 paesaggio senescente (modesta attività erosiva).

Il coefficiente di maturità **a** per il bacino idrografico sotteso assume un valore di 0.85 per Rio Bozon, che indica un paesaggio maturo con media attività erosiva. Le risultanze di quest'analisi sono state convalidate dalle evidenze rilevate in campo.

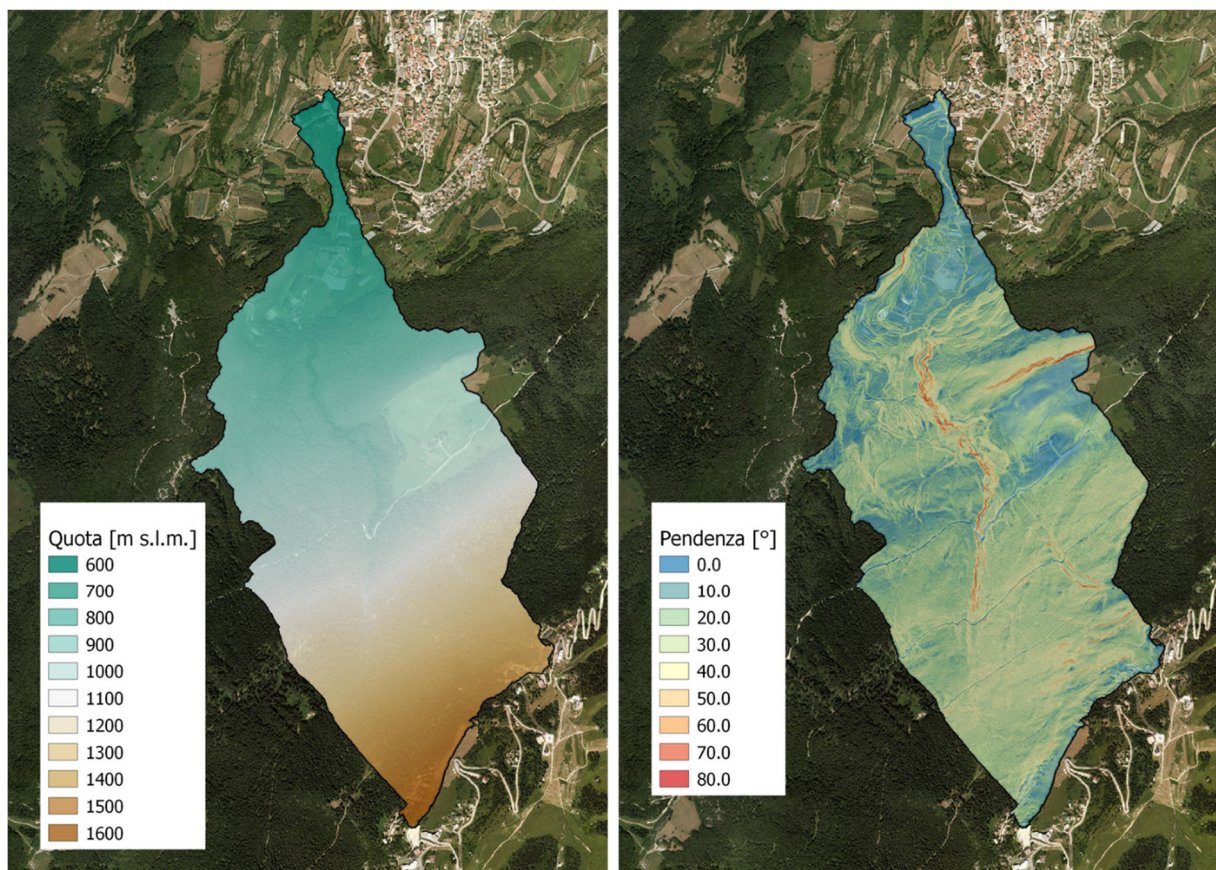


figura 8: A sinistra: Altimetria del bacino idrografico sotteso al Rio Bozon. A destra: Mappa delle pendenze (°) del bacino idrografico sotteso al Rio Bozon.

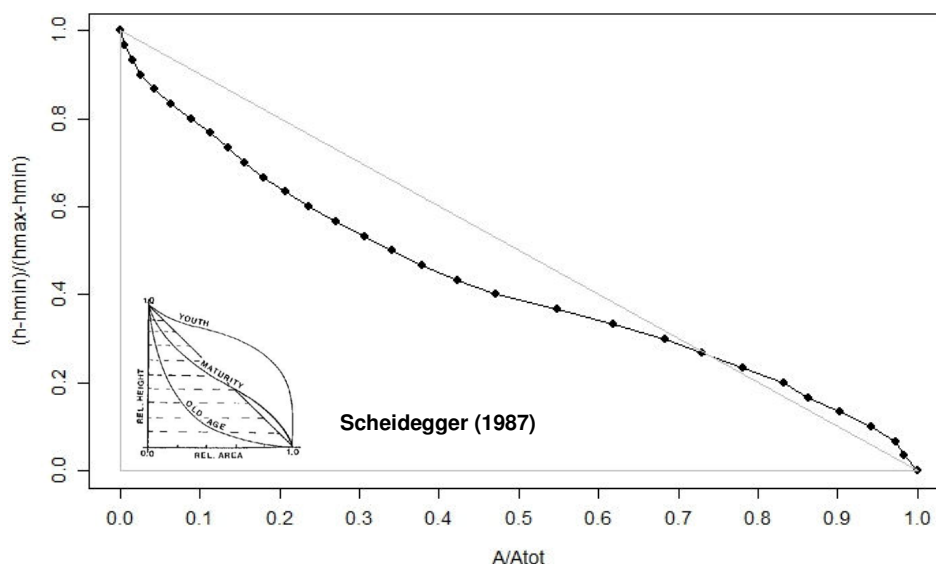


figura 9: Curva ipsografica per il bacino idrografico sotteso Rio Bozon.

Combinando il valore della pendenza media della conoide di deiezione ai piedi del torrente, e l'indice di Melton (Melton, 1965) M dato dal rapporto tra la massima differenza di quota nel bacino di alimentazione del torrente ΔZ e la radice quadrata dell'area del bacino, è possibile ottenere delle informazioni in merito al tipo di processo idraulico prevalente per il bacino oggetto di studio. Secondo l'analisi di Melton riportata in figura 10 il bacino sotteso al Rio Bozon può presentare una propensione allo sviluppo di processi di alluvionamento torrentizio.

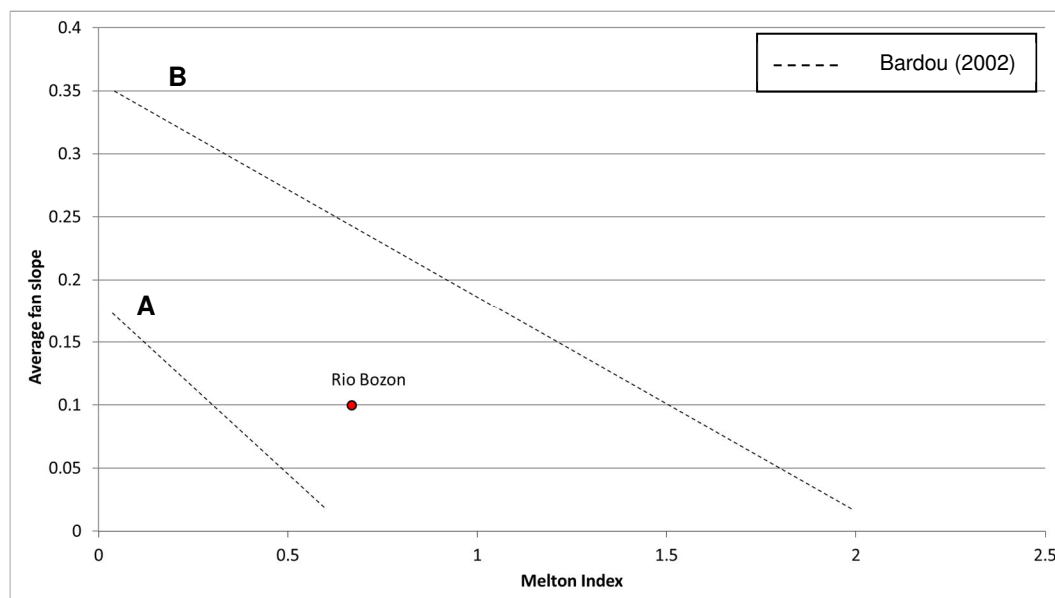


figura 10: Relazione tra la pendenza media della conoide di deiezione e l'indice di Melton (Melton, 1965) per il Rio Bozon. In figura sono anche riportate le linee soglia (proposte da Bardou, 2002) per la classificazione dei processi di propagazione idraulica. La linea soglia A separa i processi di deflusso di acqua chiara o con trasposto di sedimento dai deflussi iperconcentrati, la linea soglia B separa i deflussi iperconcentrati dai processi di colata detritica.

La valutazione della propensione morfologica delle aste torrentizie all'innescò e propagazione di colate detritiche viene effettuata avvalendosi della metodologia proposta da Cavalli e Marchi (2006). Tale metodo consente di valutare se, in presenza di sedimento disponibile ad essere mobilitato, possano presentarsi le condizioni per l'innescò e la propagazione di colate detritiche durante eventi di pioggia estremi. Il metodo assume che l'innescò delle colate dipenda dal superamento di alcuni valori soglia relativi all'area contribuyente e ai valori di pendenza locale lungo le aste torrentizie. Secondo l'approccio di Cavalli e Marchi (2006), le zone caratteristiche di una colata detritica sono le seguenti:

- zone di innescò: sono le zone del reticolo idrografico in cui viene superato un valore di soglia determinato attraverso la relazione $S = 0.32 \cdot A^{0.2}$, in cui S è la pendenza locale (m/m), e A è l'area contribuyente espressa in km². Tale relazione è stata derivata empiricamente da Zimmermann et al. (1997) a partire da diversi eventi di colata in Svizzera. Essa è applicabile per valori di pendenza locale inferiore a 38°, e valori di area contribuyente minore di 10 km²;
- zone di rallentamento: sono le zone del reticolo in cui la pendenza locale è compresa tra i 3° e gli 8°;
- zone di arresto: sono le zone del reticolo in cui la pendenza locale è minore di 3°;
- zone di propagazione: sono le zone del reticolo che non ricadono nelle tre precedenti.

Tale metodo è applicabile per valori di area contribuyente non superiore ai 10 km² (per bacini di estensione maggiore si assume che sia scarsa la probabilità che si verifichi una colata, data la predominanza dell'apporto liquido rispetto a quello solido). Si assume, inoltre, che per valori di pendenza locale maggiori di 38° (valore prossimo all'angolo di attrito interno caratteristico dei materiali detritici spesso presenti nelle zone d'inizio delle colate detritiche in ambito alpino) la quantità di materiale detritico mobilizzabile sia modesta o trascurabile (i.e., piccoli spessori di suolo o substrato roccioso affiorante).

