



COMUNE DI PALÙ DEL FERSINA

PROVINCIA DI TRENTO

**COMMITTENTE**  
**COMUNE DI PALÙ DEL FERSINA**

**PIANO REGOLATORE GENERALE - VARIANTE GENERALE 2021**  
**VARIANTE PUNTUALE N. 284, 285, 286**



**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA**

0	Emissione	TRN	LTT-GLN	05/2023	LINGUA	PAGINE
REV	DESCRIZIONE	EMESSO	APPROV.	DATA	I	46
SIGLA 431_Studio_compatibilita_idraulica_VarPRG_CANOPI v2.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 del rio Val dei Lenzi .....	8
4.1	Principali interventi di sistemazione idraulico-forestale.....	8
4.2	Tratto d'alveo oggetto di analisi – Inquadramento fotografico .....	10
5	Analisi degli eventi storici.....	18
6	Analisi idrologica .....	21
6.1	Caratteristiche principali del bacino imbrifero del rio Val dei Lenzi .....	21
6.2	Geolitologia, uso del suolo e CN .....	23
6.3	Modello geomorfologico AdB-ToolBox .....	26
6.4	Dati in input .....	27
6.5	Idrogramma liquido.....	30
6.6	Idrogramma della colata .....	32
7	Modellazione idraulica .....	36
7.1	Fondamenti matematico-numerici del codice di calcolo .....	36
7.2	Dati di input della modellazione 2D .....	38
7.2.1	Dominio di calcolo .....	38
7.2.1	Condizioni al contorno .....	39
7.2.1	Idrogrammi di piena .....	39
7.2.1	Parametri numerici.....	40
7.2.2	Parametri idraulici e reologici.....	40
7.3	Risultati della modellazione 2D .....	41
8	Conclusioni.....	45
9	Bibliografia.....	46

## 1 Oggetto

Il presente documento costituisce lo studio di compatibilità idraulica relativo alla proposta di cambio destinazione d'uso delle pp.ff. pp.ff.485/4, 485/1CC Palù del Fersina (variante puntuale n.284 , 285, 286) nell'ambito della Variante Generale 2021 al PRG del comune di Palù del Fersina.

La Carta di Sintesi della Pericolosità colloca le zone interessate dalla modifica di destinazione d'uso del suolo all'interno di aree in area “P3 – Penalità media” per pericolosità alluvionale torrentizia ed in area “P1 – Penalità assente o trascurabile” per incendi boschivi.

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 puntuali n. 284, 285, 286 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 da un poligono giallo.

<b>Particelle catastali interessate</b>	pp.ff.485/4, 485/1
<b>Località</b>	Kanopi
<b>Destinazione urbanistica VIGENTE</b>	Zona a verde di tutela degli insediamenti storici
<b>Destinazione urbanistica DI VARIANTE</b>	Viabilità locale di progetto

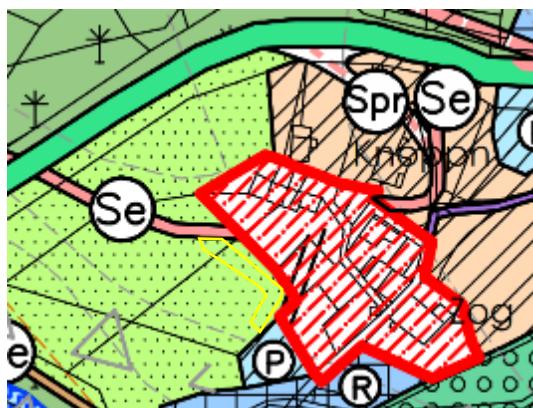


Figura 2.1: PRG vigente.



Figura 2.2: foto aerea 2020.

