

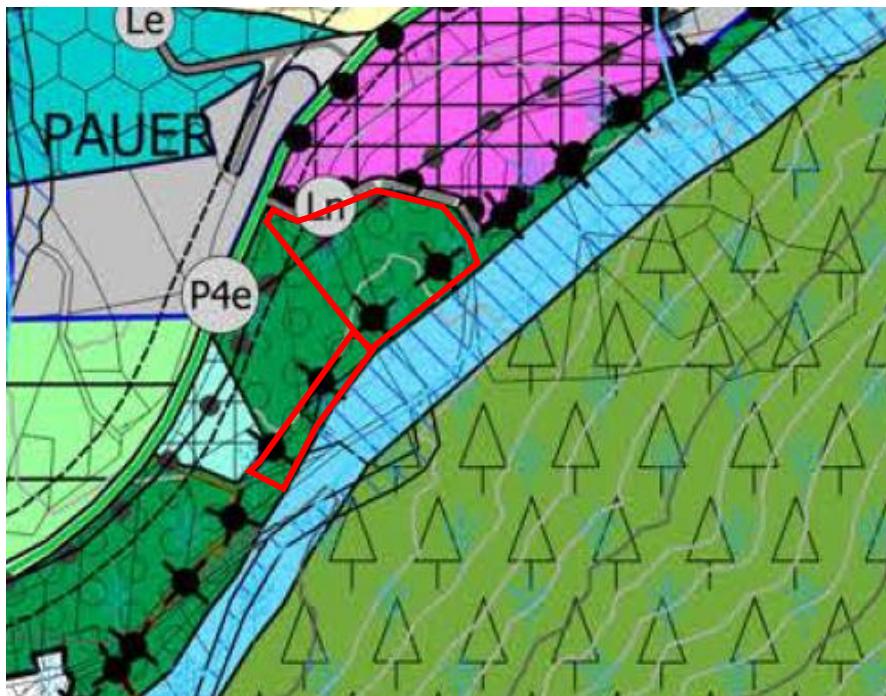


COMUNE DI PALÙ DEL FERSINA

PROVINCIA DI TRENTO

COMMITTENTE
COMUNE DI PALÙ DEL FERSINA

PIANO REGOLATORE GENERALE - VARIANTE GENERALE 2021
VARIANTE PUNTUALE N. 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329



STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

| | | | | | | |
|--|-------------|--------|---------|---------|--------|--------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 0 | Emissione | TRN | LTG-GLN | 05/2023 | LINGUA | PAGINE |
| REV | DESCRIZIONE | EMESSO | APPROV. | DATA | I | 33 |
| SIGLA 431_Studio_compatibilità_idraulica_VarPRG_PAOAR.docx | | | | | | |

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI TRENTO
dott.ing. MAURIZIO LUTTEROTTI
ISCRIZIONE ALBO N°2153

Indice

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Oggetto | 4 |
| 2 | Inquadramento programmatico Variante puntuale | 5 |
| 3 | Carta di Sintesi della Pericolosità..... | 6 |
| 4 | Descrizione generale del bacino e del corso d'acqua | 9 |
| 5 | Analisi degli eventi storici..... | 11 |
| 6 | Analisi idrologica | 12 |
| 6.1 | Caratteristiche principali del bacino imbrifero del torrente Fersina..... | 12 |
| 6.2 | Geolitologia, uso del suolo e CN | 14 |
| 6.3 | Modello geomorfologico AdB-ToolBox | 17 |
| 6.4 | Dati in input | 18 |
| 6.5 | Idrogramma liquido..... | 21 |
| 6.6 | Idrogramma della mistura | 23 |
| 7 | Modellazione idraulica | 24 |
| 7.1 | Fondamenti matematico-numerici del codice di calcolo | 24 |
| 7.2 | Dati di input della modellazione 2D | 26 |
| 7.2.1 | Dominio di calcolo | 26 |
| 7.2.1 | Condizioni al contorno | 27 |
| 7.2.1 | Idrogrammi di piena | 27 |
| 7.2.1 | Parametri numerici..... | 28 |
| 7.2.2 | Parametri idraulici | 28 |
| 7.3 | Risultati della modellazione 2D | 29 |
| 8 | Conclusioni..... | 32 |
| 9 | Bibliografia..... | 33 |

1 Oggetto

Il presente documento costituisce lo studio di compatibilità idraulica relativo alla proposta di cambio destinazione d'uso delle pp.ff. 1560/6, 2147/5, 2018/1, 2146/3, 2017, 2015/1, 1530/6, 1542/1, 1530/7, 1542/2 CC Palù del Fersina (varianti puntuali n. 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329) nell'ambito della Variante Generale 2021 al PRG del comune di Palù del Fersina.

La Carta di Sintesi della Pericolosità colloca la suddetta particella all'interno di aree “P3 – penalità media” in tema di pericolosità torrentizia legata alla presenza del torrente Fersina ed in area “P1 – penalità trascurabile o assente” per fenomeni di natura litogeomorfologica.

Pertanto, sulla scorta indicazioni e precisazioni applicative del capo IV delle norme di attuazione del PUP si rende necessario sviluppare uno studio di compatibilità idraulica in conformità con la deliberazione Giunta Provinciale n. 1630 del 7 settembre 2018 modificata con D.G.P. n. 379 del 18.03.2022.

2 Inquadramento programmatico Variante puntuale

L'inquadramento delle Varianti puntuale n. 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, relativo alle aree oggetto di interesse è riportato schematicamente nella seguente tabella e nelle successive figure che rappresentano gli estratti delle cartografie tematiche di interesse; la zona in esame è individuata dal poligono rosso.

| | |
|---|--|
| Particelle catastali interessate | pp.ff. 1560/6, 2147/5, 2018/1, 2146/3, 2017, 2015/1, 1530/6, 1542/1, 1530/7, 1542/2 |
| Località | Pauer |
| Destinazione urbanistica VIGENTE | Zone Produttive artigianali, Zona produttiva artigianale di nuova espansione, viabilità rurale e boschiva di progetto, |
| Destinazione urbanistica DI VARIANTE | Zona a verde pubblico, Viabilità locale di progetto |

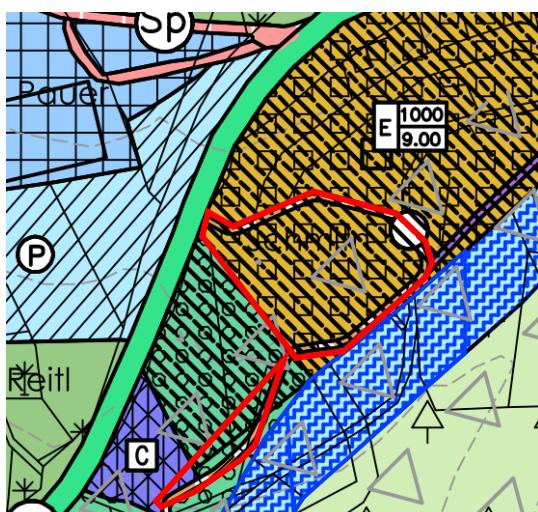


Figura 2.1: PRG vigente.



Figura 2.2: foto aerea 2020.

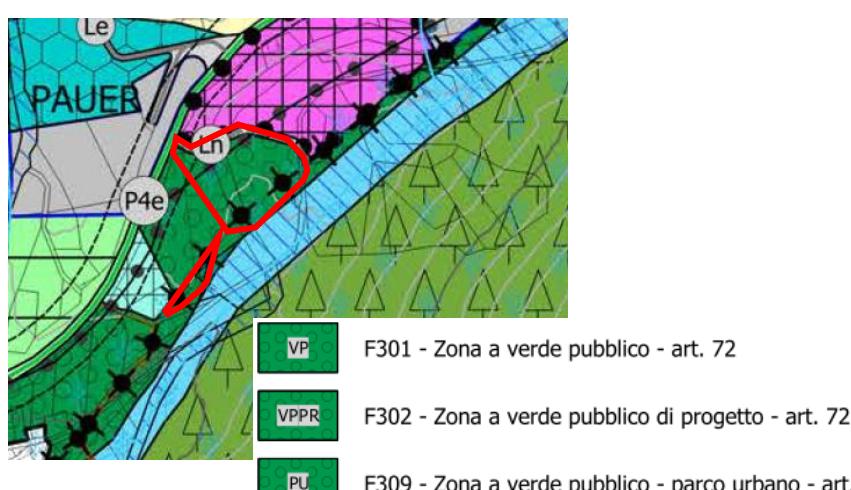


Figura 2.3: PRG Variante Generale 2021.

3 Carta di Sintesi della Pericolosità

In data 04/09/2020 sono state approvate dalla Giunta Provinciale le Carte della Pericolosità e la Carta di Sintesi della Pericolosità su tutto il territorio provinciale.

Sulla base della classificazione della pericolosità dei fenomeni geologici, idrologici e nivologici o forestali, derivante dalla combinazione dei fattori di pericolo e condotta nelle carte della pericolosità previste dalla legge in materia di protezione civile, la Carta di sintesi della pericolosità individua le aree con diversi gradi di penalità (elevata, media, bassa e altri tipi di penalità), dettandone la relativa disciplina urbanistica attraverso gli articoli 15-16-17-18 delle norme del PUP.

Con l'entrata in vigore, in data 02/10/2020, delle Carte della Pericolosità e della Carta di Sintesi della Pericolosità su tutto il territorio provinciale cessano di applicarsi le disposizioni in materia di uso del suolo del Piano Generale di Utilizzazione delle Acque pubbliche (assetto idrogeologico del PGUAP).

In base alle indicazioni di tale cartografia, la zona interessata dal cambio di uso del suolo si colloca in area “P3 – Penalità media” per pericolosità alluvionale torrentizia ascrivibile al torrente Fersina ed in area “P1 – Penalità assente o trascurabile” di natura litogeomorfologica.