La figura 11 riporta il risultato del metodo di Cavalli e Marchi (2006) relativamente al microreticolo idrografico ricavato per il bacino del Rio Bozon. Le celle lungo il microreticolo idrografico vengono individuate da un codice (1, 2, 3, 4) al quale corrisponde un colore (blu, rosso, verde, giallo) e una classe di appartenenza (propagazione, innescò, rallentamento, arresto). Il risultato dell'applicazione del metodo mostra che sul reticolo prevalgono condizioni di propagazione e nei tratti a monte, mentre nel conoide prevalgono le condizioni di rallentamento e arresto.

In figura 12 viene riportato il profilo longitudinale dei torrenti oggetto di studio.

Le diverse analisi morfometriche effettuate in questo paragrafo hanno chiarito alcuni aspetti riguardo la propensione alla produzione di sedimento all'interno del bacino. I processi erosivi e di produzione del sedimento non risultano essere prevalenti per il bacino idrografico, infatti, è maturo quindi caratterizzato da media attività erosiva. Le analisi effettuate suggeriscono di studiare il fenomeno nel suo complesso come un processo di alluvionamento torrentizio.

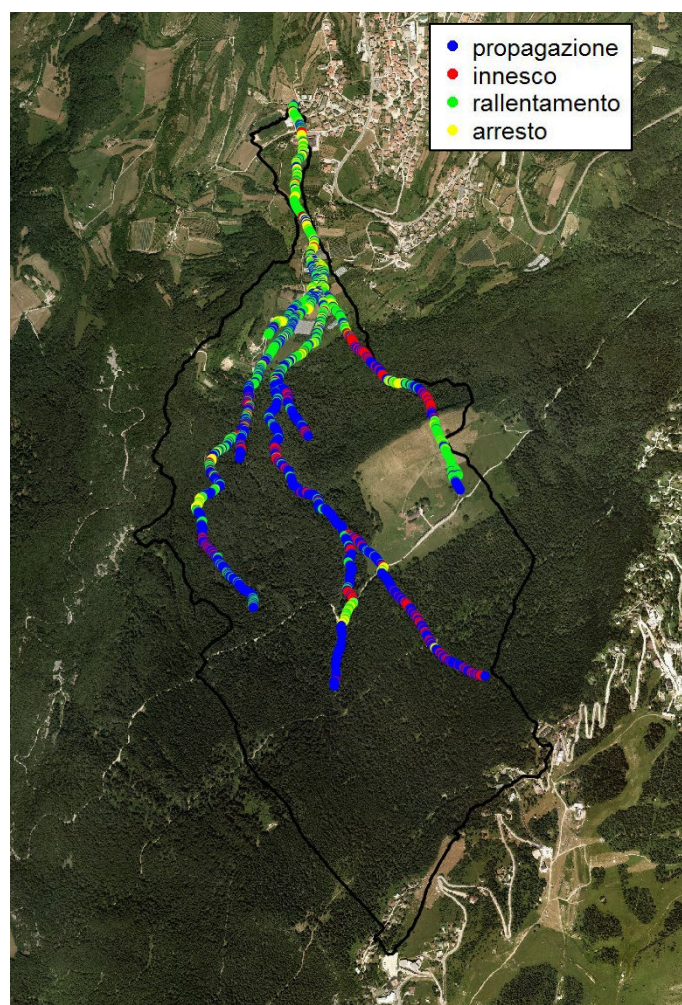


figura 11: Mappa della classificazione del reticolo idrografico relativo al Rio Bozon.

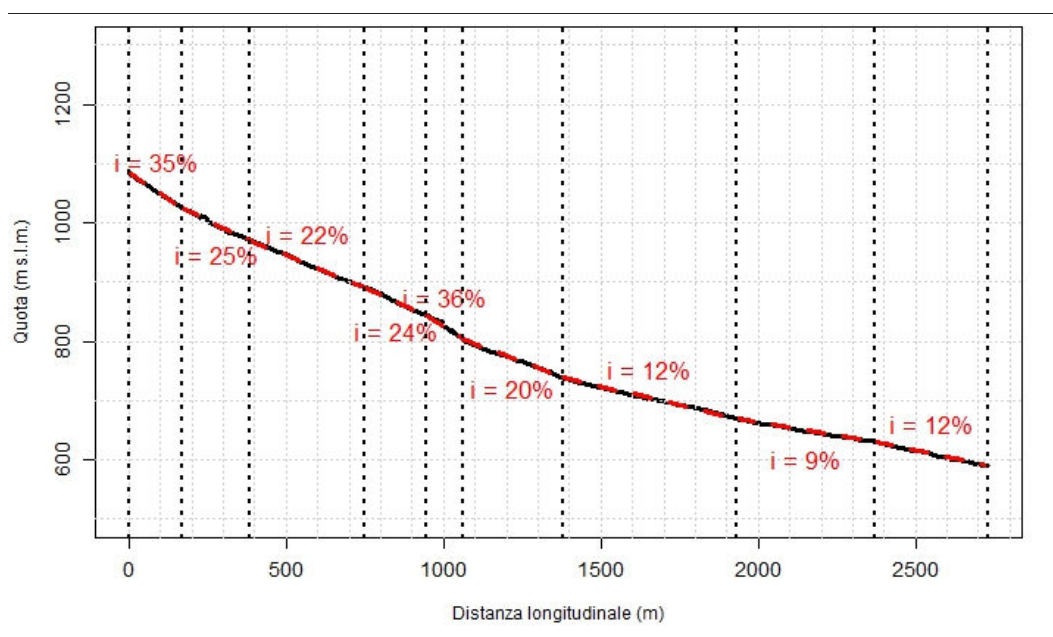


figura 12: Profili longitudinali (linea continua in nera) con l'indicazione della pendenza media per tratti omogenei (linea tratteggiata in rosso).

4.2 Analisi delle sistemazioni esistenti

Il catasto delle opere della Provincia Autonoma di Trento, sul Rio Bozon, riporta la presenza di una serie di briglie di consolidamento e di opere spondali nel tratto a monte dell'abitato di Sopramonte.

In figura 13 e in tabella 3 sono riportate le suddette opere e l'attraversamento su Via di Mura a Sopramonte.

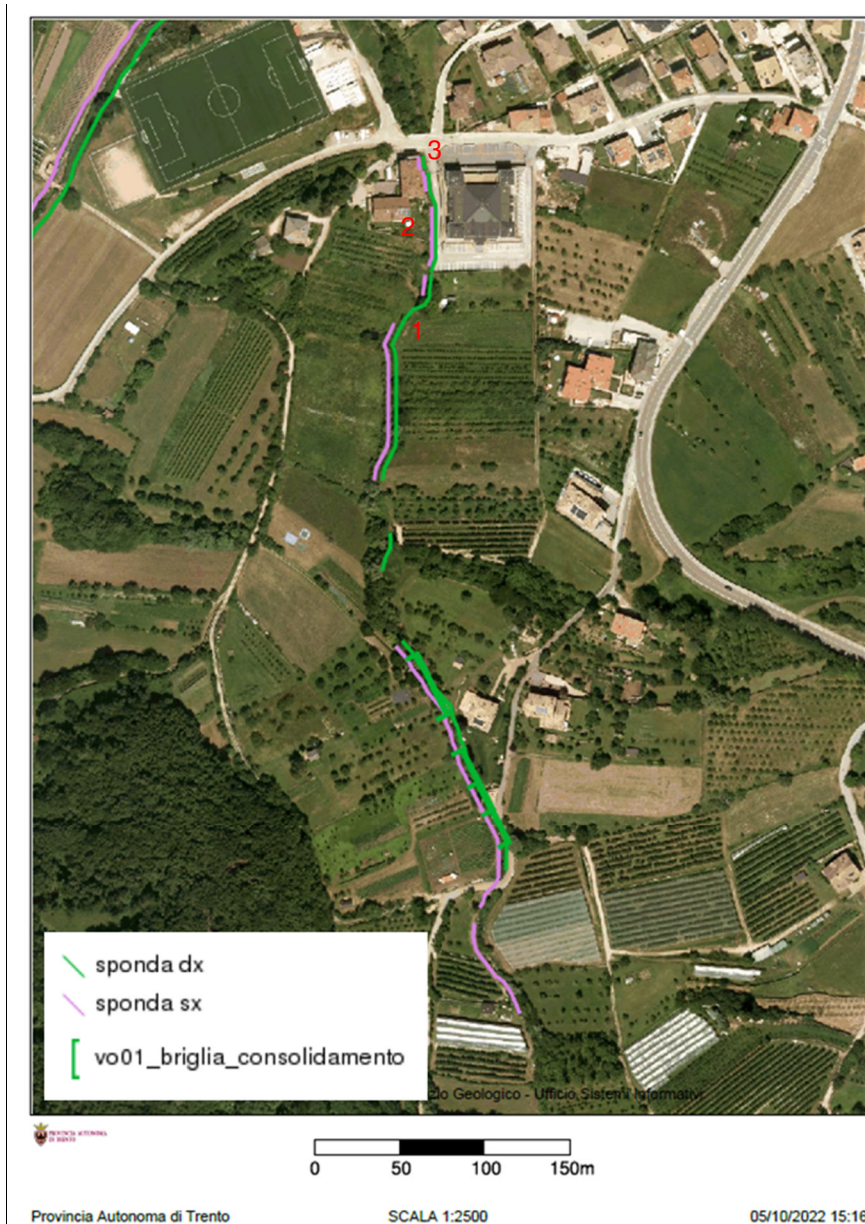


figura 13: Quadro generale delle opere di sistemazione idraulica presenti sul Rio Bozon (Webgis PAT).



1 – Opere spondali lungo il Rio Bozon. Tratto a monte della caserma dei Vigili del Fuoco.



2 – Opera spondale in cemento a monte a fianco della caserma dei Vigili del Fuoco.

3 – Ponte su Via di Mura. Altezza 2.3 m e larghezza 2.5 m.

tabella 3: Analisi di alcune sistemazioni esistenti lungo Rio Bozon.

4.3 Dati storici, analisi dei pericoli noti e dei dissesti

Per quanto riguarda l'analisi dei dati storici e dei dissesti nel bacino del Rio Bozon si fa riferimento alla banca dati del progetto Arca la quale non riporta alcun evento di natura idraulica nel bacino oggetto di studio.

4.4 Sopralluogo e rilievi topografici effettuati

Sul Rio Bozon è stato effettuato un sopralluogo in data 30/09/2022. In tale occasione sul torrente sono state effettuate le misure di alcune sezioni di alveo e in corrispondenza degli attraversamenti.



figura 14: Georeferenziazione delle fotografie effettuate durante il sopralluogo.