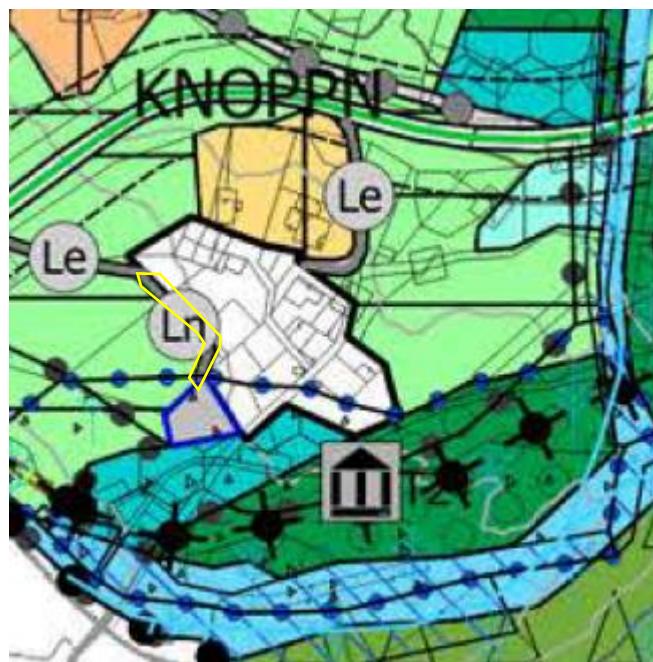


Figura 2.3: PRG Variante Generale 2021.

### 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 dalle Varianti Puntuali 284, 285, 286 ricade in area “P3 – Penalità media” per pericolosità alluvionale torrentizia ed in area “P1 – Penalità assente o trascurabile” per incendi boschivi.