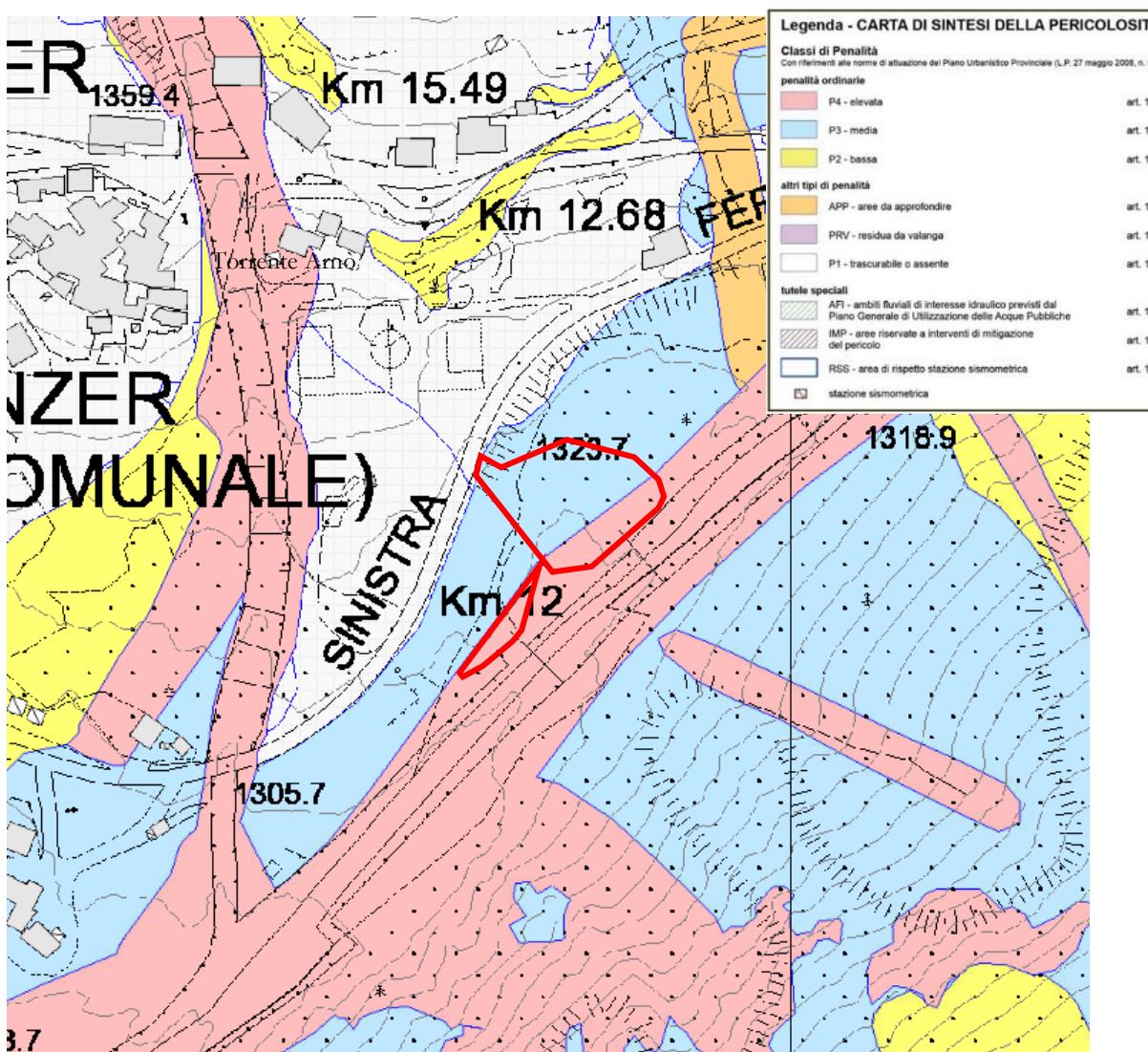


Figura 3.1: Estratto della CSP per l'area di interesse (in rosso l'area interessata dal cambio d'uso del suolo).

In riferimento nello specifico alla Carta della Pericolosità alluvionale torrentizia, che descrive e classifica le porzioni del territorio interessate dai fenomeni alluvionali legati al reticolo idrografico torrentizio, si segnala la collazione dell'area interessata dalla variazione di destinazione di uso del suolo in area “P4 – penalità elevata” e in area “P3 – penalità media”.

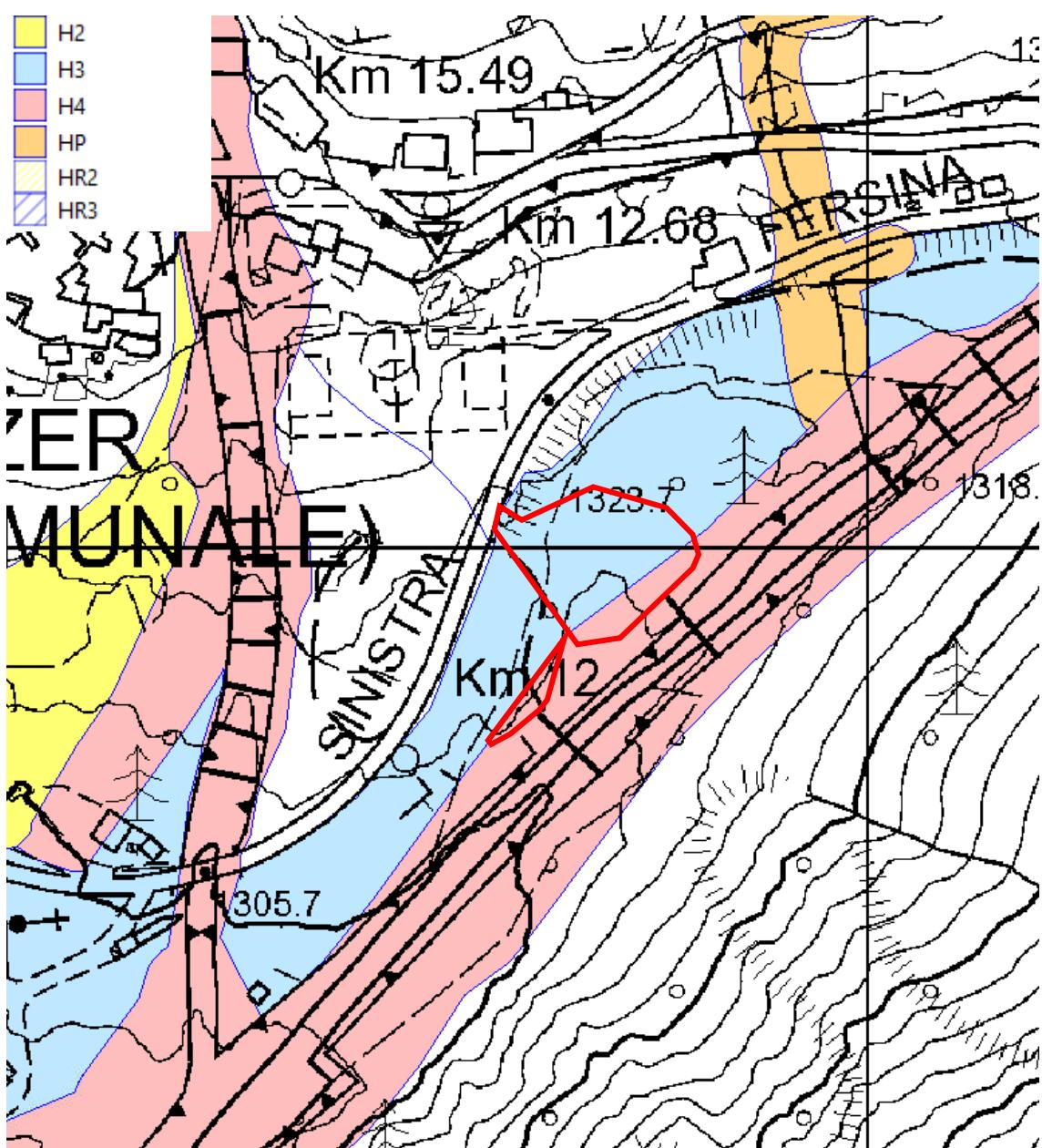


Figura 3.2: Estratto della Carta della Pericolosità alluvionale torrentizia per l'area di interesse (in rosso l'area interessata dal cambio d'uso del suolo).

4 Descrizione generale del bacino e del corso d'acqua

Il torrente Fersina nasce dal lago di Erdemolo, a quota 2005 m s.l.m., e sfocia nell'Adige a quota 191 m s.l.m., dopo un percorso di circa 30 km; la parte montana del bacino interessa il territorio dal Doss del Ciuss alle origini del corso d'acqua, per una lunghezza pari a 14,3 km, con una pendenza media del 10%. Il restante sistema idrografico risulta assai sviluppato e alimentato da abbondanti sorgenti.

Fra i principali affluenti di sponda destra si hanno i rivi Castellir, Val delle Vergini, Val Sigismondi, Val dei Lenzi e Val Battisti; in sinistra si hanno i rivi Rigolor, Molino, Orighel e Val Cava.

Il bacino di primo livello del torrente Fersina ha un'estensione complessiva pari a 170 km² tutti all'interno dei confini provinciali, con quota media di 1099 m s.l.m. e pendenza media dei versanti del 40%.

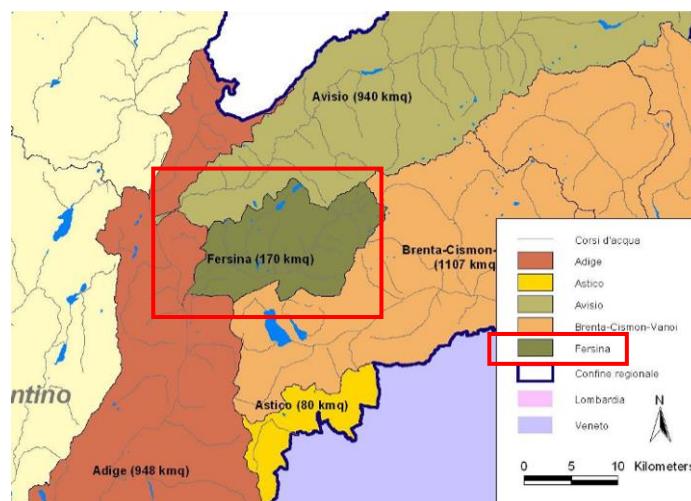


Figura 4.1: Bacino di primo livello del Fersina nel contesto provinciale (estratto da: Relazione Tecnica Bilanci Idrici – Il bacino del Fersina, PAT Servizio Utilizzazione Acque Pubbliche – Aprile 2012).

La Valle del Fersina è una tipica valle a “V”, profondamente segnata dal torrente Fersina che la attraversa in direzione sud-ovest per poi rallentare la sua corsa nella piana Perginese e convogliare le sue acque nel fiume Adige nel capoluogo Trentino.

Complessivamente il torrente Fersina presenta un giudizio di funzionalità fluviale piuttosto basso, in particolare nei tratti più a valle, da attribuire ad una forte antropizzazione del corso d'acqua che scorre in un territorio fortemente urbanizzato e alla presenza di interventi artificiali delle rive e di opere trasversali, atti al contenimento dei fenomeni di piena e alla diminuzione della velocità della corrente; la qualità biologica del corso d'acqua è buona, senza segni di alterazione da carico organico.

La parte più a monte del torrente risulta, invece, con giudizio di funzionalità ottimo-buono grazie alla presenza di fasce vegetazionali funzionali che garantiscono lo svolgimento delle funzioni di autodepurazione del corso d'acqua.

Il carattere marcatamente torrentizio ha dato luogo in passato a eventi di esondazione anche con notevoli capacità distruttive, in particolare nella zona prossima alla città di Trento: ad esempio, nell'alluvione del

1966 l'alto corso del Fersina è stato interessato da fenomeni di erosione, mentre nel tratto pianeggiante compreso tra Serso e Roncogno si sono avuti allagamenti accompagnati prevalentemente da intenso accumulo alluvionale fuori dagli alvei.

Per tale motivo il torrente è stato oggetto di interventi su vasta scala, che hanno ricondotto il corso d'acqua ad un controllo idraulico quasi completo: nell'approfondimento tematico sulle acque dell'Allegato F “*Il sistema delle acque superficiali?*” al Piano Territoriale della Comunità (a cura del dott. Betti, naturalista ittiologo) viene evidenziato come “*l'alveo del Torrente Fersina in corrispondenza dell'abitato di Pergine e a valle fino alla località Slacche, sull'intero conoide di deiezione che forma la piana tra Costasavina, Roncogno e il Cirè, sia stato arginato e rettificato e costretto in un alveo fortemente ridotto rispetto all'originario assetto divagante*”.

Nell'anno 2020 l'evento di piena associato alla tempesta Vaia ha danneggiato alcune briglie in massi presenti a monte dell'opera di presa della centrale idroelettrica comunale.



Figura 4.2: Estratto della mappa relativa alle opere in alveo (briglie di consolidamento e arginature) disponibile tramite WEBGis del Serv. Bacini Montani PAT.