Nelle figure riportate di seguito si riportano le immagini acquisite durante il sopralluogo e in figura 14 la loro georeferenziazione.



figura 15: Immagini del Rio Bozon – Punto 1. Opere spondali in massi sciolti e massi cementati.



figura 16: Immagini del Rio Bozon – Punto 2. Alveo a monte della caserma dei Vigili del Fuoco. Punti critici: altezza alveo ridotta a causa del deposito di sedimento in alveo e altezza minima del muro della caserma.



figura 17: Immagini del Rio Bozon – Punto 4. Muro di recinzione esterno – lato sud. Altezza = 0.3 – 0.8 m.



figura 18: Immagini del Rio Bozon – Punto 4. Muro di recinzione interno al piazzale della caserma – lato sud.



figura 19: Immagini del Rio Bozon – Punto 4. Alveo e muro interno del piazzale della caserma – lato ovest.



figura 20: Immagini del Rio Bozon – Punto 5.

4.5 Studio idrologico

Durante eventi di pioggia estremi la formazione del deflusso è fortemente condizionata dalla morfologia del bacino, dalla tipologia di terreno, dal tipo di copertura vegetale e dalle condizioni iniziali di umidità dei suoli. Attraverso il modello Peakflow (Rigon et al., 2011) sono stati calcolati gli idrogrammi di piena (per diversi tempi di ritorno delle precipitazioni: 30 anni, 100 anni e 200 anni) e le caratteristiche delle precipitazioni critiche (intensità e durata dell'evento) che generano tali idrogrammi.

Il modello Peakflow (Rigon et al., 2011) è un modello a fondamento geomorfologico che stabilisce il percorso dei flussi idrici attraverso la definizione delle direzioni di drenaggio estratte dal modello digitale del terreno. Il modello permette di calcolare l'idrogramma di piena per la portata liquida aggregando i deflussi idrici superficiali (i.e., che defluiscono al di sopra della superficie del terreno) e sub-superficiali (i.e., che defluiscono al di sotto della superficie topografica). L'ipotesi di base consiste nell'affermare che le aree sature (i.e., le aree dove lo spessore di suolo è completamente saturo di acqua) contribuiscono al deflusso superficiale, mentre quelle insature contribuiscono al deflusso sub-superficiale (generalmente più lento e quindi meno rilevante in termini di portate al colmo di piena). La trattazione geomorfologica consente di differenziare, punto per punto nel bacino, sia il tipo di deflusso (superficiale vs sub-superficiale) che il tempo necessario alla particella d'acqua per raggiungere la sezione di uscita e contribuire all'idrogramma di piena. Tale approccio è implementato attraverso il calcolo della funzione di ampiezza, ovvero la distribuzione dei tempi di residenza del bacino considerato (Rinaldo et al., 2011).

4.5.1 Input necessari al modello

Al fine di generare un idrogramma di piena nella sezione di chiusura del bacino è necessario determinare alcune funzioni intermedie, definire alcuni parametri di input per il modello, e disporre di dati pluviometrici.

Nello specifico, i parametri di input per il modello sono i seguenti:

- funzione d'ampiezza del deflusso superficiale;
- funzione d'ampiezza del deflusso sub-superficiale;
- velocità dell'acqua nei canali e lungo i versanti (m/s);
- parametro di diffusione idrodinamica (m^2/s);
- parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica: a ed n .

Per la determinazione delle funzioni d'ampiezza relative ai due tipi di deflusso (superficiale e sub-superficiale), occorre stabilire in primo luogo la percentuale di bacino satura, e la percentuale di bacino che, invece, si trova in condizioni di parziale saturazione. In generale, la porzione di bacino saturo viene scelta in funzione di:

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

In linea generale, per bacini montani si stima che in occasione di eventi meteorici estremi con tempi di ritorno mediamente elevati la percentuale satura del bacino si assesti attorno al 25% - 45% dell'area totale. Scelta la percentuale di saturazione del bacino, per differenziare le zone del bacino sature da quelle insature si utilizza l'indice topografico. Tale indice è un indicatore della propensione di un determinato punto del bacino a raggiungere condizioni di saturazione. L'indice topografico (Beven and Kirkby, 1979) TWI (Topographic Wetness Index) è dato dal logaritmo naturale del rapporto tra area contribuente per unità di contorno (A/b) e pendenza locale S :

$$TWI = \frac{\ln(A/b)}{S}$$

In particolare, si può mostrare, sulla base della teoria semplificata sulla quale l'indice topografico si fonda, che i siti con indice topografico più elevato (quelli con area contribuente più grande o pendenza più piccola o con grado di convergenza topografica maggiore) hanno una propensione maggiore a saturarsi. In tale mappa si osserva che, generalmente, i punti che si collocano in prossimità del reticolo idrografico e nelle zone meno pendenti del bacino risultano essere più propensi a saturarsi. Prendendo in considerazione l'equazione che definisce l'indice topografico (TWI) si osserva che ci potrebbero essere zone all'interno del bacino dove non è definito l'indice topografico (queste zone sono quelle con pendenza pari a zero per cui il rapporto area cumulata su pendenza tende ad infinito). Dal momento che i pixel con pendenza bassa hanno elevata propensione alla saturazione a parità di area cumulata, si assegna ai pixel con valore nullo di indice topografico che si trovano all'interno del bacino il valore massimo caratteristico di ogni mappa. Sulla mappa dell'indice topografico viene effettuata un'analisi statistica per ricavare le funzioni di distribuzione cumulata. Da tali grafici è possibile desumere la

percentuale di bacino che presenta un valore di indice topografico superiore ad un certo valore soglia al fine di discriminare le zone sature da quelle insature.

Il calcolo delle distanze ri-scalate relativamente ai siti saturi ed insaturi è propedeutico al calcolo della funzione d'ampiezza. La funzione d'ampiezza descrive la distribuzione di probabilità delle distanze di ogni singolo pixel dalla sezione di chiusura, misurate lungo i vari percorsi di drenaggio (versante + canale) ricavati dall'analisi del DEM. Al fine di differenziare i punti versanti dai punti canale (che contribuiscono al deflusso idrico con tempi differenti) si procede al calcolo delle distanze ri-scalate e successivamente alla definizione della funzione di ampiezza per queste distanze ri-scalate:

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

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

x rappresenta la distanza ri-scalata calcolata attraverso la definizione del rapporto di celerità r .

r , infatti, è il parametro che permette di differenziare il tempo di risposta dei versanti dal tempo di risposta dei canali. Bisogna pertanto stabilire un valore di r per le zone sature (dove l'acqua ruscella superficialmente), ed un valore di r per le zone insature (dove l'acqua defluisce all'interno del mezzo poroso). Generalmente tale parametro viene posto pari a 10 - 20 nelle zone sature, così da assumere che la celerità dell'onda di piena nei canali sia 10 o 20 volte maggiore della celerità del deflusso superficiale lungo i versanti. Nell'ipotesi che l'onda di piena non sia generata dal solo deflusso superficiale, ma anche da una parte di deflusso sub-superficiale, è inoltre necessario calcolare una seconda mappa delle distanze ri-scalate per il deflusso sub-superficiale. In questo caso valori plausibili di r sono compresi tra 100 e 500.

L'elaborazione statistica delle mappe delle distanze ri-scalate permette di ricavare le funzioni di ampiezza per i deflussi idrici superficiali e sub-superficiali che vengono utilizzate per il calcolo dell'idrogramma di piena.

Il calcolo degli idrogrammi liquidi di input per le simulazioni idrauliche è stato effettuato considerando sei diversi valori per la percentuale di saturazione del bacino (20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%). In tabella 4 sono riportati i valori assegnati ai parametri di input scelti per caratterizzare il bacino del Rio dele Mole per condurre le modellazioni afflussi-deflussi attraverso il modello idrologico *Peakflow*.

4.5.2 Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica - LSPP

Nella tradizionale pratica idrologica la procedura utilizzata per la stima delle LSPP si articola nei seguenti tre passaggi fondamentali:

1. identificazione del modello probabilistico rappresentativo della serie dei massimi annuali delle altezze di pioggia di assegnata durata. Si noti che tale modello può, a rigore, essere diverso per le varie durate;
2. stima dei parametri della distribuzione di probabilità prescelta per ciascuna durata di pioggia e determinazione, per ciascuna durata d , delle piogge di assegnato tempo di ritorno T (quantili), qui indicati come $h_T(d)$;

- interpolazione dei valori dei quantili di precipitazione ottenuti per le varie durate al fine di ottenere, per ciascun tempo di ritorno considerato, la corrispondente LSPP.

Questa procedura viene denominata metodo dei quantili regolarizzati, poiché si basa sulla regolarizzazione statistica delle stime relative ai quantili di diversa durata. Una volta stimati i parametri della regressione, le altezze di precipitazione sono esprimibili mediante una relazione, da tempo adottata nella pratica progettuale italiana, del tipo:

$$h_T(d) = \alpha_T \cdot d^n$$

I parametri α_T ed n che descrivono le Linee di Segnalazione di Possibilità Pluviometrica – LSPP (altezze di precipitazione) in funzione del tempo di ritorno e della durata della precipitazione (tabella 5) sono stati estrapolati dai dati raster con definizione 500x 500 m a copertura provinciale, forniti dalla Provincia Autonoma di Trento, tramite il software ADB ToolsBox.

4.5.3 Risultati della modellazione idrologiche

In figura 21 sono riportati gli idrogrammi delle portate liquide calcolate dal modello per i diversi tempi di ritorno delle precipitazioni (30, 100, e 200 anni) ed in relazione al diverso grado di saturazione ipotizzato per l'intero bacino.

Parametri Peakflow	Valore
% di saturazione	25, 30, 35
Velocità nel canale v_c [m/s]	2.0
Coeff. Diffusione idrodinamica D [m ² /s]	500
$rsat$ [-]	10
$runsat$ [-]	0

tabella 4: Parametri di input scelti per il modello Peakflow del bacino sotteso al Rio Bozon.

Rio Bozon – $h_T(d) = \alpha_T \cdot d^n$										
Tempo di ritorno (anni)									Durata di precipitazione (h)	
α_T									n	
2	5	10	20	30	50	100	200	300	< 1h	> 1h
19.602	24.854	28.332	31.668	33.586	35.895	39.221	42.444	44.327	0.366	0.358

tabella 5: Parametri della LSPP per il bacino sotteso al Rio Bozon per diversi tempi di ritorno per precipitazioni di durata superiore ed inferiore ad 1 ora (ADB ToolsBox).

In tabella 6 sono sintetizzate le caratteristiche principali degli idrogrammi liquidi. Nella stessa tabella è anche indicato il volume di piena V_{piena} , ossia il volume di acqua che transita nella sezione di chiusura del bacino durante il passaggio del colmo di piena. Fissato il Tempo di ritorno dell'evento meteorico, il modello Peakflow permette di identificare la precipitazione critica che massimizza la portata di picco Q_{max} . Le caratteristiche di tale precipitazione critica (intensità e durata di pioggia) sono riportate, rispettivamente, nella quarta e quinta riga delle seguenti tabelle. Il rapporto tra il volume di piena e il

volume di pioggia complessivo (dato dal prodotto $I_{crit} \cdot d_{crit} \cdot A$) indica la percentuale di volume di pioggia che transita nella sezione di chiusura del bacino durante il passaggio del colmo di piena.