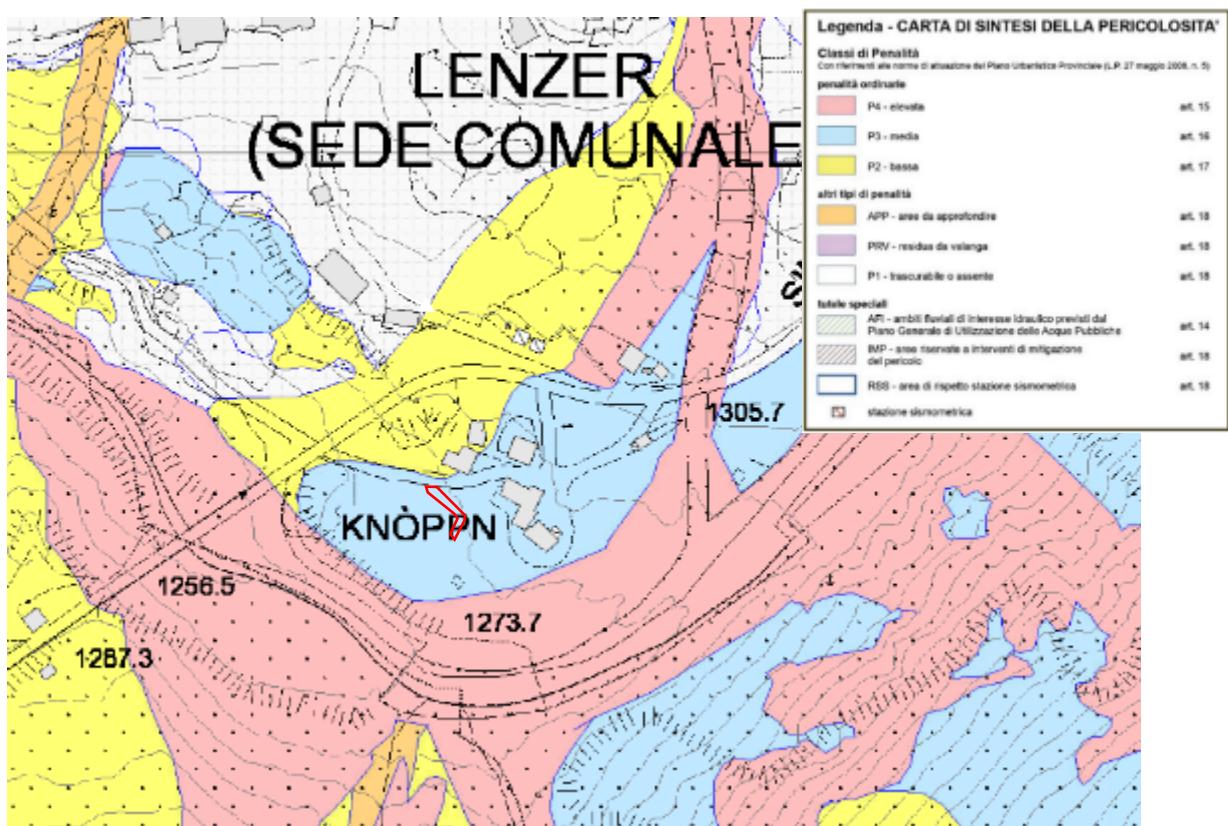
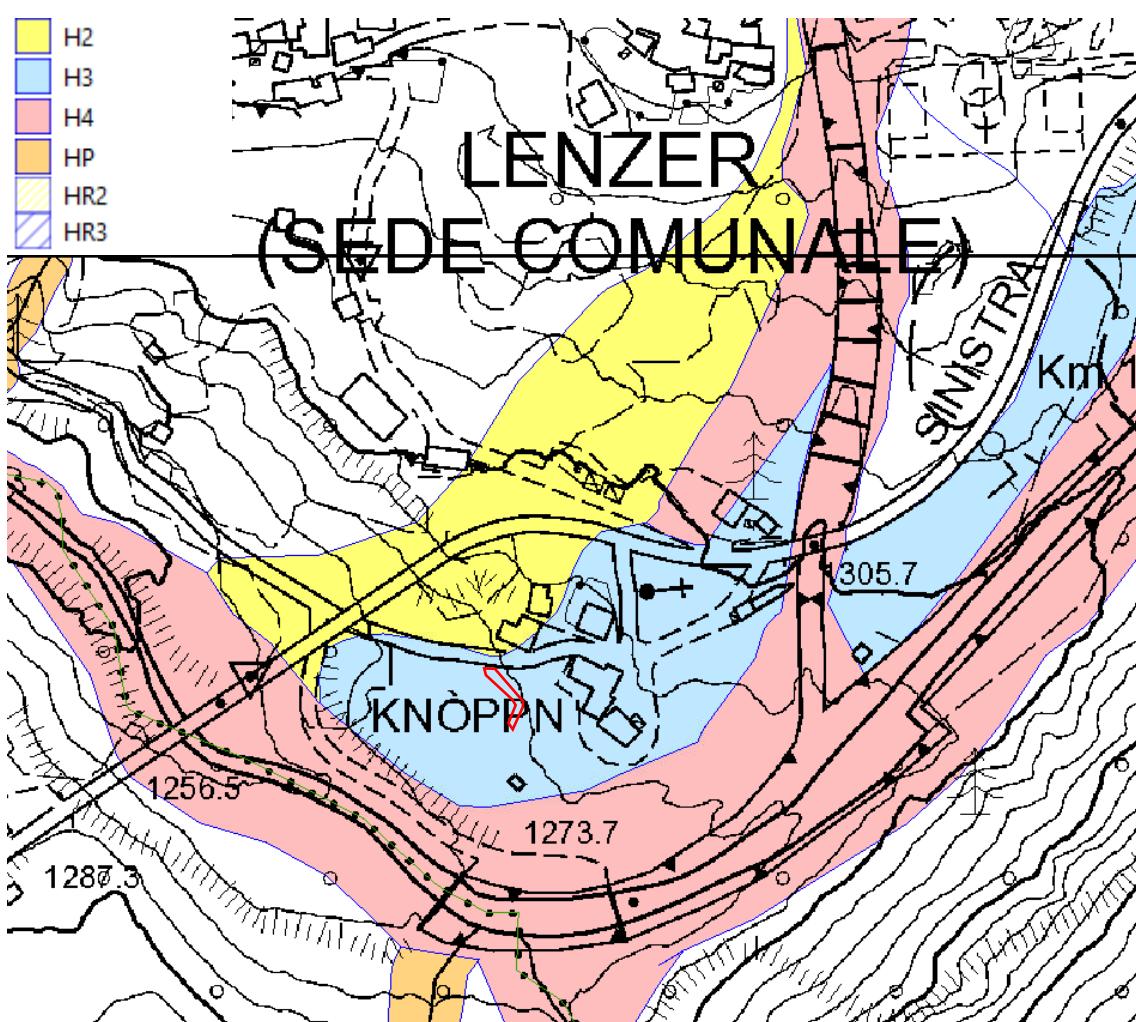


Figura 3.1: Estratto della CSP per l'area di interesse (in rosso l'area interessata dalle varianti puntuali 284, 285, 286).