Come è stato ricordato in precedenza il torrente Fersina è stato oggetto di considerevoli interventi di sistemazione idraulica sia delle sponde che del fondo (briglie di consolidamento); la pendenza del fondo dell'alveo imposta da tali opere è dell'ordine del 6%.

Il corso d'acqua nella zona di interesse ha un alveo di larghezza di circa 10-15 m ed è interessato da una serie di sistemazioni idraulico forestali, briglie in calcestruzzo realizzate nel 1991 e nel biennio 2021-2022, con larghezza gaveta di circa 12m e opere spondali in sinistra idrografica.

5 Analisi degli eventi storici

Facendo riferimento al database del Progetto ARCA (Archivio Eventi Calamitosi) della Protezione Civile del Trentino è possibile reperire alcune informazioni in merito agli eventi calamitosi più recenti verificatisi nell'area oggetto di studio, tra cui spiccano gli eventi alluvionali:

- N.2503 del 4/11/1966 in cui vengono riportati l'asportazione e danneggiamento di ponti, distruzione parziale argini e gravi danni a colture
- N. 4854 dell'11/07/1989 che causò la morte di un contadino.

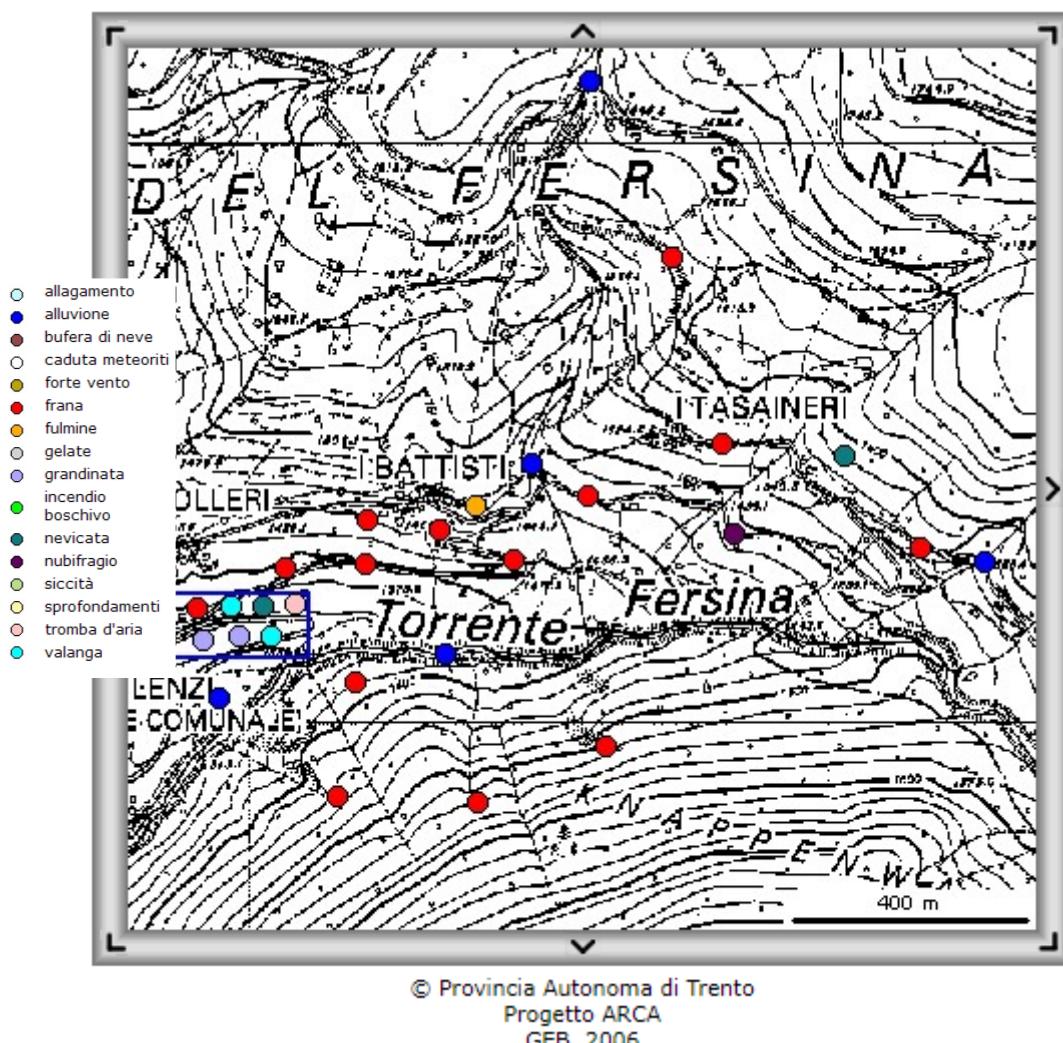


Figura 5.1: Eventi calamitosi lungo il torrente Fersina nei pressi dell'area di studio [Fonte: Progetto ARCA - Servizio Geologico].

6 Analisi idrologica

La modellazione idrologica ha per obiettivo la determinazione delle onde di piena di progetto per un tempo di ritorno di 200, come previsto dal Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche-PGUAP [2].

6.1 Caratteristiche principali del bacino imbrifero del torrente Fersina

Il bacino imbrifero del torrente Fersina è stato chiuso immediatamente a monte dell'area oggetto di cambio di destinazione d'uso del suolo, come mostrato in Figura 6.1.

Nella seguente tabella vengono riportate le principali caratteristiche morfometriche del bacino imbrifero del torrente:

| | Bacino |
|--------------------------------|--------|
| Area Bacino [km ²] | 11.07 |
| Altitudine media [m s.m.m.] | 1904 |
| Altitudine minima [m s.m.m.] | 1280 |
| Altitudine massima [m s.m.m.] | 2430 |
| Pendenza media [%] | 59.60 |

Tabella 6.1: Caratteristiche del bacino del torrente Fersina.

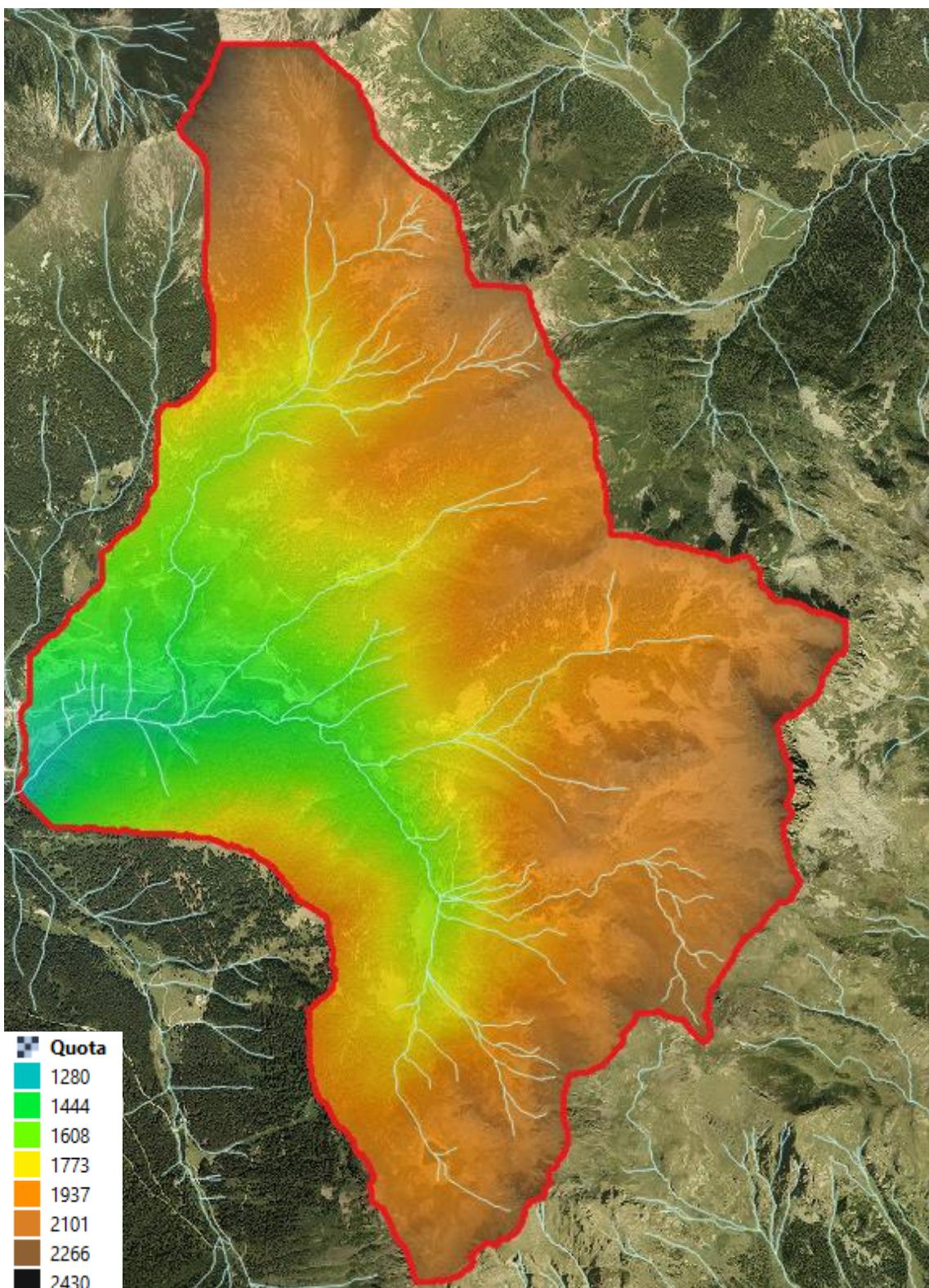


Figura 6.1: Bacino imbrifero oggetto di analisi.

6.2 Geolitologia, uso del suolo e CN

Le carte della litologia e dell'uso del suolo del bacino idrografico permettono di definire la capacità drenante del sistema suolo-soprassuolo e di procedere contestualmente alla determinazione dello ietogramma efficace ai fini del deflusso superficiale. La suddivisione delle piogge viene effettuata attraverso il metodo SCS, valutando il valore del parametro CN, indicatore dell'attitudine del complesso suolo-soprassuolo a produrre deflusso superficiale.

La carta dell'uso del suolo permette di caratterizzare la capacità di deflusso del soprassuolo, mentre la carta della permeabilità è rappresentativa del substrato geolitologico, che è dotato di una permeabilità primaria, collegata alle caratteristiche intrinseche della roccia, e di una permeabilità secondaria, rappresentativa dello stato di fratturazione.