Rio Bozon										
Simbolo	Unità	sat=25%			sat=30%			sat=35%		
		30	100	200	30	100	200	30	100	200
Q_{max}	m³/s	5.56	6.49	7.03	6.6	7.71	8.34	7.68	8.97	9.71
Q_{max}/A	m³/km²·s	2.38	2.78	3.01	2.83	3.3	3.57	3.29	3.84	4.16
V_{piena}	m³	15453	18046	19529	18576	21693	23476	21628	25257	27332
I_{crit}	mm/h	54	63	68	54	63	68	54	63	68
d_{crit}	h	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
$V_{pioggia}$	m³	61905	72292	78232	62091	72508	78467	62079	72495	78452
r_v	-	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	0.35	0.35	0.35

tabella 6: Parametri riassuntivi delle simulazioni idrologiche. Bacino sotteso al Rio Bozon.

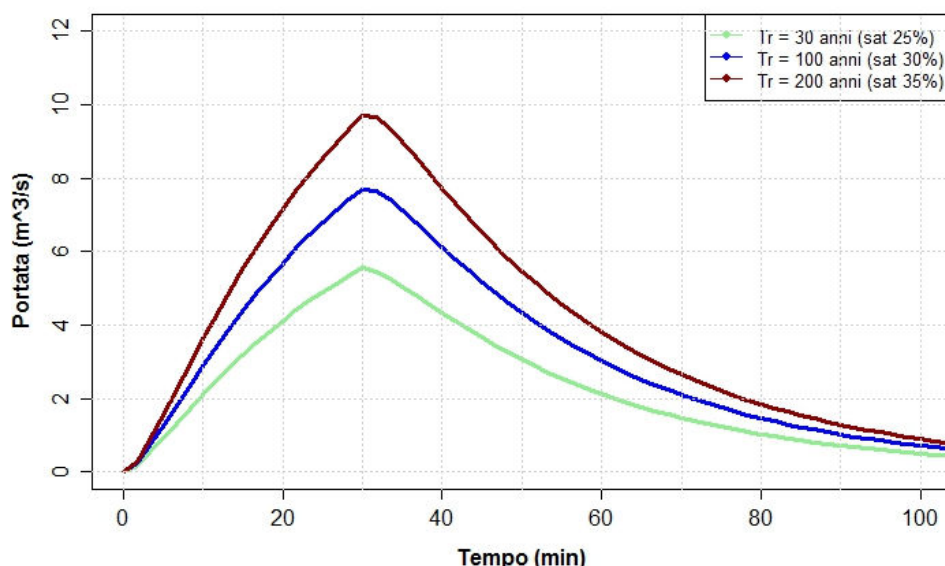


figura 21: Idrogramma liquido per i diversi tempi di ritorno delle precipitazioni per il bacino sotteso al Rio Assat per i diversi gradi di saturazione.

4.6 Stima dell'apporto solido e definizione del processo idraulico da simulare

La stima del materiale solido che può essere presente all'interno delle aste fluviali e che può essere movimentato dall'onda di piena liquida è di estrema rilevanza per una corretta interpretazione del fenomeno di deflusso (colata detritica, alluvionamento torrentizio, o deflusso di acqua chiara) e della conseguente modellazione fisica dei processi di propagazione delle piene. Per definire la concentrazione - c - della mistura acqua-sedimenti, è pertanto indispensabile conoscere sia la quantità di materiale disponibile ad essere movimentato dal passaggio di un fronte liquido che la quantità di materiale che effettivamente detto fronte liquido riesce a prendere in carico (materiale movimentabile). Il minimo tra questi due valori determinerà il valore di concentrazione della mistura.

In funzione del valore di concentrazione volumetrica di materiale solido, il comportamento fisico della miscela acqua-sedimento varia considerevolmente passando da un comportamento tipicamente newtoniano con trasporto solido di fondo (per bassi valori di concentrazione della fase solida), a comportamenti granulo-inerziali (ad esempio) tipici di colate detritiche in ambienti alpini (per alti valori di concentrazione della fase solida). La concentrazione volumetrica della frazione solida, c , di una mistura acqua-sedimento è data dal rapporto tra il volume della frazione solida ed il volume complessivo della mistura:

$$c_v = \frac{V_s}{V_s + V_R + V_W} = \frac{V_s}{V_s + V_a}$$

dove:

- V_R (m^3) = volume della parte liquida;
- V_W (m^3) = volume dell'acqua presente nei pori interstiziali dell'ammasso granulare che viene eroso durante il passaggio di un fronte liquido;
- V_s (m^3) volume della fase solida;
- V_a (m^3) = volume complessivo della parte liquida.

La somma di V_s e V_W rappresenta il volume del sedimento compreso dei suoi pori (V_{sed}). Generalmente si fa l'ipotesi che i pori interstiziali siano completamente saturi di acqua durante il passaggio di piene torrentizie con alto tempo di ritorno. Ragionando in termini di massa, la concentrazione del sedimento assume la seguente forma:

$$c_w = \frac{W_s}{W_s + W_a}$$

dove:

- W_a : peso della frazione liquida della mistura acqua-sedimento;
- W_s : peso della frazione solida della mistura acqua-sedimento.

Il volume complessivo di detta mistura può essere determinato moltiplicando il volume liquido V_a per il bulking factor BF definito come:

$$B_F = \frac{1}{1 - c_v}$$

Il processo di trasporto che avviene all'interno dei canali determina in maniera sostanziale i volumi di sedimento che possono raggiungere le zone vallive, ed i tempi ed i modi di rilascio di questi ultimi nel tratto regimato o nelle aree di esondazione. Il materiale solido può essere trasportato come "normale" trasporto solido (basse concentrazioni di sedimenti), deflusso iper-concentrato, mud flows o colate detritiche (concentrazioni di materiale solido molto elevate). Il trasporto solido avviene generalmente su torrenti caratterizzati da pendenze ridotte (non superiori al 10%) e si manifesta con limitati fenomeni di erosione e deboli accumuli di materiale in alveo. Le colate detritiche sono in grado di trasportare materiale estremamente eterogeneo (grossi massi, materiale legnoso, materiale più fine) e si manifestano su torrenti caratterizzati da pendenze elevate (comunemente maggiori del 15 - 20%), con

alto potere erosivo del fondo e delle sponde d'alveo. I torrenti interessati da colate detritiche (o flussi iper-concentrati) sono spesso riconoscibili da tracce sul territorio (i cosiddetti "testimoni silenti") quali, ad esempio, conoidi di deiezione, cordoni detritici laterali (caratterizzati da materiale di dimensione molto eterogeneo e grossi blocchi generalmente sospesi nella parte alta della matrice detritica), innalzamento del letto, ostruzioni d'alveo, ecc.

Nel presente studio, al fine di comprendere la natura del processo fisico da simulare per il sistema idraulico in questione (colata, alluvionamento torrentizio, o deflusso d'acqua chiara) e al fine di determinare la concentrazione di sedimento con cui caratterizzare la miscela acqua-sedimento, sono state fatte analisi geomorfologiche su base DEM, supportate dall'osservazione diretta di campo mediante riconoscimento dei cosiddetti testimoni silenti (e.g., evidenze di colata e trasporto solido, ricognizione delle sorgenti di detrito situate lungo il reticolo idrografico).

Sulla base delle analisi svolte, dei rilievi effettuati in campo e delle informazioni raccolte in relazione all'attività del torrente, i fenomeni di deflusso lungo il Rio Bozon sono stati considerati come alluvionamento torrentizio.

4.7 Relazione idraulica

Le simulazioni idrauliche del Rio Bozon sono state effettuate mediante modellazioni idrauliche bi-dimensionali a fondo mobile (software Trent2D-ts), per valutare effetti di eventuali depositi in alveo, e a fondo fisso, per valutare l'estensione dell'esondazione, considerando il processo prevalente di alluvionamento torrentizio

4.7.1 Breve descrizione dei software utilizzati

4.7.1.1 Il modello Trent 2D

Il modello Trent-2D (Armanini et al., 2009) è un modello bidimensionale che permette la simulazione della propagazione delle colate di detriti con reologia di tipo granulo-inerziale, e processi di trasporto solido su alveo a fondo mobile. Il modello matematico che sta alla base del codice Trent-2D si fonda sull'ipotesi di base che il comportamento della colata sia quello di una miscela bifasica di sedimenti e acqua in cui non vi sia sfasamento tra le velocità della fase liquida e della fase solida, né in termini direzionali né in termini di modulo del vettore velocità media sulla verticale. Il modello considera in maniera del tutto accoppiata la dinamica della miscela con quella dell'evoluzione morfologica del fondo alveo e, per questo, è possibile stimare e analizzare i processi erosivi e deposizionali che possono manifestarsi all'interno e all'esterno dell'asta torrentizia. Per approfondimenti sul codice di calcolo, si rimanda a Armanini et al. (2009); Rosatti e Fraccarollo (2006) e Rosatti et al. (2008).

Trent-2D include due diversi modelli numerici: il modello Trent-2Ddf che permette la simulazione di colate di detriti con reologia di tipo granulo-inerziale su fondo mobile, ed il modello Trent-2Dts che, invece, consente di modellare fenomeni di trasporto solido sul fondo. I due modelli utilizzano le medesime equazioni di base (conservazione della massa totale, conservazione della massa solida e conservazione della quantità di moto) e lo schema numerico di risoluzione, ma differiscono in merito

alle leggi di chiusura reologiche, che descrivono la capacità di trasporto e le tensioni tangenziali al fondo in funzione della concentrazione volumetrica della componente solida.

Trent 2D-ts

In Trent-2Dts lo sforzo tangenziale al fondo viene espresso utilizzando la relazione di Gaukler -Strickler valutata con i valori locali ed istantanei delle variabili idrodinamiche. L'espressione della capacità di trasporto è la stessa utilizzata in Trent-2Ddf in cui il parametro β può essere stimato attraverso la seguente formula:

$$\beta = \frac{8gd(Bh)^3}{c_b Q^3} \left(\frac{R_h i_f}{\Delta d} - \theta_c \right)^{3/2} (g\Delta d)^{0.5}$$

dove d è il diametro rappresentativo del materiale trasportato, B la larghezza media dell'alveo, R_h il raggio idraulico di un tratto rappresentativo del campo di moto che si vuole simulare, e Q è la portata totale caratteristica, pari a 0.7-0.9 la portata di picco dell'onda di piena.