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 "P3 – penalità media".



**Figura 3.2:** Estratto della Carta della pericolosità alluvionale torrentizia per l'area di interesse (in rosso l'area interessata dalle varianti puntuali 284, 285, 286).

## 4 Descrizione del rio Val dei Lenzi

Il rio Val dei Lenzi è collocato nella parte nord-orientale del bacino del torrente Fersina, a monte dell'omonima frazione, all'interno del comune di Palù del Fersina.

Esso nasce alle pendici meridionali del monte Rojoch, attraversa la valle dei Lenzi andando a sfociare, a valle dell'abitato di Knöppn (Canopi), come affluente di destra idrografica nel torrente Fersina.



**Figura 4.1:** Inquadramento del bacino del rio Val dei Lenzi (bacino in rosso) all'interno del bacino del torrente Fersina (bacino in giallo) e su ortofoto provinciale, con indicata in azzurro l'area interessata dalle varianti puntuali al PRG in oggetto.

Il rio presenta un unico affluente, il rio Val della Casa, in quanto i numerosi impluvi che da sinistra confluiscono nel rio, così come il rio Val Vecchia e il rio Val di Mezzo in quanto il loro apporto idrico è ridotto. I deflussi di magra del rio sono alimentati da numerose sorgenti affioranti nella parte medio bassa del bacino.

Il carattere marcatamente torrentizio, così come la presenza di frane in continua evoluzione lungo il tratto medio del rio e la facile movimentazione dei depositi morenici da cui sono costituiti i versanti, hanno reso in passato il corso d'acqua uno dei principali responsabili dell'apporto solido al torrente Fersina.

Per tale motivo il rio, così come il suo affluente di destra, il rio Val della Casa, è stato oggetto di interventi, eseguiti a più riprese e volti a consolidarne il fondo.

### 4.1 Principali interventi di sistemazione idraulico-forestale

Sul rio Val della Casa i lavori avviati alla fine del 1800 sono stati ripristinati nel 1932. La finalità degli interventi iniziati nel 1932 e proseguiti nel 1967 era il contenimento dell'erosione dell'alveo ed evitare l'erosione al piede dei versanti.

Nel 1987 sono state costruite le briglie e le soglie nel tratto del rio Val dei Lenzi che si sviluppa a monte del ponte sulla strada per la frazione dei Tollerì al fine regolarizzare l'andamento del corso d'acqua, che si presentava come un ammasso caotico di grossi massi porfirici. L'alveo è stato svasato e sono state inserite una serie di opere trasversali.

Nel 1996-1997 sono stati ripresi i lavori di consolidamento dell'alveo nel tratto di attraversamento del conoide. Sono stati sistemati il tratto a monte della Strada Provinciale n° 135 in località Canopi e della Strada della Valle del Fersina n° 8 in località Lenzi mediante soglie in massi ancorati con funi d'acciaio ad una struttura il calcestruzzo armato e scogliere in massi a secco parzialmente cementate, per proteggere le sponde.

Risale al 2005 la costruzione della briglia filtrante a quota 1500 m s.l.m.; l'opera, posta tra due briglie esistenti, è ancorata ad un costone roccioso. La briglia è costituita da tre contrafforti alti 4.6 m, che lasciano due fessure di larghezza 2.1m; la presenza di un elemento metallico inclinato di larghezza 0.3m dimezza la luce di ciascuna fessura larga circa 0.9 m. A monte dello sbarramento è stata realizzata la piazza di deposito con capacità di circa 4800 metri cubi.