La carta della permeabilità può essere desunta da una riclassificazione della carta geolitologica in quattro gruppi idrologici:

- A. Permeabilità alta, bassa capacità di deflusso, suoli con elevata infiltrabilità anche se completamente saturi, conducibilità idraulica alta (rocce calcaree fossilifere organogene molto fratturate, depositi alluvionali, falde e coni di detrito, tufi incoerenti, ceneri);
- B. Permeabilità medio-alta, suoli con moderata infiltrabilità se saturi, tessitura medio grossolana, conducibilità idraulica media (morene, coltri eluviali e colluviali, sabbie conglomerati e sabbioni cementati, rocce in genere molto fratturate);
- C. Permeabilità medio-bassa, suoli con bassa infiltrabilità se saturi, tessitura medio fine, conducibilità idraulica bassa (rocce sedimentarie compatte, rocce dolomitiche compatte, rocce calcaree compatte, rocce fratturate);
- D. Permeabilità bassa, alta capacità di deflusso, suoli con ridottissima infiltrabilità se saturi, suoli ricchi di argilla rigonfiante, conducibilità idraulica estremamente bassa (rocce eruttive intrusive e magmatiche, rocce argillose, rocce metamorfiche).

| | CLASSE DI PERMEABILITÀ | CN | | | |
|----------------------|--|-----------|----------|----------|----------|
| | | A | B | C | D |
| USO DEL SUOLO | Fustaia densa di conifere | 18 | 27 | 40 | 50 |
| | Fustaia rada di conifere | 23 | 32 | 50 | 55 |
| | Ceduo scadente | 35 | 45 | 58 | 68 |
| | Lariceti, cembrete e larici-cembrete | 40 | 48 | 63 | 75 |
| | Pascoli nudi o arborati | 37 | 50 | 68 | 75 |
| | Prati e colture agrarie | 41 | 47 | 65 | 76 |
| | Improduttivo nudo | 45 | 55 | 70 | 80 |
| | Aree urbanizzate | 80 | 85 | 90 | 95 |
| | Rupi boscate | 40 | 50 | 65 | 75 |
| | Arbusteti e mughete | 38 | 45 | 60 | 70 |
| | Bosco di latifoglie | 25 | 36 | 50 | 55 |
| | Pinete di Pino silvestre e/o Pino nero | 38 | 49 | 64 | 73 |
| | Piste da sci | 50 | 65 | 75 | 80 |
| | Zone incendiate | 70 | 75 | 80 | 88 |
| | Laghi e corsi d'acqua | 99 | 99 | 99 | 99 |
| | Paludi e zone umide | 90 | 90 | 90 | 90 |
| | Ghiacciai | 95 | 95 | 95 | 95 |

Tabella 6.2: Parametro CN in funzione dell'uso del suolo e della permeabilità.

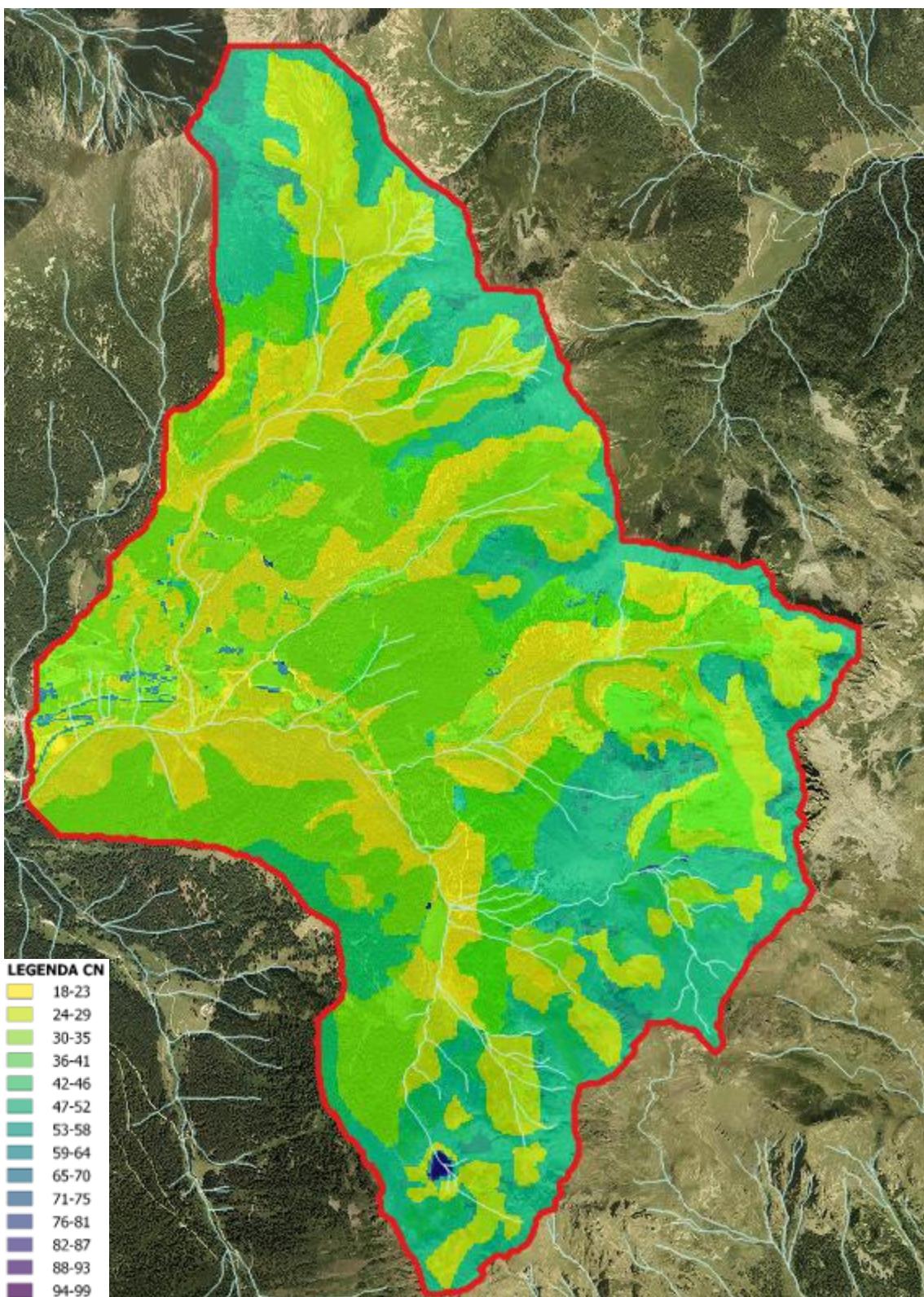


Figura 6.2: Carta del Curve Number per l'area del bacino imbrifero esaminato nell'analisi idrologica.

6.3 Modello geomorfologico AdB-ToolBox¹

Il calcolo della portata al colmo è stato effettuato per mezzo di un modello afflussi-deflussi denominato AdB-ToolBox realizzato a cura del Ministero dell'Ambiente. L'estensione Analisi Idrologiche, compresa nel software, consente il calcolo delle portate di progetto su specifiche sezioni della rete idrografica. Si riportano di seguito alcune indicazioni presenti nel manuale d'uso [3].

Il modello adottato propone un'applicazione distribuita dell'approccio geomorfologico combinando le equazioni del Soil Conservation Service per il calcolo della pioggia efficace, il metodo cinematico per la propagazione del deflusso superficiale alla sezione di chiusura e un serbatoio lineare per la simulazione del deflusso di base. Si tratta di un approccio consolidato nella letteratura tecnica e nella pratica operativa le cui potenzialità nei settori della pianificazione territoriale e della progettazione di interventi di difesa idraulica sono note. È tuttavia opportuno evidenziarne alcuni limiti applicativi allo scopo di non incorrere in errate interpretazioni dei risultati forniti dallo strumento stesso. Lo schema modellistico adottato è di tipo semplificato ed è indirizzato a cogliere in modo concettuale i processi ritenuti più importanti nel determinare la risposta idrologica di piena di un bacino idrografico montano. Si ritiene che una superficie di 200-250 km² costituisca il limite superiore per l'applicazione del modello. Nei limiti di estensione territoriale indicati, risultati soddisfacenti possono essere ottenuti avendo a disposizione solo i seguenti livelli informativi:

- il modello digitale del terreno per definire la direzione di deflusso, l'area contribuente, il reticolo idrografico;
- la carta del CN;
- i parametri cinematici della propagazione dell'onda di piena ossia la velocità media sul versante e nel canale, di norma rispettivamente prossimi a 0.02 m/s e 2 m/s;
- i parametri a e n della curva di possibilità pluviometrica.

È evidente che la qualità di tali livelli informativi costituisce un presupposto in grado di influenzare direttamente i risultati della simulazione idrologica. Un elevato standard qualitativo dei dati di input è conseguibile con idonee procedure di validazione, ma esso tuttavia non garantisce da solo la validità dei risultati della simulazione stessa. A tale obiettivo si può pervenire solo attraverso una fase di taratura e validazione dei parametri del modello da condurre sulla base di riscontri di natura oggettiva principalmente costituiti da registrazioni idrometriche di eventi di piena realmente accaduti. Tale fase non può che essere messa in atto dagli utenti con specifico riferimento all'area di indagine e utilizzando preferibilmente i quantili derivati da procedure di regionalizzazione statistica dell'informazione idrometrica. Di qualche aiuto può risultare anche la simulazione di alcuni singoli eventi di piena registrati utilizzando una delle opzioni previste dal modello.

¹ AdB-ToolBox (versione 1.8) con Estensione ANALISI IDROLOGICHE (AI) - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Direzione Generale per la Difesa del Suolo.

| | | |
|--|----------------------------|---------------|
|  PROGETTO AMBIENTE | Comune di Palù del Fersina | Data: 05/2023 |
| Studio di compatibilità idraulica | | |

6.4 Dati in input

Per le simulazioni effettuate nel corso del presente studio, i dati in input utilizzati sono i seguenti.

Il modello digitale del terreno (DTM) è un raster ottenuto dal rilievo LIDAR effettuato dalla Provincia Autonoma di Trento nel 2009 ad una risoluzione di 10 m. L'operazione preliminare è stata quella di “depittare” il DTM con un algoritmo presente in AdB-ToolBox eliminando così le aree concave; fatto ciò è stato possibile creare gli altri raster per il modello afflussi-deflussi denominati UPSLOPE e FLOWDIR che sono rispettivamente la carta delle aree cumulate e la carta delle direzioni di drenaggio.

La carta del Curve Number è ottenuta rasterizzando, con la medesima risoluzione di 10 m, la cartografia provinciale in formato shapefile della geologia e dell'uso del suolo; il file da utilizzare in AdB-ToolBox è denominato CN.

La scelta dei **parametri cinematici** (nel software indicati come “parametri avanzati”) è stata guidata dalla calibrazione dei parametri cinematici del modello afflussi-deflussi effettuata dalla Provincia Autonoma di Trento nel 2003 [1], anche se effettuata su bacini molto più piccoli di quelli in esame. Nel lavoro citato si sono adottati valori di soglia di area drenata per la definizione di quali celle del reticolo appartengano al versante e quali al reticolo alveato compresi tra 0.024 e 0.088 km², velocità caratteristica di canale costante e pari a 2 m/s e velocità caratteristica di versante compresa tra 0.02 e 0.04 m/s in funzione dell'area di soglia scelta. Il modello richiede anche altri due parametri che rivestono un peso importante nella definizione dell'idrogramma di progetto: *ARF* e “parametro geomorfologico *C*”.

La variabilità spazio-temporale della precipitazione a scala di bacino è messa in conto tramite il coefficiente di riduzione dell'area (Area Reduction Factor, *ARF*). In mancanza di informazioni specifiche derivate da approfondimenti a scala locale, si fa riferimento alla funzione di riduzione dei nubifragi ricavata da Moisello e Papiri (1986). In tale relazione empirica il fattore di riduzione (inteso come rapporto tra l'altezza di pioggia media, relativa ad una data area *A*, e l'altezza di pioggia puntuale rappresentativa del bacino) risulta dipendente sia dall'area *A* che dalla durata della precipitazione *d*, secondo la relazione:

$$ARF = 1 - \exp(-2.472 \cdot A^{-0.242} \cdot d^{0.6 - \exp(-0.643 \cdot A^{0.235})})$$

Dove l'area è espressa in km², la durata in ore, e con $5 \leq A \leq 800$ km² e $15' \leq d \leq 12$ h.