4.7.1.2 Il modello FLO 2D

FLO-2D è un modello bidimensionale in grado di simulare la propagazione dell'onda di piena liquida e di colate detritiche tenendo conto delle possibili interazioni con opere idrauliche (ponti, argini e tombini) ed i vari impedimenti al libero deflusso idrico presenti nelle aree antropizzate (per esempio gli edifici). FLO-2D risolve l'equazione dei momenti in forma completa (termine cinematico più termine diffusivo) in uno schema numerico alle differenze finite. I risultati di output del modello consistono in mappe di tirante idrico e velocità in ogni punto del dominio di calcolo.

Le simulazioni idrauliche possono essere effettuate o in condizioni completamente bi-dimensionali, o in condizioni bi-dimensionali nella floodplain e monodimensionali nel canale.

Le equazioni di governo sono i bilanci di conservazione della massa e della quantità di moto:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hv_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hv_y)}{\partial y} = i$$

$$S_{fx} = S_{0x} - \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{v_x}{g} \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{v_y}{g} \frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial v_x}{\partial t}$$

$$S_{fy} = S_{0y} - \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{v_x}{g} \frac{\partial v_y}{\partial x} + \frac{v_y}{g} \frac{\partial v_y}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial v_y}{\partial t}$$

dove h è il tirante idrico, v_x e v_y sono le velocità medie lungo le direzioni x e y , t è il tempo, S_{fx} e S_{fy} rappresentano le perdite di carico unitario e S_{0x} e S_{0y} sono la pendenza del fondo in direzione x e y .

Il software utilizza come mesh di calcolo una griglia strutturata a maglie quadrate, e lo schema numerico è alle differenze finite. La natura esplicita dello schema di risoluzione richiede che vengano rispettate le condizioni di stabilità di Courant-Friedrich-Lewy (Jin & Fread, 1997):

$$\Delta t \leq C \frac{\Delta x}{v + c}$$

Dove C è il numero di Courant, Δx è la dimensione della maglia di calcolo, v è la velocità media del moto e c è la celerità d'onda. Per maggiori specifiche relative al modello numerico si rimanda alla consultazione del manuale tecnico.

Per ulteriori specifiche sull'equazioni del modello e lo schema numerico si rimanda a O'Brien (1993, 1999, 2003, 2009).

4.7.2 Considerazioni modellistiche e definizione ed argomentazione degli scenari di pericolo assunti

Gli idrogrammi liquidi sono quelli che derivano dalle simulazioni idrologiche. Con maggiore precisione si sceglie di collegare il tempo di ritorno della portata con il tempo di ritorno dell'evento di pioggia (su basi statistiche – LSPP) e con il grado di saturazione del bacino. Si suppone, in sostanza, che l'incremento del tempo di ritorno dell'onda di piena dipenda anche da un maggiore grado di saturazione del bacino idrografico. Per le successive simulazioni si utilizzeranno i seguenti gradi di saturazione:

- Per $t_r = 30$ anni: grado di saturazione per l'intero bacino pari al 25%;
- Per $t_r = 100$ anni: grado di saturazione per l'intero bacino pari al 30%;
- Per $t_r = 200$ anni: grado di saturazione per l'intero bacino pari al 35%.

SCENARI ASSUNTI

Per valutare il pericolo nell'area di studio sono stati ipotizzati i seguenti scenari:

1. Modellazione bidimensionale a fondo mobile: modellazione con tempo di ritorno di 200 anni per valutare eventuali effetti di deposito del sedimento.
2. Modellazione bidimensionale a fondo fisso: per valutare l'estensione dell'esondazione. Per questo scenario sono stati considerate le seguenti ipotesi:
 - a. Ponte su Via di Mura libero: modellazione dei tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni
 - b. Ponte su Via Mura ostruito: modellazione del tempo di ritorno di 200 anni nell'ipotesi di ostruzione della luce del ponte a causa dell'elevata presenza di materiale vegetale in alveo. A favore di sicurezza si ipotizza la totale ostruzione.

DOMINIO COMPUTAZIONALE

Per la modellazione idraulica a fondo mobile è stato utilizzato il software di calcolo Trent2D- ts, con una risoluzione a maglia quadrata avente dimensione di 0.5x0.5 m. In figura 22, a sinistra, si riporta il dominio considerato per la modellazione a fondo mobile.

Per la modellazione idraulica a fondo fisso è stato utilizzato il software di calcolo Flo-2D, con una risoluzione a maglia quadrata avente dimensione di 1x1 m. In figura 22, a destra, si riporta il dominio considerato per la modellazione a fondo fisso.

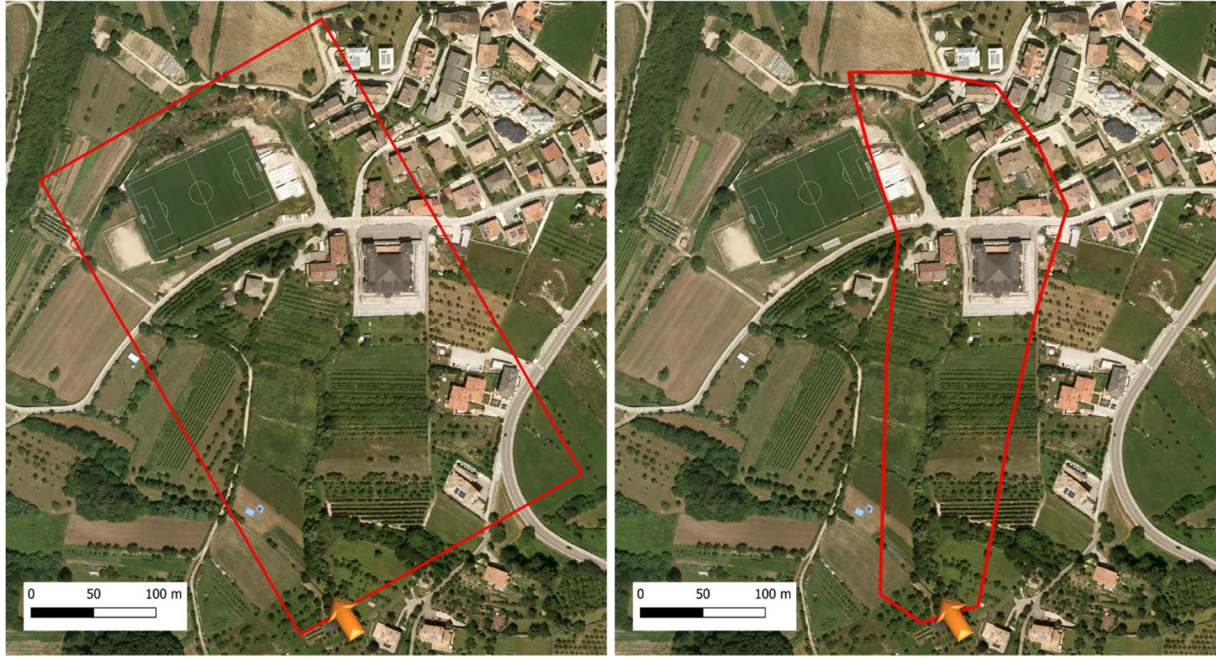


figura 22: Dominio computazionale della confluenza tra il Rio Bozon. A sinistra: software Trent2D. A destra: software Flo2D.

CONDIZIONI AL CONTORNO E DEI PARAMETRI DI INPUT PER LE SIMULAZIONI

Le condizioni sul contorno (i lati in uscita dal dominio computazionale) sono imposte uguagliando i flussi in uscita dalla generica cella con quelli valutati nella cella subito a monte. In tal modo si simula una condizione di libero deflusso per gli apporti idrici provenienti da monte.

Idrogramma e sedimentogramma di input. Il calcolo dell'idrogramma solido-liquido di input per le modellazioni idrauliche è stato effettuato assumendo una concentrazione volumetrica dei sedimenti, c , costante per l'intero idrogramma liquido in arrivo nel generico punto dell'asta torrentizia. Il calcolo del sedimentogramma viene effettuato attraverso la stima del materiale solido disponibile, V_{sed}^{disp} (su base geomorfologica), e del materiale teoricamente trasportabile dal processo di alluvionamento torrentizio (valutato ipotizzando condizioni di moto uniforme nella sezione presa a riferimento per il calcolo tramite la formula di MPM), V_{sed}^{pot} .

Rio Bozon – Pendenza motrice $\cong 7\%$						
	evento	$c [-]$	F_b	$Q_{mix} [m^3]$	$V_{sed} [m^3]$	$V_s [m^3]$
Volume equilibrio	Tr = 30 anni	0.052	1.08	6.04	1340	870
	Tr = 100 anni	0.051	1.08	8.37	1850	1205
	Tr = 200 anni	0.050	1.08	10.53	2305	1500

tabella 7: Dati di sintesi degli idrogrammi acqua-sedimenti per i diversi tempi di ritorno degli eventi per il Rio Bozon.

Il confronto tra V_{sed}^{disp} e V_{sed}^{pot} determina il volume di materiale solido effettivamente trasportato dal processo ($V_{sed}^{effettivo} = \min\{V_{sed}^{disp}, V_{sed}^{pot}\}$) ed il conseguente sedimentogramma. In tabella 7 sono riportati

i dati di sintesi dell'idrogramma e del sedimentogramma per il Rio Bozon: concentrazione volumetrica della frazione solida c , fattore di amplificazione della portata liquida $F_b = 1/(1 - c/c^*)$, volume del sedimento compreso dei suoi pori $V_{sed} = V_s + V_w$, e volume della frazione solida V_s . Per la modellazione si utilizza il volume solido all'equilibrio.

In figura 23 sono riportati gli idrogrammi della miscela acqua-sedimenti utilizzati come dato di input per le simulazioni idrauliche a fondo mobile del Rio Bozon. In tabella 7 si riportano i parametri dei relativi sedimentogrammi.

Per la modellazione con il software a fondo fisso Flo2D è stato utilizzato l'idrogramma di miscela

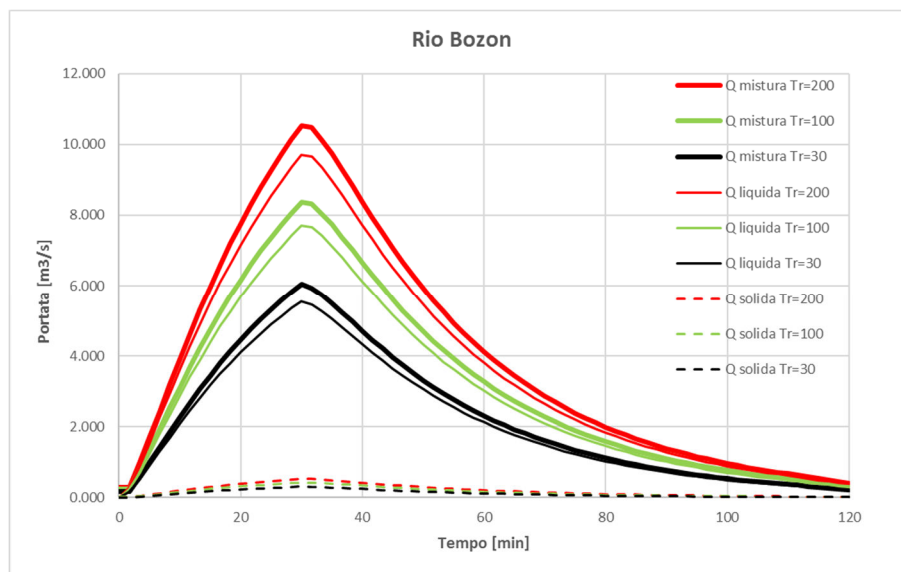


figura 23: Sedimentogrammi per i diversi tempi di ritorno utilizzati come dati di input per le simulazioni idrauliche del Bozon per i tempi di ritorno considerati.