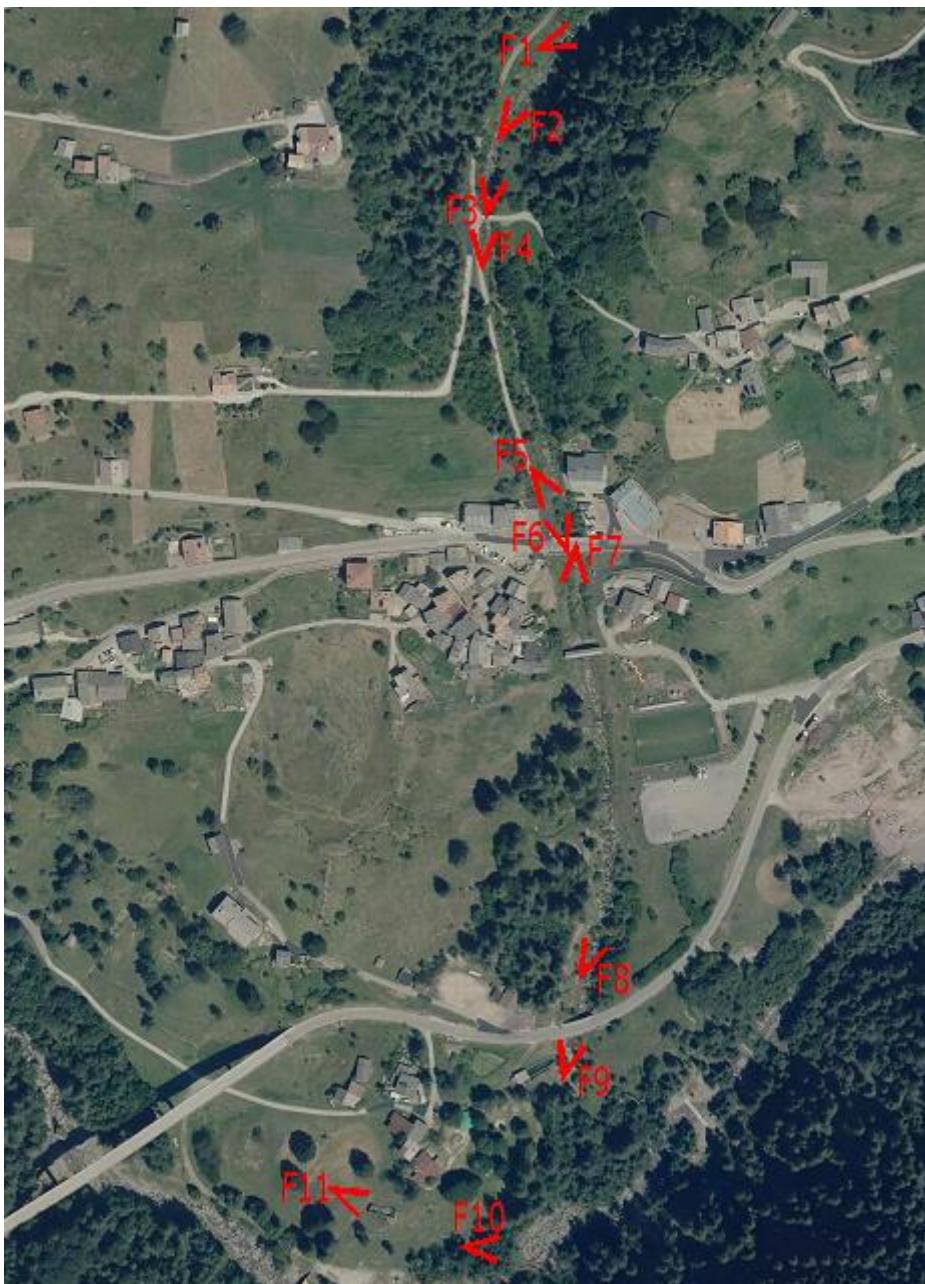


Figura 4.2: Estratto della mappa relativa alle opere in alveo (briglie di consolidamento, briglie di trattenuta, piazze di deposito e arginature) disponibile tramite WEBGis del Serv. Bacini Montani PAT.

## 4.2 Tratto d'alveo oggetto di analisi – Inquadramento fotografico

Come è stato ricordato in precedenza il rio Val dei Lenzi è stato oggetto di numerosi interventi di sistemazione idraulica sia delle sponde (murature in pietrame) che del fondo (briglie di consolidamento); la pendenza media del fondo dell'alveo dell'ordine del 20% con una sezione trapezoidale larga circa 7 m.

In particolare, le sistemazioni sopra descritte interessano l'alveo da circa 150 m a monte della briglia filtrante realizzata a monte dell'abitato di Lenzi sino alla confluenza del rio con il torrente Fersina, per un tratto di lunghezza complessiva di circa 800 m.