Il Fattore geomorfologico *C* è un fattore di riduzione delle precipitazioni per grandi bacini, tale riduzione può inglobare fenomeni come l'effetto di laminazione dell'onda di piena e aspetti morfologici come la presenza di aree al di sopra di una certa quota (zero termico) che a causa della temperatura non contribuiscono come le altre al deflusso superficiale. Le precipitazioni sono quindi moltiplicate per un fattore (x_{att}), dipendente dalla sola area del bacino *A* e applicato solo se l'area supera la soglia *A_{th}*:

$$x_{att} = 1 - C \cdot (A - A_{th})$$

Dove C è un parametro che assume valori normalmente compresi tra 0.0008 e 0.0013.

Per gli altri parametri per i quali non esistono in letteratura indicazioni specifiche, si sono mantenuti i valori di default suggeriti dal software.

I parametri scelti per il bacino imbrifero in esame, riportati Tabella 6.3, sono in linea con quanto suggerito in [1]. La classe AMC scelta è la 3, mentre lo ietogramma in input è stato scelto di forma triangolare in quanto tende a massimizzare il valore al picco della piena.

| | |
|---|----------------------|
| Velocità caratteristica di versante (min – max) | 0.025 m/s |
| Velocità caratteristica di reticolo | 2.0 m/s |
| Valore di soglia per l'area drenata (min – max) | 0.01 km ² |
| Forma dello ietogramma | Triangolare |
| Classe AMC | 3.0 |
| Step output dell'idrogramma | 5 min |

Tabella 6.3: Parametri cinematici utilizzati per l'analisi idrologica del bacino imbrifero in esame.

I **valori delle curve di possibilità pluviometrica** sono stati forniti dalla Provincia Autonoma di Trento - Dipartimento Protezione Civile e Infrastrutture - Servizio Prevenzione Rischi - Ufficio Previsioni e Pianificazione sotto forma di file raster. Si tratta di tre file raster (a_1 , n , CV) che coprono la superficie dei bacini imbriferi esaminati ciascuno dei quali descrive la distribuzione spaziale di un singolo parametro. Il modello scala-invariante utilizzato è quello di Gumbel e la linea segnalatrice di probabilità pluviometrica è descritta dalla seguente equazione:

$$h_T(d) = a_1 \cdot \left(1 - \frac{CV \cdot \sqrt{6}}{\pi} \cdot (\varepsilon + y_T) \right) \cdot d^n \quad \text{con} \quad y_T = \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right)$$

con $h_T(d)$ valore di precipitazione caratterizzato da un tempo di ritorno T per una durata di pioggia d , n , CV e a_1 parametri stimati come di seguito riportato, ε numero di Eulero pari a 0.5772157.

I valori dei parametri n , CV e a_1 sono stati stimati sulla base dei dati delle altezze di pioggia massime annuali di durata compresa nell'intervallo 1-24 ore. I valori dei parametri n ed a_1 sono determinati tramite regressione lineare dei logaritmi delle medie campionarie delle altezze di pioggia massime annuali relative alle diverse durate rispetto ai logaritmi delle corrispondenti durate. Il valore del coefficiente di variazione globale CV è calcolato come media dei quadrati dei coefficienti di variazione calcolati per i massimi annuali relativi alle durate comprese fra 1 e 24 ore. Per quanto riguarda gli scrosci, l'esponente di scala n si può ritenere costante sull'intero territorio trentino, con valore pari a 0.366.

Le procedure di analisi sono state applicate sulla base dei valori massimi annuali di precipitazione di breve durata registrati tra il 1923 ed il 2009 in 62 stazioni pluviografiche ubicate nel territorio provinciale. Dette 62 stazioni sono quelle caratterizzate da numerosità campionaria almeno pari a 15 anni per tutte le durate comprese nell'intervallo 1h-24h. Per quanto riguarda il problema di estrapolazione spaziale delle linee segnalatrici, al fine di rendere più affidabile tale valutazione nelle zone “di bordo” prossime ai confini amministrativi provinciali sono stati utilizzati dati di precipitazione massima annuale relativi a diverse stazioni ubicate in province limitrofe (Brescia, Bolzano, Belluno e Vicenza).

I valori di pioggia di progetto per il calcolo delle curve di possibilità pluviometrica sono

| PARAMETRI LSPP | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|------|
| a | | | | | | | | | n | |
| Tempo di Ritorno [anni] | | | | | | | | | Durata Precipitazione | |
| 2 | 5 | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 | 200 | 300 | < 1h | > 1h |
| 21.6 | 27.7 | 31.8 | 35.7 | 38.0 | 40.8 | 44.6 | 48.4 | 50.6 | 0,37 | 0,34 |

Tabella 6.4: Valori di a e n della curva di possibilità pluviometrica al variare del tempo di ritorno per il bacino del torrente Fersina.

| Durata [h] | Tempo di Ritorno [anni] | | | | | | | | | |
|------------|-------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|--|
| | Tr = 2 | Tr = 5 | Tr = 10 | Tr = 20 | Tr = 30 | Tr = 50 | Tr = 100 | Tr = 200 | Tr = 300 | |
| 0.25 | 13.0 | 16.7 | 19.1 | 21.5 | 22.9 | 24.5 | 26.8 | 29.1 | 30.4 | |
| 0.50 | 16.7 | 21.5 | 24.7 | 27.7 | 29.5 | 31.6 | 34.6 | 37.5 | 39.2 | |
| 0.75 | 19.4 | 24.9 | 28.6 | 32.1 | 34.2 | 36.7 | 40.1 | 43.5 | 45.5 | |
| 1.00 | 21.5 | 27.7 | 31.8 | 35.7 | 38.0 | 40.8 | 44.6 | 48.4 | 50.6 | |
| 2.00 | 27.3 | 35.1 | 40.2 | 45.2 | 48.0 | 51.6 | 56.4 | 61.2 | 64.0 | |
| 3.00 | 31.3 | 40.3 | 46.2 | 51.9 | 55.2 | 59.2 | 64.8 | 70.3 | 73.5 | |
| 4.00 | 34.5 | 44.4 | 50.9 | 57.2 | 60.8 | 65.3 | 71.4 | 77.5 | 81.0 | |
| 5.00 | 37.2 | 47.9 | 55.0 | 61.7 | 65.6 | 70.5 | 77.0 | 83.6 | 87.4 | |
| 6.00 | 39.6 | 51.0 | 58.5 | 65.7 | 69.8 | 75.0 | 82.0 | 88.9 | 93.0 | |
| 7.00 | 41.8 | 53.7 | 61.6 | 69.2 | 73.6 | 79.0 | 86.4 | 93.7 | 98.0 | |
| 8.00 | 43.7 | 56.2 | 64.5 | 72.4 | 77.0 | 82.7 | 90.4 | 98.1 | 102.5 | |
| 9.00 | 45.5 | 58.5 | 67.1 | 75.4 | 80.1 | 86.1 | 94.1 | 102.1 | 106.7 | |
| 10.00 | 47.1 | 60.6 | 69.6 | 78.1 | 83.0 | 89.2 | 97.5 | 105.8 | 110.6 | |
| 11.00 | 48.7 | 62.6 | 71.8 | 80.7 | 85.8 | 92.1 | 100.7 | 109.3 | 114.3 | |
| 12.00 | 50.2 | 64.5 | 74.0 | 83.1 | 88.4 | 94.9 | 103.7 | 112.6 | 117.7 | |
| 13.00 | 51.5 | 66.3 | 76.0 | 85.4 | 90.8 | 97.5 | 106.6 | 115.7 | 120.9 | |
| 14.00 | 52.9 | 68.0 | 78.0 | 87.6 | 93.1 | 100.0 | 109.3 | 118.6 | 124.0 | |
| 15.00 | 54.1 | 69.6 | 79.8 | 89.7 | 95.3 | 102.4 | 111.9 | 121.4 | 127.0 | |
| 16.00 | 55.3 | 71.1 | 81.6 | 91.7 | 97.4 | 104.7 | 114.4 | 124.1 | 129.8 | |
| 17.00 | 56.5 | 72.6 | 83.3 | 93.6 | 99.5 | 106.8 | 116.8 | 126.7 | 132.5 | |
| 18.00 | 57.6 | 74.0 | 84.9 | 95.4 | 101.4 | 108.9 | 119.1 | 129.2 | 135.1 | |
| 19.00 | 58.6 | 75.4 | 86.5 | 97.2 | 103.3 | 111.0 | 121.3 | 131.6 | 137.6 | |
| 20.00 | 59.7 | 76.7 | 88.0 | 98.9 | 105.1 | 112.9 | 123.4 | 133.9 | 140.0 | |

| | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 21.00 | 60.7 | 78.0 | 89.5 | 100.5 | 106.9 | 114.8 | 125.5 | 136.1 | 142.4 |
| 22.00 | 61.6 | 79.3 | 90.9 | 102.1 | 108.6 | 116.6 | 127.5 | 138.3 | 144.6 |
| 23.00 | 62.6 | 80.5 | 92.3 | 103.7 | 110.2 | 118.4 | 129.4 | 140.4 | 146.8 |
| 24.00 | 63.5 | 81.7 | 93.7 | 105.2 | 111.8 | 120.1 | 131.3 | 142.5 | 149.0 |

Tabella 6.5: Altezza di pioggia di progetto [mm] per vari tempi di ritorno, per il bacino del torrente Fersina.

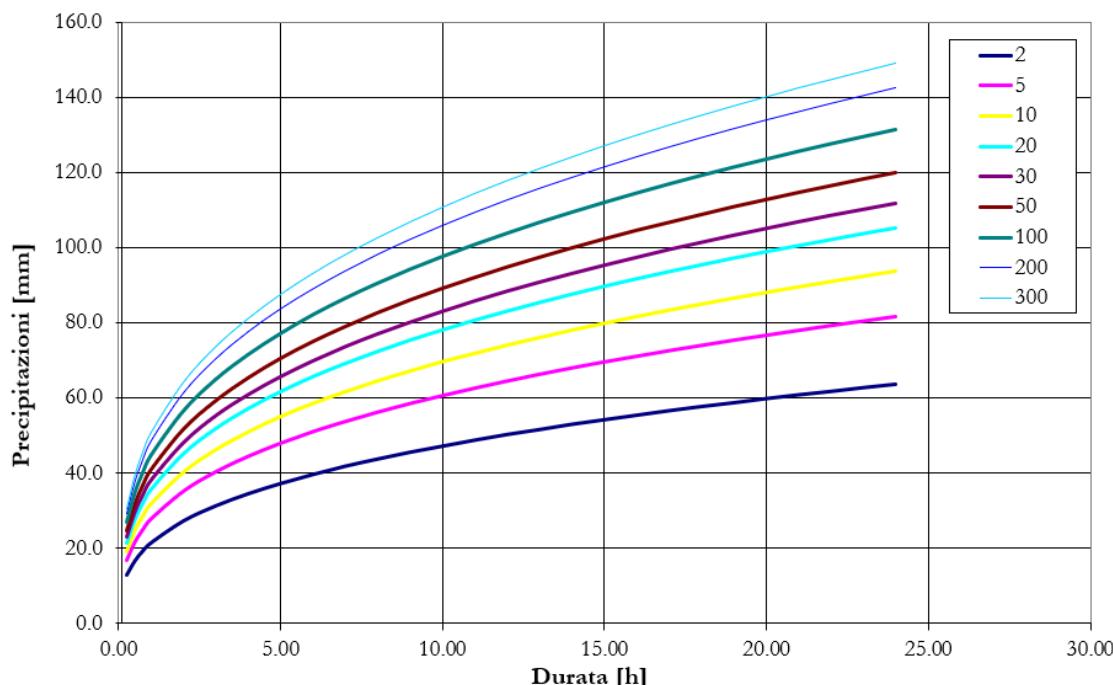


Figura 6.6: Linee di possibilità pluviometrica per il bacino idrografico in esame.