4.8 Risultati delle modellazioni idrauliche

Scenario 1

In figura 24 sono riportate le mappe dei tiranti massimi e dei depositi massimi per eventi critici di alluvionamento torrentizio caratterizzati da tempo di ritorno di 200 anni per lo scenario 1. Dalle immagini emerge che il torrente nel tratto esaminato è tendenzialmente in deposito. Il deposito in alveo riduce la sezione e induce l'esondazione in destra idrografica. Il flusso esondato impatta contro il muro della caserma dei Vigili del Fuoco e lo scavalca nel tratto più ad ovest in cui l'altezza della recinzione è di circa 0.3 m. L'esondazione prosegue, verso nord, nel piazzale della caserma, raggiunge via di Mura e si incanala lungo Via del Regolin, interessando in parte l'area oggetto di studio, con tiranti massimi inferiori a 0.1 m.

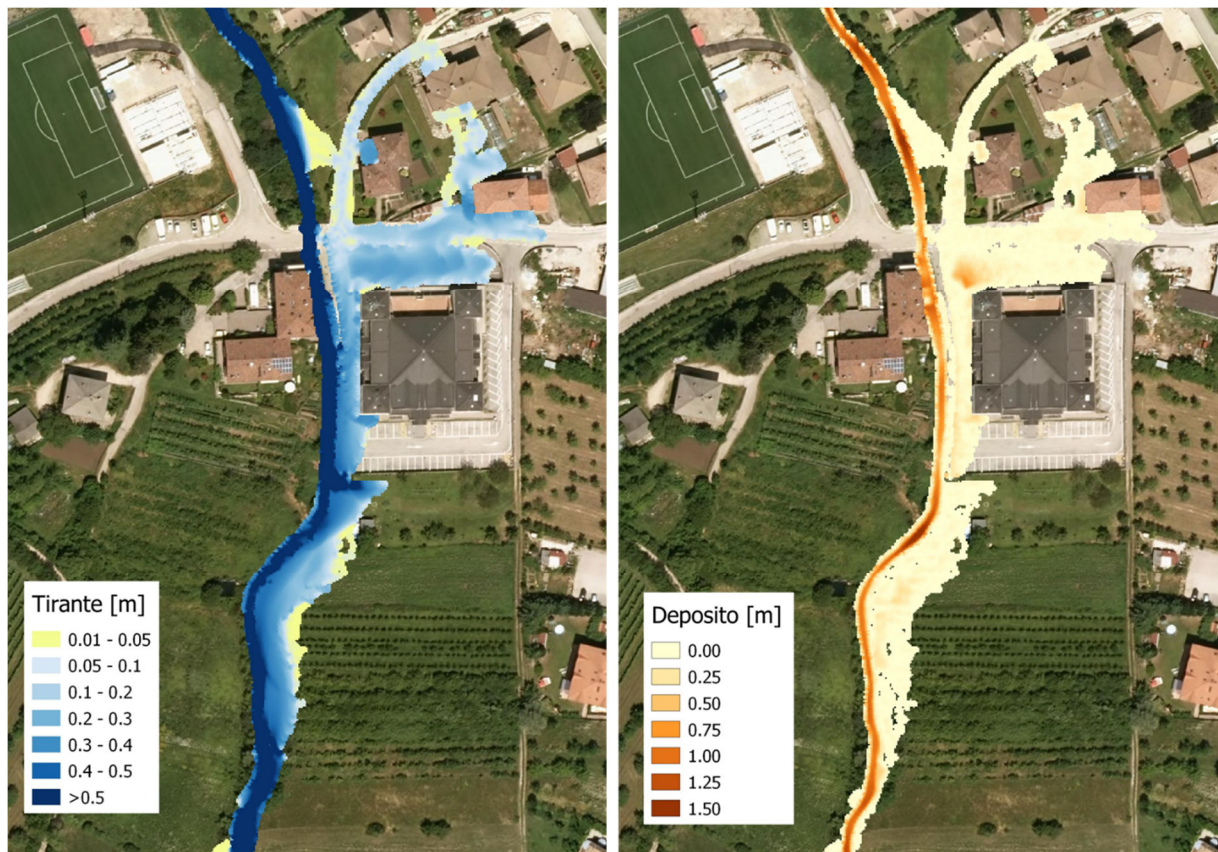


figura 24: Scenario 1 - Tr200 - Massimi valori dei tiranti idraulici (a sinistra) e di deposito (a destra). Software Trent2D.

Scenario 2 - A

In figura 25, figura 26 e figura 27 sono riportate le mappe dei tiranti massimi e delle velocità massime per eventi critici di alluvionamento torrentizio caratterizzati da tempo di ritorno di 30, 100 e 200 anni per lo scenario 2 - A. Dalle immagini emerge il flusso esonda, come per lo Scenario 1, in destra idrografica, in un tratto in cui l'altezza dell'alveo è inferiore rispetto alla sinistra idrografica. Il flusso esondato impatta contro il muro della caserma dei Vigili del Fuoco. L'altezza della recinzione è sufficiente a contenere l'esondazione per tempo di ritorno di 30 anni, mentre per tempi di ritorno di 100 e 200 anni il flusso lo scavalca nel tratto più ad ovest in cui l'altezza della recinzione è di circa 0.3 m. L'esondazione prosegue, verso nord, nel piazzale della caserma, raggiunge via di Mura e si incanala lungo Via del Regolin, interessando in parte l'area oggetto di studio, con tiranti massimi inferiori a 0.1 m.

Scenario 2 - B

In figura 28 sono riportate le mappe dei tiranti massimi e delle velocità massime per eventi critici di alluvionamento torrentizio caratterizzati da tempo di ritorno di 200 anni per lo scenario 2 - B, nell'ipotesi di ostruzione del ponte su via di Mura. Dal confronto con gli scenari precedenti non si notano sostanziali differenze tra le aree interessate e l'intensità dell'esondazione.

In figura 29 si riporta il dettaglio del campo di moto nell'area di studio. Il flusso si incanala lungo via Regolin, la pendenza della strada favorisce il deflusso lungo di essa e verso l'area di studio per poi defluire nuovamente nell'alveo del torrente.

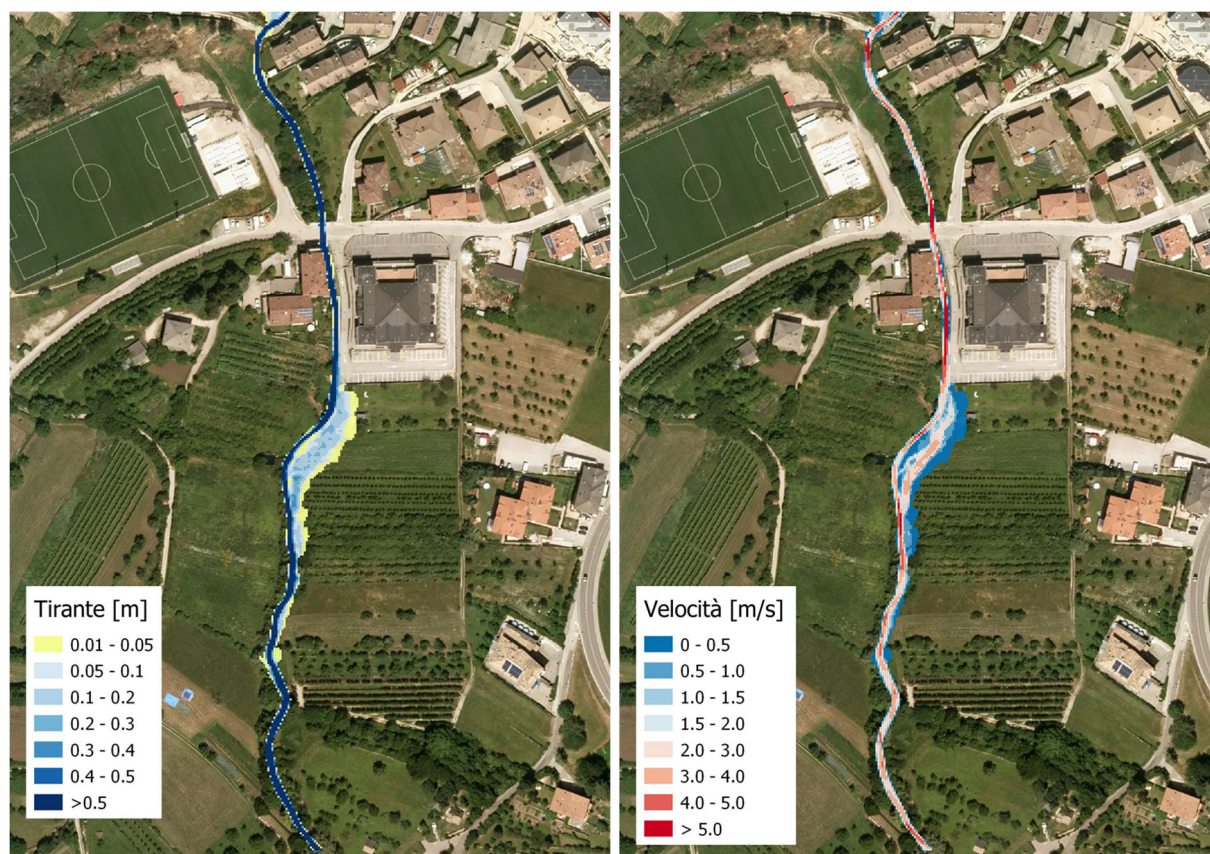


figura 25: Scenario 2 – A – Tr30 - Massimi valori dei tiranti idraulici (a sinistra) e di deposito (a destra).