**Figura 4.3:** tratto d'alveo oggetto di analisi con punti di scatto delle foto.

A partire dalla briglia filtrante fino al ponte dei Tollerì sono presenti 8 briglie di consolidamento.

Il ponte comunale di loc. Tollerì presenta spalle in massi cementati ad ostruire parzialmente la sezione di deflusso, una larghezza del fondo di circa 5.5 m con una luce di circa 2 m.

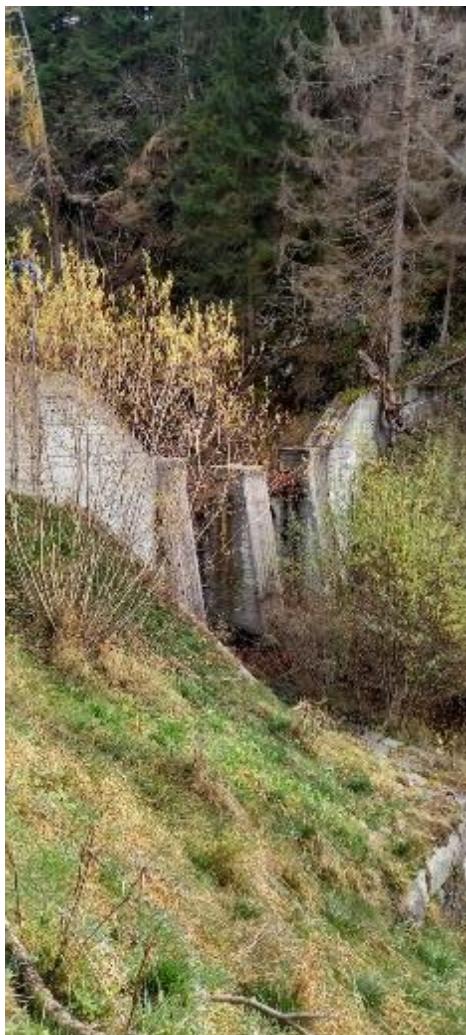
Nel successivo tratto, prima del ponte sulla SP135, sono state realizzate scogliere in massi cementati e a secco, nonché 4 briglie -salti di fondo. Le sponde sono protette da scogliere in massi sciolti di dimensione pari a circa 1 m.

Il ponte sulla SP135 presenta una luce di 4.4 m con una larghezza utile della sezione di 8m.

A valle di quest'ultimo ponte sorge, prevalentemente in destra idrografica, l'abitato di Lenzi; presso l'abitato sorge una passerella in legno che lo collega ai masi presenti in sinistra idrografica. La sezione utile al di sotto del ponte risulta larga nella parte incisa 8 m con una luce di 3.8 m.

Nel tratto terminale sono presenti 8 briglie prima del secondo ponte sulla SP135 e un'ultima briglia a quota 1310 m s.l.m.; le cinque briglie tra quota la 1315 e 1330 m s.l.m. sono state realizzate nel 1996 e sono costituite da massi legati con funi d'acciaio ancorati ad una struttura in calcestruzzo armato.

A valle del ponte sulla SP135, che presenta una luce massima di 3.5 con una larghezza della sezione di 15 m, sono visibili sponde in massi parzialmente ammalorate.



**Figura 4.4: F1 – briglia filtrante a valle della piazza di deposito, con affiancate foto scattante al momento della realizzazione della briglia.**