6.5 Idrogramma liquido

Il codice AdB-ToolBox ha permesso di valutare l'idrogramma liquido di piena con Tr 200 anni per il bacino esaminato e di stimare la portata al picco.

| Tempo di ritorno [anni] | Q picco [m^3/s] |
|-------------------------|---------------------|
| 200 | 27.79 |

Tabella 6.6: Portata teorica al colmo della piena per un tempo di ritorno di 200 anni.

Lo ietogramma di progetto e l'idrogramma di piena per il bacino imbrifero e per il tempo di ritorno analizzato sono riportati nelle figure che seguono.

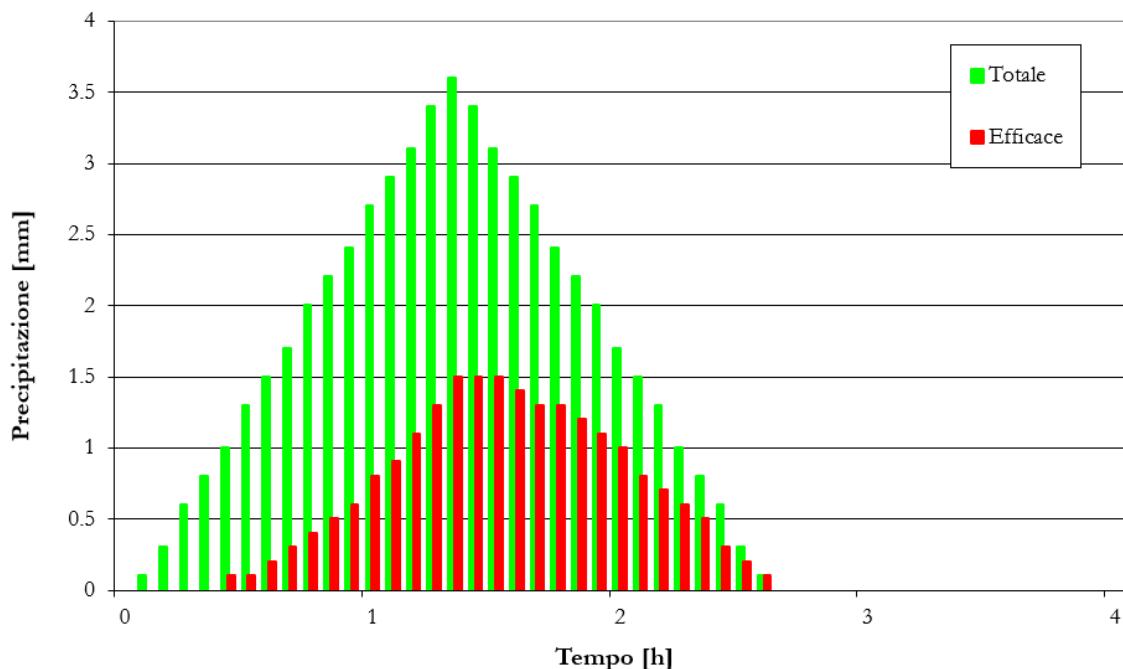


Figura 6.3: Ietogramma di progetto utilizzato per la determinazione dell'idrogramma di piena per il torrente Fersina, Tr=200 anni. Ptot indica la pioggia totale, Peff la pioggia efficace.

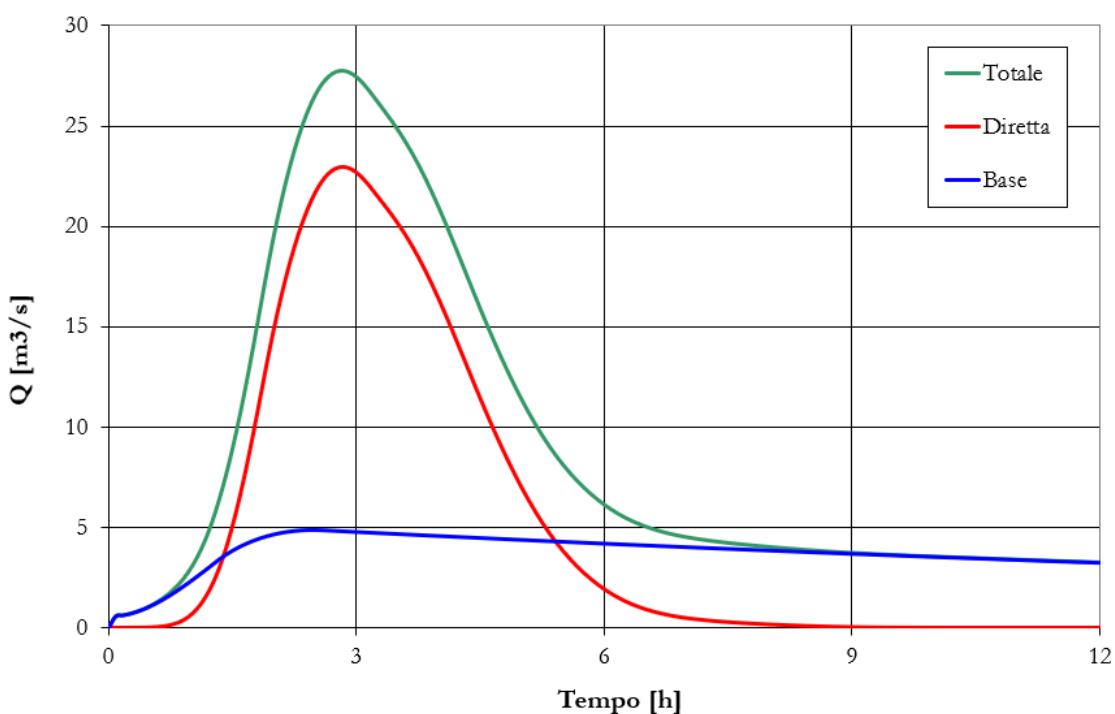


Figura 6.4: Idrogramma di piena per il torrente Fersina, Tr=200 anni. Qbas indica il deflusso profondo, Qdir quello superficiale, Qtot quello totale somma dei precedenti.

Il valore sopra riportato fa riferimento all'idrogramma liquido, cioè non comprendente un'eventuale presenza di trasporto solido.

6.6 Idrogramma della mistura

Considerata la propensione del corso d'acqua al trasporto solido, come dimostrato dalle innumerevoli opere di consolidamento del fondo presenti, occorre considerare un'aliquota aggiuntiva di portata, in modo da considerare una portata di piena maggiore di quella unicamente liquida stimata mediante analisi idrologiche e riportate nel paragrafo precedente.

La concentrazione in volume (C_v) dei sedimenti trasportati dalla piena può essere in prima approssimazione stimata tramite la seguente relazione:

$$C_v \cong 2.5 i^{1.6}$$

dove i rappresenta la pendenza media del tratto d'alveo in fregio alla zona in esame, pari a circa il 6%; risultano concentrazioni in volume di sedimenti durante le fasi più intense dell'evento intorno al 3%.

Il fattore di concentrazione, f_b , che rappresenta il coefficiente per il quale bisogna moltiplicare la portata liquida dedotta dai calcoli idrologici per ottenere la portata solido-liquida complessiva si valuta tramite la seguente relazione:

$$f_b = \frac{1}{1 - C_v}$$

Nel caso in esame, con i valori di C_v sopra riportati risulta un valore di f_b pari a 1,43 si ottiene una portata al colmo pari a $28.6 \text{ m}^3/\text{s}$.

7 Modellazione idraulica

La modellazione idraulica del campo di moto viene condotta con il software proprietario Flumen2D a fondo fisso, schematizzando il dominio di calcolo con celle quadrate. Nel seguito vengono descritte le principali caratteristiche modellistico-numeriche del codice di calcolo impiegato

7.1 Fondamenti matematico-numerici del codice di calcolo

Il codice di calcolo Flumen2D permette di valutare fenomeni di propagazione di onde impulsive in alvei a fondo fisso e mobile a concentrazione variabile, ossia con concentrazione funzione delle variabili idrodinamiche.

Le equazioni del modello matematico, scritte in forma conservativa, sono [5] e [6]:

$$\mathbf{U}_t + \mathbf{F}_x + \mathbf{G}_y = \mathbf{H} + \mathbf{S}$$

dove la variabile conservata \mathbf{U} e il flussi conservativi \mathbf{F} e \mathbf{G} nelle direzioni x e y , per quanto riguarda i bilanci delle due fasi liquida e solida, sono:

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} h + z_b \\ ch + c_b z_b \\ (c\Delta + 1)uh \\ (c\Delta + 1)vh \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} uh \\ cuh \\ (c\Delta + 1)\left(u^2 h + g \frac{h^2}{2}\right) \\ (c\Delta + 1)uvh \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} vh \\ cvh \\ (c\Delta + 1)uvh \\ (c\Delta + 1)\left(v^2 h + g \frac{h^2}{2}\right) \end{bmatrix}$$

mentre il flusso non conservativo \mathbf{H} e il termine sorgente \mathbf{S} sono:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{\partial z_b}{\partial x} (c\Delta + 1)gh \\ -\frac{\partial z_b}{\partial y} (c\Delta + 1)gh \end{bmatrix}, \quad \mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{\tau_x}{\rho_w} \\ -\frac{\tau_y}{\rho_w} \end{bmatrix}$$

dove h è la profondità, u e v sono le componenti della velocità lungo le direzioni ortogonali x e y rispettivamente, z_b è la quota locale del fondo, c la concentrazione media sulla verticale, c_b la concentrazione solida dei sedimenti del fondo, ρ_w and ρ_s le densità dei sedimenti e dell'acqua, rispettivamente, $\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ la densità relativa immersa dei sedimenti, $\tau = (\tau_x, \tau_y)$ il vettore dello sforzo tangenziale al fondo.

Le condizioni di chiusura relative alla concentrazione e allo sforzo al fondo vengono di seguito descritte.

Per quanto riguarda la concentrazione, la formula di chiusura viene derivata dalla formula di trasporto di Meyer-Peter e Mueller (1948), definendo $\mathbf{q}_s = (cu_h, cv_h)$. Come riportato in precedenti lavori, l'equazione che definisce la concentrazione in funzione delle variabili idrodinamiche è la seguente:

$$c = c_b \beta \frac{u^2 + v^2}{h}$$

dove β è un coefficiente, funzione della densità del materiale e dalla scabrezza del fondo.

È possibile anche considerare la propagazione su fondo fisso, in questo caso la concentrazione, se presente, risulta assimilata ad una variabile trasportata in modo avvettivo e la quota del fondo una variabile nota.

Per definire invece il valore dello sforzo sul contorno τ si utilizza la formulazione adottata da O'Brien e Julien (1985) [8] nel codice Flo2D:

$$\begin{aligned}\tau_x &= \tau_s \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} + \frac{K \eta}{8h} u + \frac{n_{ld}^2 \gamma_m}{h^{1/3}} u \sqrt{u^2 + v^2} \\ \tau_y &= \tau_s \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} + \frac{K \eta}{8h} v + \frac{n_{ld}^2 \gamma_m}{h^{1/3}} v \sqrt{u^2 + v^2}\end{aligned}$$

dove τ_s è lo sforzo di soglia, η è la viscosità dinamica, n_{ld} è il coefficiente di resistenza dispersivo-turbolento γ_m è il peso specifico della mistura, K è un parametro di resistenza per deflussi laminari (variabile nell'intervallo 24÷50000 al variare della scabrezza del fondo).