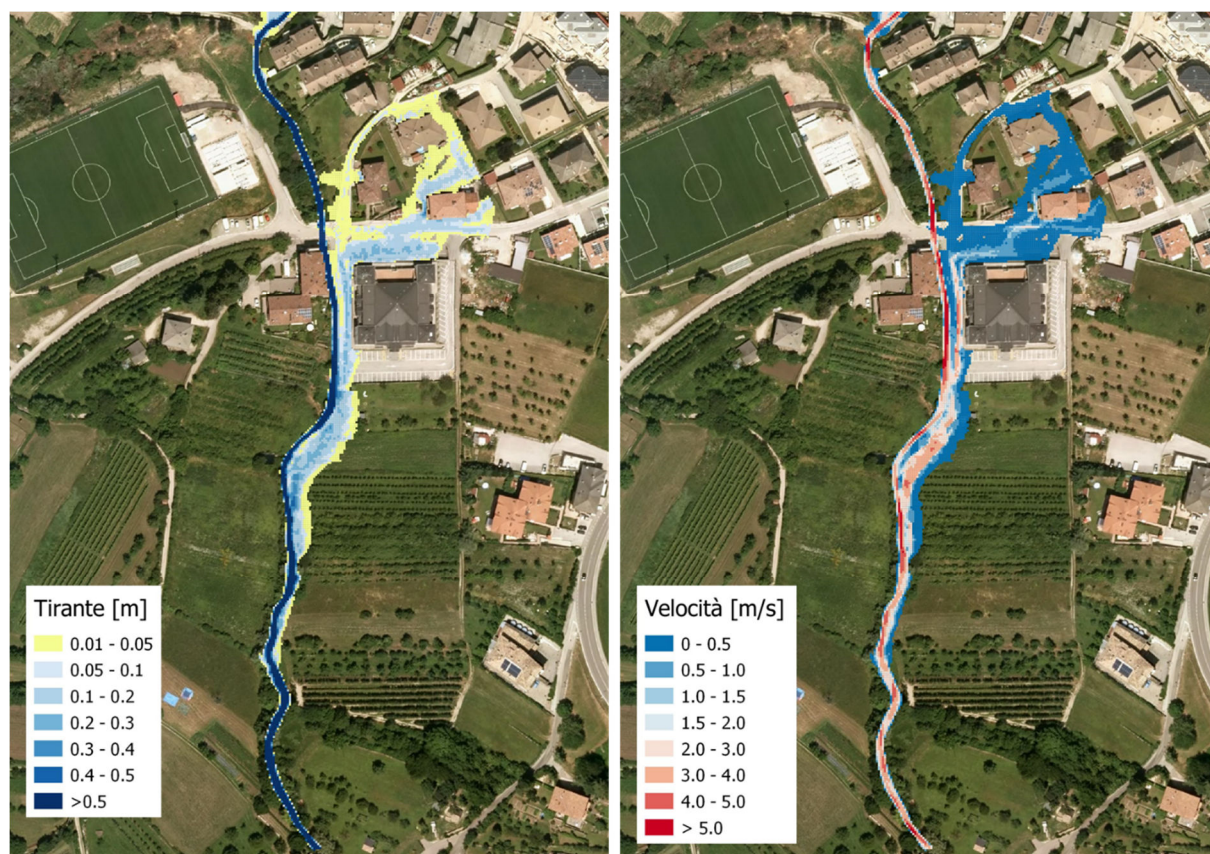


figura 26: Scenario 2 – A. Tr100 - Massimi valori dei tiranti idraulici (a sinistra) e di deposito (a destra).

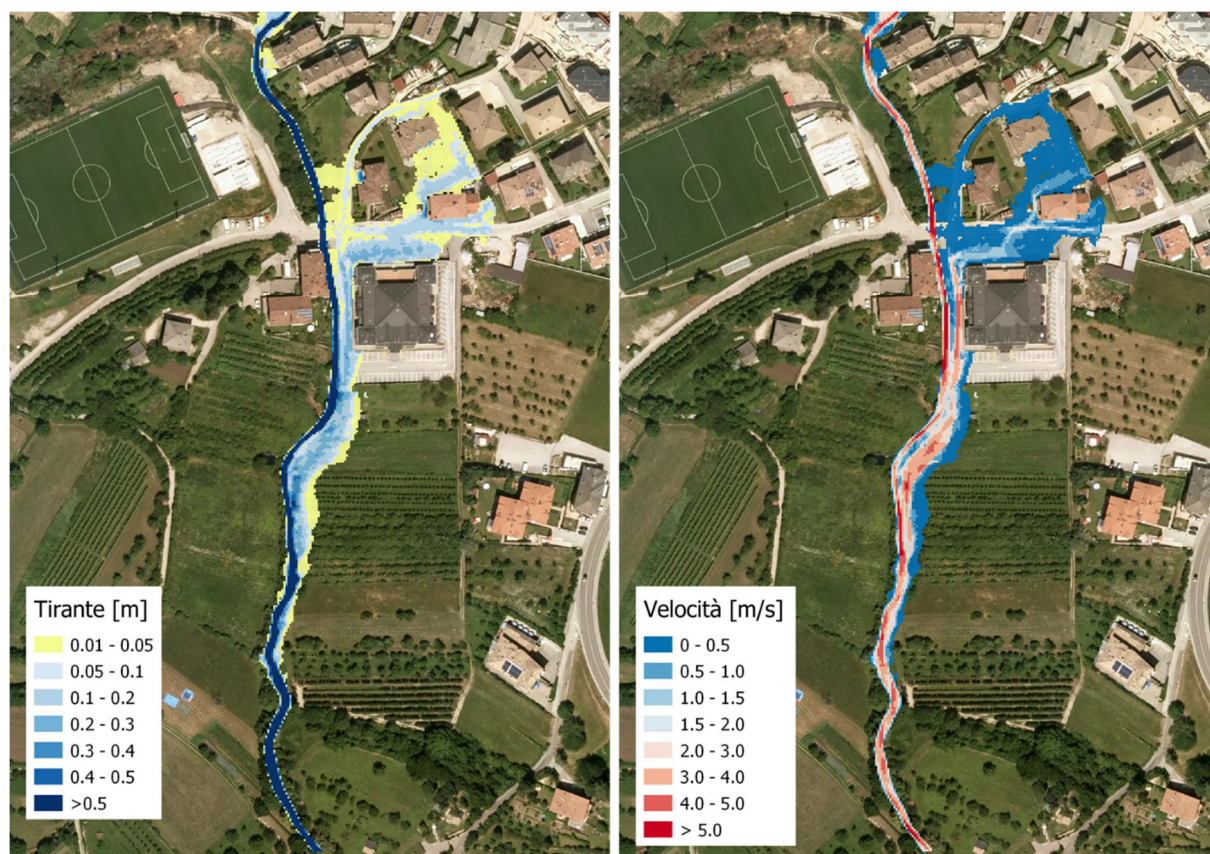


figura 27: Scenario 2 – A. Tr200 - Massimi valori dei tiranti idraulici (a sinistra) e di deposito (a destra).

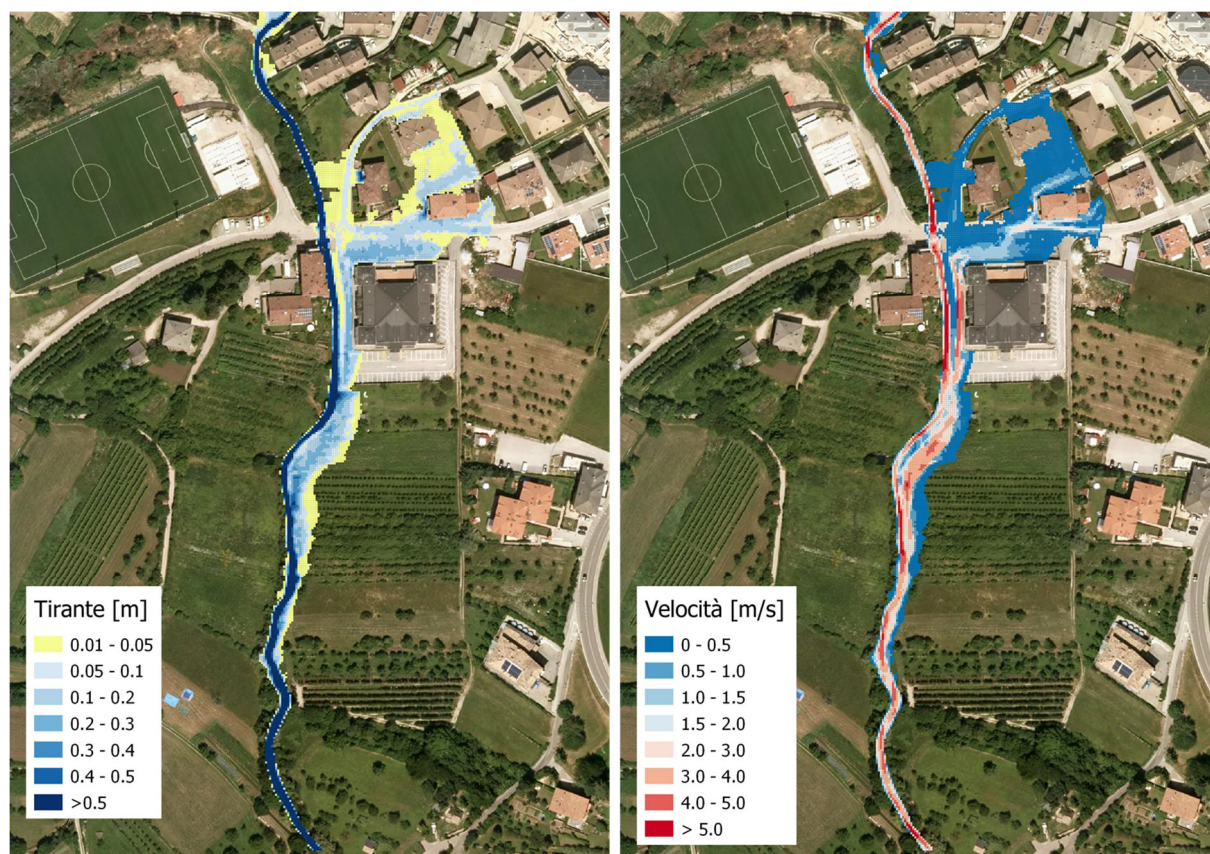


figura 28: Scenario 2 – B. Tr200 - Massimi valori dei tiranti idraulici (a sinistra) e di deposito (a destra).