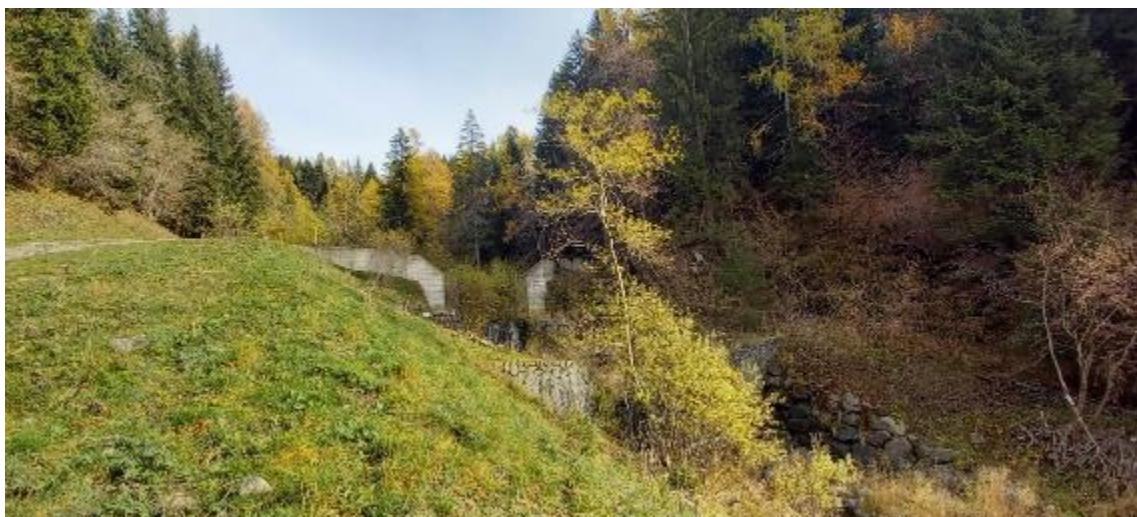


Figura 4.5: F2 – briglia filtrante a valle della piazza di deposito e briglie di consolidamento a valle della stessa.

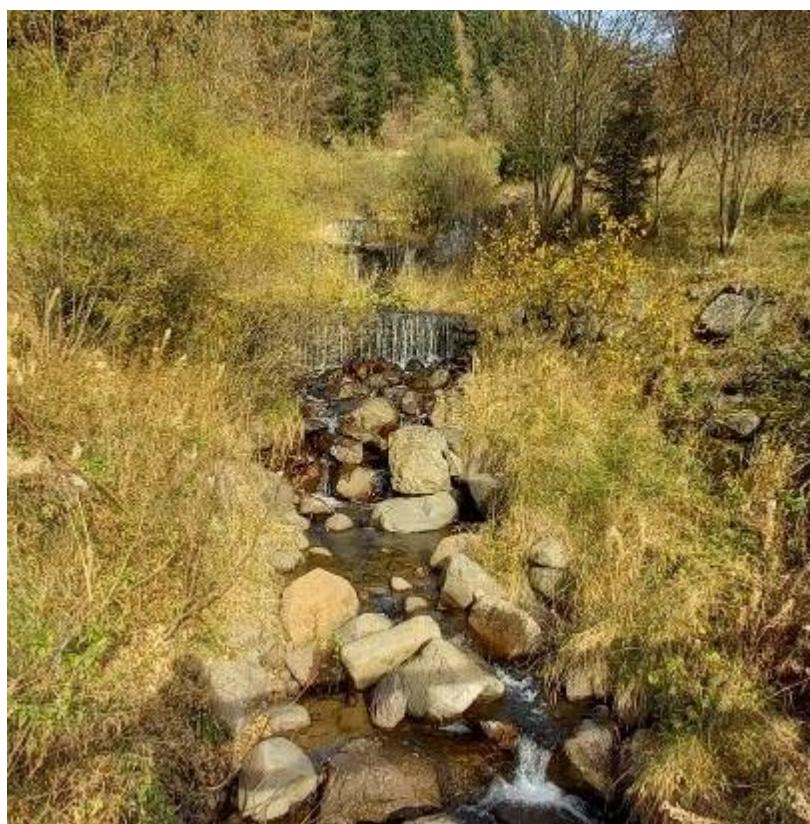


Figura 4.6: F3 – briglia di consolidamento lungo il tratto sistemato.