Nel caso di propagazione di onde di piena liquide su fondo fisso lo sforzo di soglia e il termine viscoso sono nulli, mentre n_{ld} rappresenta semplicemente la scabrezza al fondo di Manning ($n_{ld} = 1/K_s$) [10].

La relazione di moto uniforme che permette, attraverso il coefficiente di scabrezza, di valutare lo sforzo al fondo non è, in effetti, valida per ogni valore di tirante. Nel caso in cui il tirante risulti molto basso insorgono infatti problemi legati alla bassa sommergenza e lo sforzo al fondo aumenta notevolmente. È possibile quindi rivalutare il valore del parametro di scabrezza per tener conto dell'effetto della bassa sommergenza. La relazione utilizzata nel codice di calcolo è la seguente:

$$k_s = k_{s_0} - \left(k_{s_0} - \frac{k_{s_0}}{7.5} \right) \left(1 - \tanh \left(\frac{k_{s_0}}{2.5} h \right) \right)$$

ove k_{s_0} è il valore base della scabrezza e h è il tirante locale.

Lo schema numerico di calcolo è conservativo, esplicito e ai volumi finiti, tipo Godunov. Il solutore delle equazioni del modello è *shock-capturing* (HLL) ed è quindi adatto all'analisi della propagazione e della fase

di arresto anche di fenomeni impulsivi. L'aggiornamento temporale delle variabili conservate viene eseguito tramite il seguente bilancio ai volumi finiti, nel quale risulta già inclusa la lateralizzazione:

$$\mathbf{U}_{i,j}^{n+1} = \mathbf{U}_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[\mathbf{F}_{i-\frac{1}{2},j} - \mathbf{F}_{i+\frac{1}{2},j} \right] + \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[\mathbf{G}_{i,j-\frac{1}{2}} - \mathbf{G}_{i,j+\frac{1}{2}} \right] + \Delta t (\mathbf{H}_{i,j} + \mathbf{S}_{i,j})$$

La stabilità del metodo di calcolo viene garantita dal rispetto della condizione di Courant:

$$\Delta t = \frac{C_{cfl} \min[\Delta x, \Delta y]}{\max[S_{3x}, |S_{1x}|, S_{3y}, |S_{1y}|]} \quad C_{cfl} = 0.5$$

ove S è la celerità delle piccole perturbazioni.

La maglia a celle quadrate non permette una precisa simulazione di flussi liquidi con direzione diversa da quella degli assi cartesiani. Nel caso, ad esempio, di alveo rettangolare disposto obliquamente (45°) rispetto agli assi, si è verificato che si crea una scabrezza aggiuntiva “di cella” che determina un aumento locale della scabrezza al fondo. Per ovviare a questo problema le celle con due soli bordi adiacenti a celle bagnate sono state trattate a tutti gli effetti come celle triangolari. La metà cella triangolare adiacente a celle bagnate è stata considerata sede di flusso, mentre l'altra metà è stata considerata con lo stesso tirante della vicina metà, ma con velocità nulla.

7.2 Dati di input della modellazione 2D

7.2.1 Dominio di calcolo

Il dominio di calcolo utilizzato per la modellazione, rappresentato con una griglia a maglia quadrata di alto 1m, include la parte del torrente Fersina a monte dell'area di studio.

L'altimetria del dominio di calcolo è ricavata a partire dal rilievo Lidar della Provincia Autonoma di Trento 2009, la cui risoluzione è di 1 m.

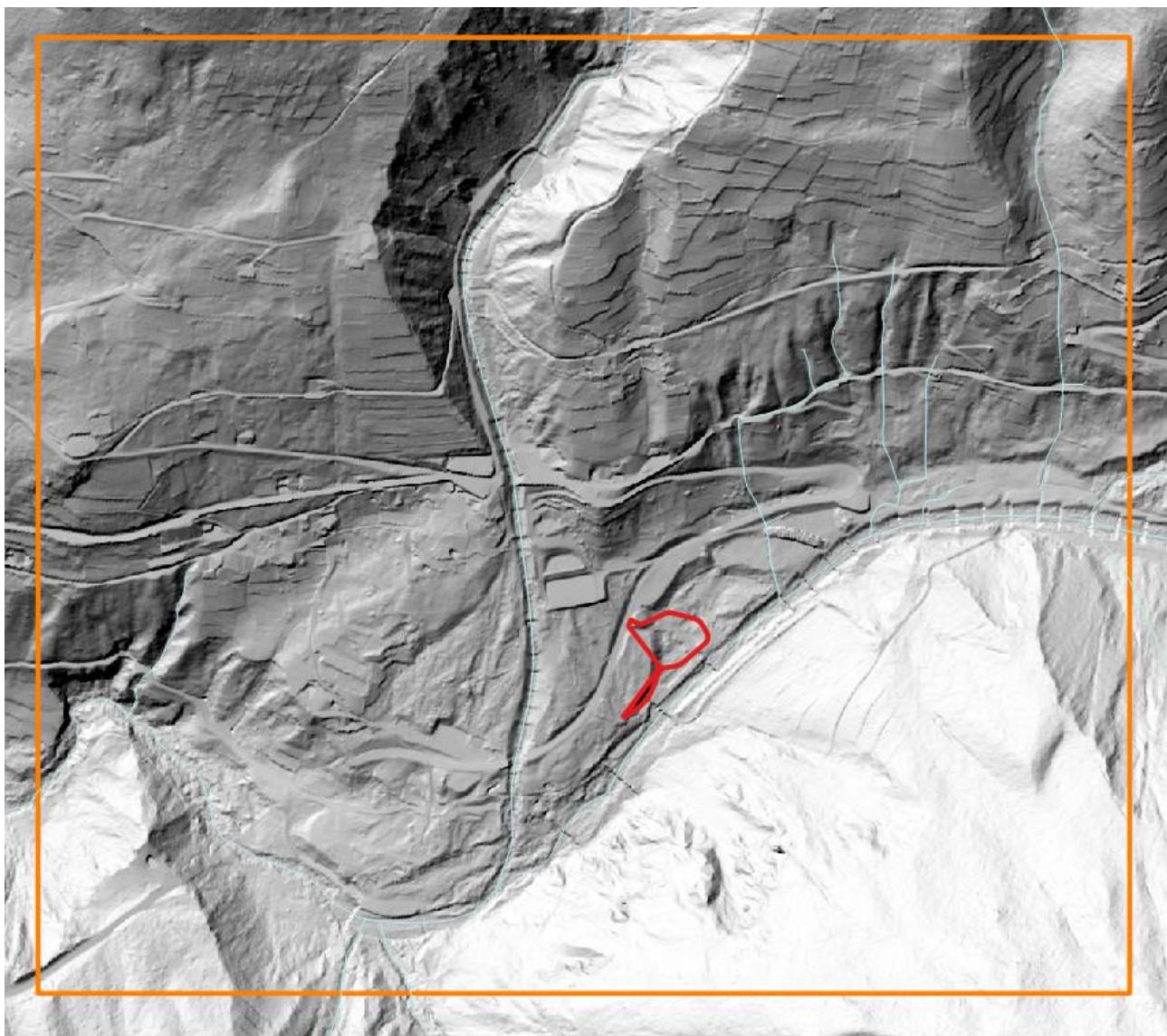


Figura 7.1: Estensione del campo di moto su ombre Lidar PAT 2009.

7.2.1 Condizioni al contorno

Nell celle di calcolo in ingresso e in uscita del modello viene posta la condizione di moto localmente uniforme.

7.2.1 Idrogrammi di piena

L'idrogramma della mistura riportato in Figura 7.2 viene assegnato alle celle di calcolo più orientali del dominio computazionale.

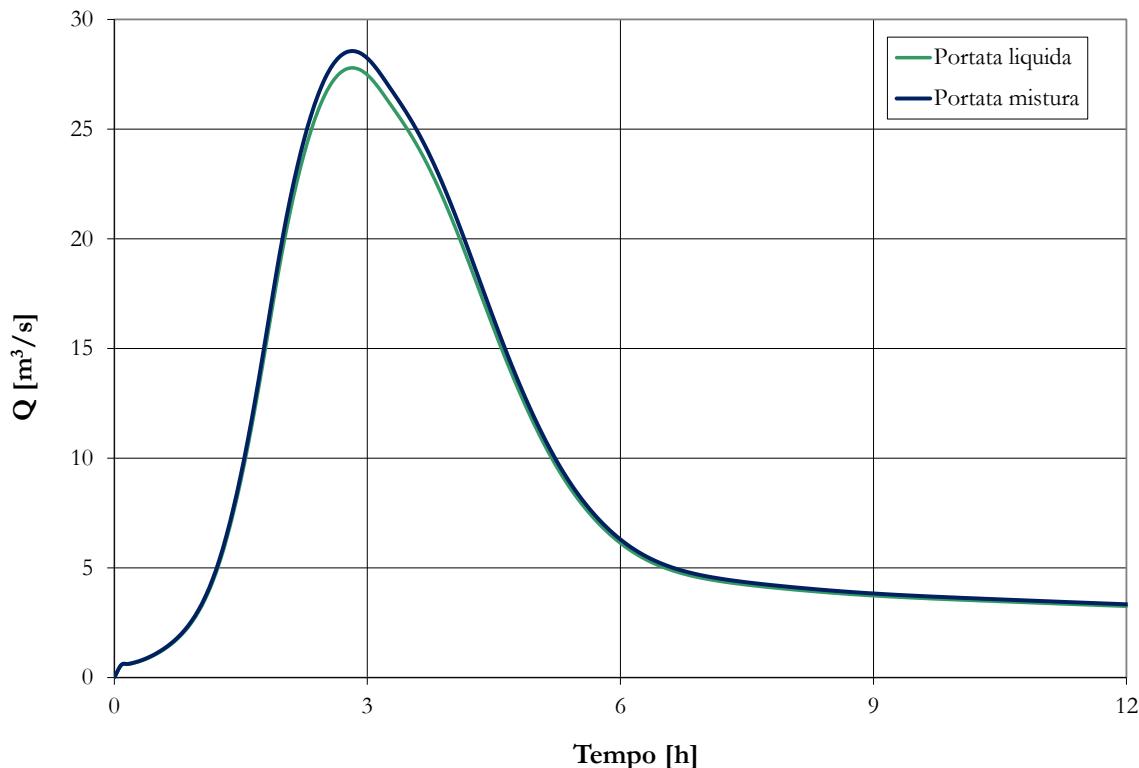


Figura 7.2: Idrogramma della portata liquida e idrogramma della mistura per un evento con tempo di ritorno di 200 anni nel bacino del torrente Fersina.

7.2.1 Parametri numerici

Il programma valuta i flussi di massa e quantità di moto nelle due direzioni x e y, quando almeno una delle due celle di calcolo presenta un tirante idrico superiore a $h_{min\ flooding}$; tale parametro è stato posto pari a 1 cm.

7.2.2 Parametri idraulici

La chiusura fenomenologica dello sforzo tangenziale al fondo è stata definita tramite la relazione di moto uniforme di Manning. Il coefficiente di scabrezza viene assegnato ad ogni sezione del canale e ad ogni cella del dominio. Per passare dal valore di scabrezza di Strickler ks a n di Manning si utilizza la relazione: $ks = 1/n$.

In particolare, è stato assegnato il coefficiente di scabrezza pari a $15 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per i corsi d'acqua. Per le altre aree sono stati assegnati i coefficienti di scabrezza di Strickler partendo dalla mappa della copertura dell'uso del suolo e di quella del parametro CN.