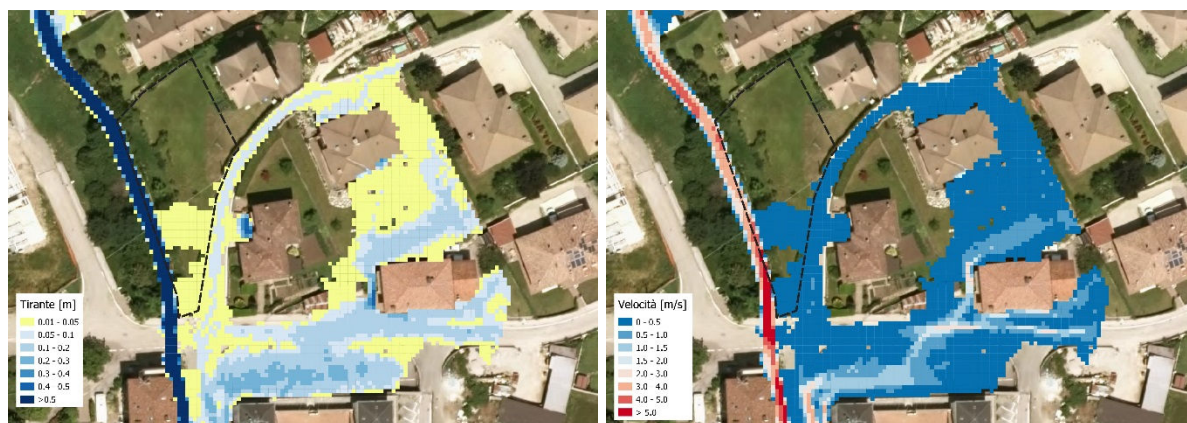


figura 29: Scenario 2 – B. Tr200 - Massimi valori dei tiranti idraulici (a sinistra) e di deposito (a destra), in corrispondenza dell'area di studio.

4.9 Valutazione del pericolo nell'area di studio

Nel presente paragrafo vengono definiti i livelli di pericolosità del fenomeno idraulico in funzione dei livelli di intensità e probabilità che caratterizzano il fenomeno studiato. La pericolosità è intesa come la probabilità che in un certo punto del territorio si verifichi un evento di una data intensità (I) entro un assegnato tempo di ritorno (T_R). I criteri adottati per la definizione della pericolosità (H) sono contenuti nella l.p. 1 luglio 2001, n.9 – Art. 10, comma 5, nell'allegato *"Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità"*.

Le direttive per la redazione delle carte della pericolosità stabiliscono tre livelli di intensità (Bassa, Media, ed Alta). L'assegnazione del livello di intensità del fenomeno è effettuata attenendosi ai criteri riportati nella tabella 8. Per fenomeni di alluvionamento torrentizio il livello di intensità dipende dai valori assunti dal tirante idraulico h , e dalla pressione idrodinamica data dal prodotto $v \cdot h$ tra il tirante idraulico e la velocità del deflusso nel generico punto analizzato. Per fenomeni di colata detritica il livello di intensità dipende dai valori assunti dallo spessore del deposito - M e la velocità del deflusso - v nel generico punto analizzato.

Per la definizione della pericolosità, l'intensità è affiancata da un'indicazione di probabilità di accadimento espressa in termini di frequenza temporale con cui i valori soglia (tabella 8) possono essere eguagliati o superati. La frequenza di superamento è espressa con riferimento al tempo di ritorno T_R degli eventi:

- Elevata (fenomeni caratterizzati da $0 < T_R \leq 30$ anni);
- Media (fenomeni caratterizzati da $30 < T_R \leq 100$ anni);
- Bassa (fenomeni caratterizzati da $100 < T \leq 200$ anni);

La pericolosità derivante da fenomeni idraulici è suddivisa in tre classi (H2: pericolosità Bassa, H3: pericolosità media, H4: pericolosità Elevata) secondo i criteri la matrice riportata in tabella 8.

Per eventi contraddistinti da periodo di ritorno maggiore di trecento anni, viene definita una condizione di pericolo trascurabile (H1) che prescinde dall'intensità del fenomeno.

PROCESSO	INTENSITÀ BASSA	INTENSITÀ MEDIA	INTENSITÀ ALTA
Alluvione, Alluvione torrentizia	$h < 0.5 \text{ m}$ oppure $v \cdot h < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	$h = 0.5 \div 2 \text{ m}$ oppure $v \cdot h = 0.5 \div 2.0 \text{ m}^2/\text{s}$	$h > 2 \text{ m}$ oppure $v \cdot h > 2 \text{ m}^2/\text{s}$
Colata detritica	$h < 0.5 \text{ m}$ oppure $v < 0.5 \text{ m/s}$ oppure $M < 0.5 \text{ m}$	$h = 0.5 \div 1.0 \text{ m}$ oppure $v = 0.5 \div 1.0 \text{ m/s}$ oppure $M = 0.5 \div 1.0 \text{ m}$	$h > 1.0 \text{ m}$ oppure $v > 1.0 \text{ m/s}$ oppure $M > 1.0 \text{ m}$

tabella 8: Tabella dei valori di soglia e delle intensità per pericoli idraulici. h = tirante idraulico, v = velocità, M = spessore del deposito.

In figura 30 si riporta la mappa del pericolo analitico ricavata direttamente dai risultati della modellazione, considerando lo Scenario 2 – A per i tempi di ritorno di 30 e 100 anni e lo Scenario 2 – B per il tempo di ritorno di 200 anni.



figura 30: Scenario 2 – A e 2 – B. Mappa del pericolo analitico. A sinistra: in relazione al dominio. A destra: in relazione in corrispondenza dell'area di studio.

L'area di studio è interessata da pericolosità idraulica bassa – H2 ad eccezione della porzione ricadente in alveo, interessata da pericolosità idraulica elevata H4. Attualmente l'area è circondata, sul lato sud ed est, da un cordolo di recinzione di altezza non inferiore a 0.3 m. Tale cordolo, date le dimensioni, non è implementato nel modello del terreno utilizzato per la modellazione idraulica. Considerando che i tiranti massimi lungo via Regolin non superano i 15 cm, si ritiene che il flusso non possa accedere all'area di studio nelle condizioni attuali.

5 Verifica di compatibilità idraulica – (l.p. 5/2008)

Per la compatibilità idraulica delle trasformazioni urbanistiche previste da nuovi strumenti di pianificazione o loro varianti si fa riferimento alle **Norme di Attuazione al PUP, Allegato B della l. p. n. 5 del 2008** (approfondito nel capo 8.3 del documento: “Carta di Sintesi della pericolosità – Indicazioni e precisazioni per l’applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate, medie e basse e le aree con altri tipo di penalità” approvato dalla Giunta Provinciale della Provincia Autonoma di Trento il 18/03/2022).

Tali norme prevedono che lo strumento urbanistico contenga gli studi di compatibilità relativi alle modifiche urbanistiche rilevanti ai fini della CSP che ricadono in aree a **penalità elevata P4**, qualora ammesse dall’art. 15 delle norme stesse, in area a **penalità media P3** o in area **da approfondire APP**. Nelle aree a penalità media P3 e da approfondire APP le **nuove destinazioni di zona che risultino non peggiorative dal punto di vista dell’esposizione e/o del carico antropico rispetto alle varie tipologie di pericolo, possono essere ritenute ammissibili anche senza lo studio di compatibilità**.

In base a tali indicazioni **la modifica al PRG del comune di Trento, oggetto di studio, per la porzione di area inclusa in zona a penalità bassa P2 (pericolosità idraulica H2) è consentita senza la necessità di procedere allo studio di compatibilità idraulica**.

Si fa notare che parte della p. ed. 459 C. C. Sopramonte **ricade nella fascia di rispetto del corso d’acqua (l.p. n. 18 del 1976)**, l’edificazione entro tale area necessita di autorizzazione al Servizio Bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento.

5.1 Indicazioni di mitigazione della pericolosità

Per le **aree inserite in P2 la normativa prevede la necessità di compatibilità in relazione ai singoli interventi di trasformazione edilizia previsti in esse**.

Di seguito si riportano alcune indicazioni in relazione agli **interventi di mitigazione del pericolo idraulico da recepire in fase di progetto**.

Si presentano due alternative di interventi di mitigazione: a **protezione dell’area intera** o a **protezione del nuovo edificio**.

Interventi a protezione dell’area intera

Attualmente l’area è circondata da un cordolo di recinzione (non implementato nella modellazione idraulica), di altezza superiore a 0.3 m, che impedisce al flusso di accedere all’area.

Qualora per esigenze progettuali (es. realizzazione degli accessi all’area, rinnovamento della recinzione...) tale muro dovesse essere modificato si prescrive di:

- dove possibile ripristinare il cordolo con altezza non inferiore a 0.3 m;
- nei tratti in cui non è possibile ripristinare o mantenere il cordolo si dovrà prevedere l’installazione di cancelli anti allagamento a tenuta stagna in continuità con il cordolo stesso.

Interventi a protezione del nuovo edificio

Questo tipo di interventi sono da considerarsi un'alternativa a quelli esposti in precedenza. Nel caso in cui il cordolo non potesse essere mantenuto continuo e/o di altezza adeguata il flusso potrebbe accedere all'area di costruzione. In questo caso sono state individuate due possibili soluzioni:

1. **protezione ad oggetto sui singoli elementi esposti al flusso:** in corrispondenza di porte, vetrate, porte finestre, bocche di lupo, accessi a garage e a locali interrati dovranno essere installati serramenti anti allagamento a tenuta stagna;
2. **innalzamento degli elementi vulnerabili ad di sopra della quota di allagamento:** il piano di edificazione del nuovo edificio dovrà essere posto ad una altezza di almeno 30 cm (compresi gli accessi e le aree di eventuali piano interrati) al di sopra del piano campagna attuale.

6 Conclusioni

Visto l'art. 18 (Aree da approfondire e Aree con penalità trascurabile o assente) delle **Norme di Attuazione al Piano Urbanistico Provinciale di Trento (l.p. n. 5 del 2008)**, **il Piano Attuativo per la Zona di Espansione C1 in località Dossol a Sopramonte con effetto di variante al PRG del Comune di Trento è idraulicamente compatibile.**

Per i **singoli interventi di trasformazione edilizia previsti in aree inserite in P2 la normativa prevede la necessità di compatibilità.**

7 Bibliografia

- Bardou E. 2002. Methodologie de diagnostic des laves torrentielles sur un bassin versant alpin. PhD Thesis, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Beven K.J., Kirkby M.J. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Bulletin. Vol. 24, Iss. 1.
- Cavalli M., Marchi L. 2006. Identificazione preliminare delle aree di pericolo legate a fenomeni torrentizi. Incarico di collaborazione tecnica sui processi torrentizi nell'alto bacino dell'Avisio: Servizio Bacini Montani della provincia autonoma di Trento e Consiglio nazionale delle ricerche IRPI Padova, 76 pp.
- Melton MA. 1965. The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in southern Arizona. Journal of Geology, 73, 1-38.
- O'BRIEN, J.S. 2003. FLO-2D user manual.
- FLO-2D: Reference Manual (v.2009).
- Manuale Trent2D Workspace. Università degli Studi di Trento – Sim Idra.
- Rigon, R., D'Odorico, P., and Bertoldi, G. 2001. The geomorphic structure of the runoff peak, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 1853-1863, doi:10.5194/hess-15-1853-2011.
- Scheidegger A.E. 1987. Systematic geomorphology. Springer-Verlag.
- Armanini A., Fraccarollo L., Rosatti G. 2009. Two-dimensional simulation of debris flows in erodible channels. Computers & Geosciences. Volume 35, Issue 5, 993-1006.