7.3 Risultati della modellazione 2D

Gli output usati nel post-processing sono rappresentati dai files GRID ASCII delle quote della superficie libera, del tirante idrico e della velocità su tutto il campo di moto registrati dal codice di calcolo ogni timestep della simulazione e dall'inviluppo dei valori massimi delle variabili suddette. Si è deciso di rappresentare i risultati relativi alla profondità massima dell'acqua ed alle velocità massime della corrente in termini di "inviluppo". La figura mostra l'esempio delle zone allagate con indicazione del tirante massimo per lo scenario ipotizzato, mentre la figura mostra l'indicazione delle velocità massime.

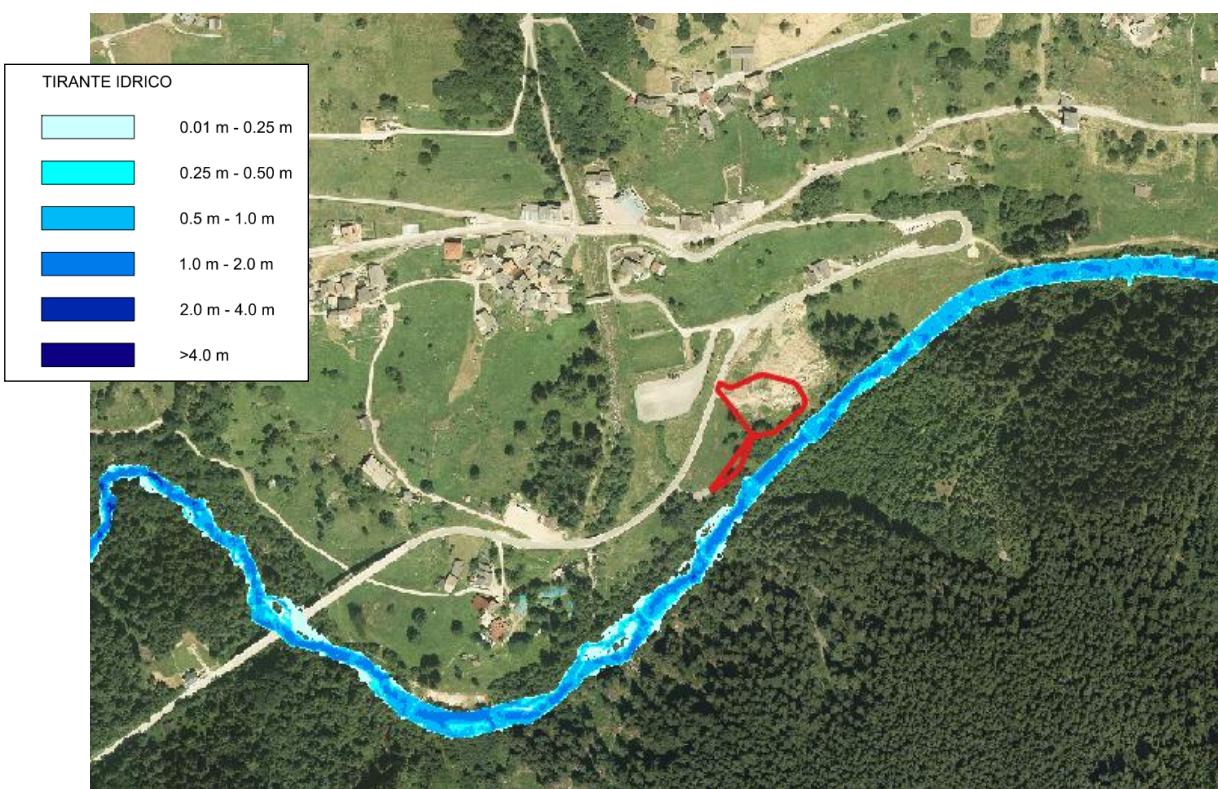


Figura 7.3: Mappa delle aree allagate (tirante massimo) lungo il torrente Fersina su ortofoto.

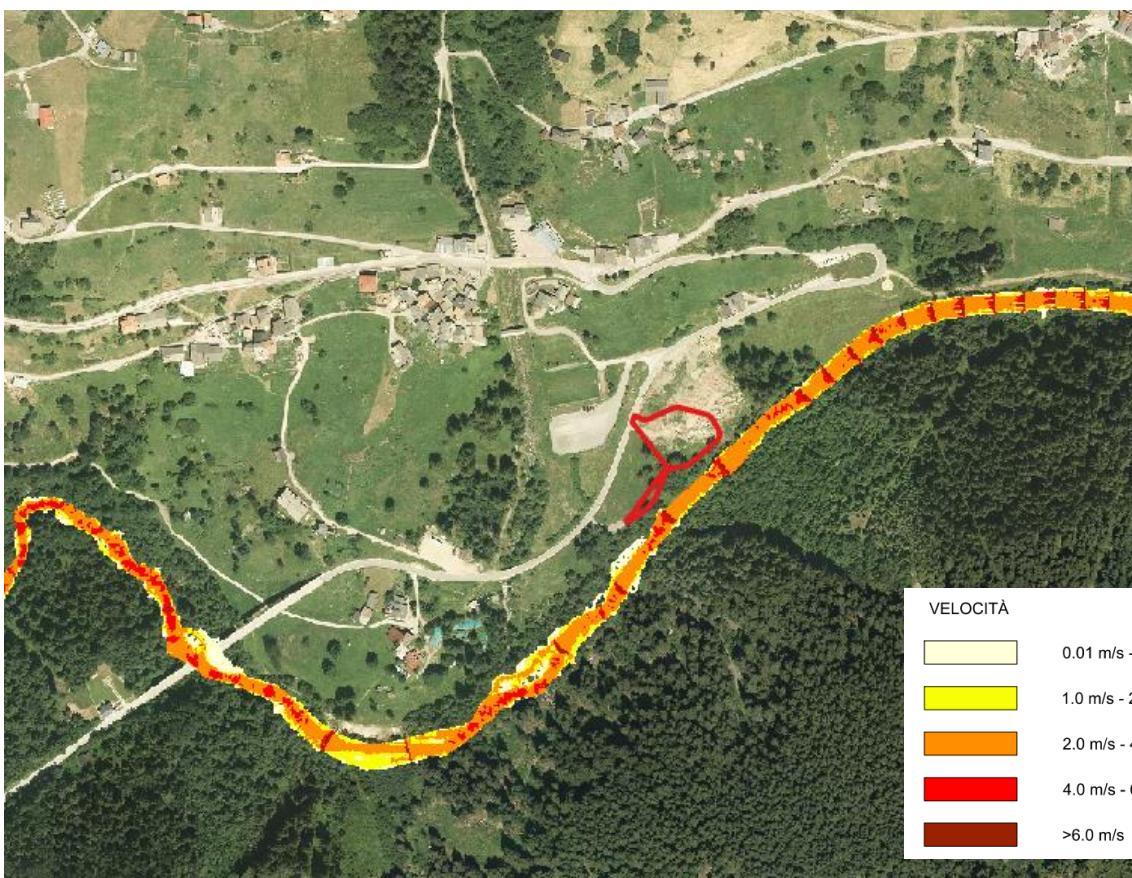


Figura 7.4: Mappa delle velocità dell'acqua (velocità massima) lungo il torrente Fersina su ortofoto.

Le simulazioni implementate hanno evidenziato che l'alveo del torrente riesce a smaltire l'onda di piena corrispondente ad un evento con Tr pari a 200 anni, senza interessare l'area interessata di trasformazione urbanistica.

Nel tratto d'alveo in corrispondenza della trasformazione urbanistica sono state estratte alcune sezioni trasversali per valutare i franchi arginali; si riportano in Figura 7.5 le tracce delle sezioni utilizzate. In alveo i tiranti sono inferiori al metro e la velocità supera i 4m/s;



Figura 7.5: Tracce delle sezioni utilizzate per valutare il franco arginale su ortofoto.

| sezione | Quota Arginale dx | Quota pelo libero | Franco |
|---------|-------------------|-------------------|--------|
| 1 | 1335.84 | 1333.15 | 2.69 |
| 2 | 1329.16 | 1327.97 | 1.19 |
| 3 | 1323.61 | 1321.25 | 2.36 |
| 4 | 1318 | 1315.15 | 2.85 |
| 5 | 1311.68 | 1308.5 | 3.18 |
| 6 | 1309.403 | 1305.98 | 3.42 |

Tabella 7.7: Quote arginali e del pelo libero nelle sezioni utilizzate.

8 Conclusioni

Lo studio idrologico-idraulico del torrente Fersina ha permesso di evidenziare che l'area oggetto di cambio di destinazione d'uso nell'ambito delle varianti puntuali n. 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329 della Variante Generale 2021 al PRG del comune di Palù del Fersina, si trova in una posizione tale da non essere presumibilmente interessata da eventi di piena dello stesso.

Dall'analisi idrologica sviluppata è emerso che il torrente potrebbe dar luogo alla formazione di un'onda di piena con una portata massima di circa 29 m³/s per un tempo di ritorno di 200 anni.

La modellazione idraulica bidimensionale del campo di moto ha evidenziato che l'onda di piena si propaga all'interno del sedime dell'alveo senza interessare l'area oggetto di intervento.

Anche considerando eventuali scenari e fenomeni non preventivabili che si potrebbero comunque verificare nel corso di un evento di piena intenso, si ritiene che, vista l'entità dei franchi idraulici, difficilmente l'area oggetto di trasformazione urbanistica verrà interessata dalla piena del torrente Fersina.

Pertanto, per quanto sopra asserito, **si ritiene sussista la compatibilità della previsione urbanistica relativa alla nuova destinazione urbanistica delle particelle pp.ff. 1560/6, 2147/5, 2018/1, 2146/3, 2017, 2015/1, 1530/6, 1542/1, 1530/7, 1542/2 CC Palù del Fersina con la pericolosità del fenomeno atteso.**

9 Bibliografia

- [1] Associazione Italiana di Idronomia, Calibrazione dei parametri cinematici del modello afflussi-deflussi, Relazione tecnico scientifica, 2003.
- [2] Provincia Autonoma di Trento, Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche, 2005.
- [3] Manuale d'uso del software applicativo AdB-ToolBox (versione 1.5 e superiori) Estensione ANALISI IDROLOGICHE (AI).
- [4] Takahashi, T., 1978. Mechanical characteristics of debris flow, J.Hydraulic Div., ASCE, Vol 104, NoHY8, pp.1153-1169.
- [5] Giuliani M., Rosatti G., Fraccarollo L., 2004, Calcolo di onde di piena in alvei naturali a fondo mobile, XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento.
- [6] Giuliani M. e Fraccarollo L., 2007, A simplified approach to predict flood in sedimentary stream, XXXII Congress of IAHR, Venice.
- [7] Meyer-Peter E., Mueller R., 1948, Formulas for bed-load transport, Proc. of 2nd Meeting IAHSR, Stockholm, Sweden, pp. 1-26.
- [8] O'Brien J.S., Julien P.Y., 1985, Physical processes of hyperconcentrated sediment flows, Proc. Of the ASCE Specialty Conf. on the Delineation of Landslides, Floods and Debris Flow Hazards in Utah, Utah Water Research Laboratory, Series UWRL/g-85/03, 260-279.
- [9] O'Brien, 2006, Flo-2D User Manual.
- [10] Chow Ven Te, Open channel hydraulics, McGraw-Hill Book Co. Inc., 1953.