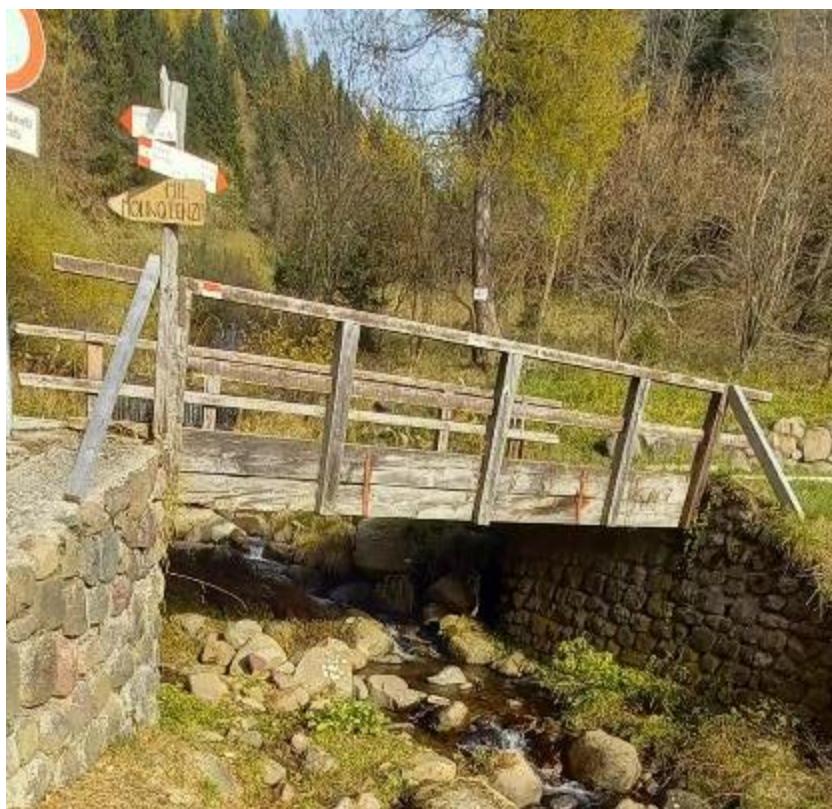


Figura 4.7: F4 – ponte della strada comunale, primo dei 4 attraversamenti presenti sul rio Val dei Lenzi nel tratto di analisi.



Figura 4.8: F5 – secondo dei 4 attraversamenti presenti sul rio Val dei Lenzi nel tratto di analisi.

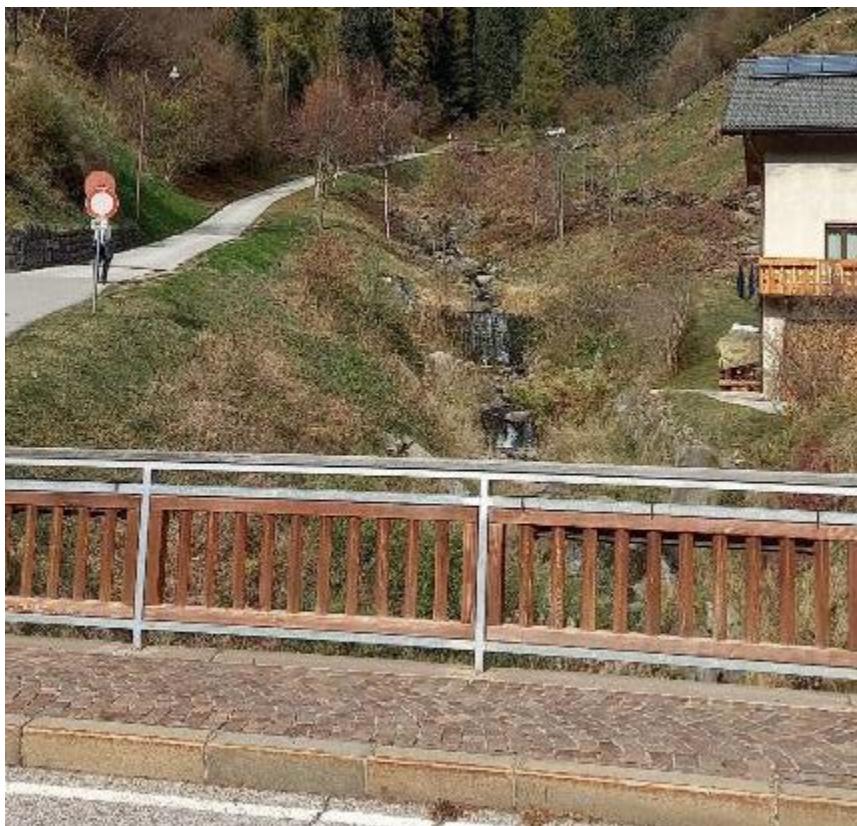


Figura 4.9: F6 - tratto a monte del ponte sulla SP135.



Figura 4.10: F7 - tratto a valle del ponte sulla SP135, con vista sul terzo degli attraversamenti presenti nel tratto di analisi.

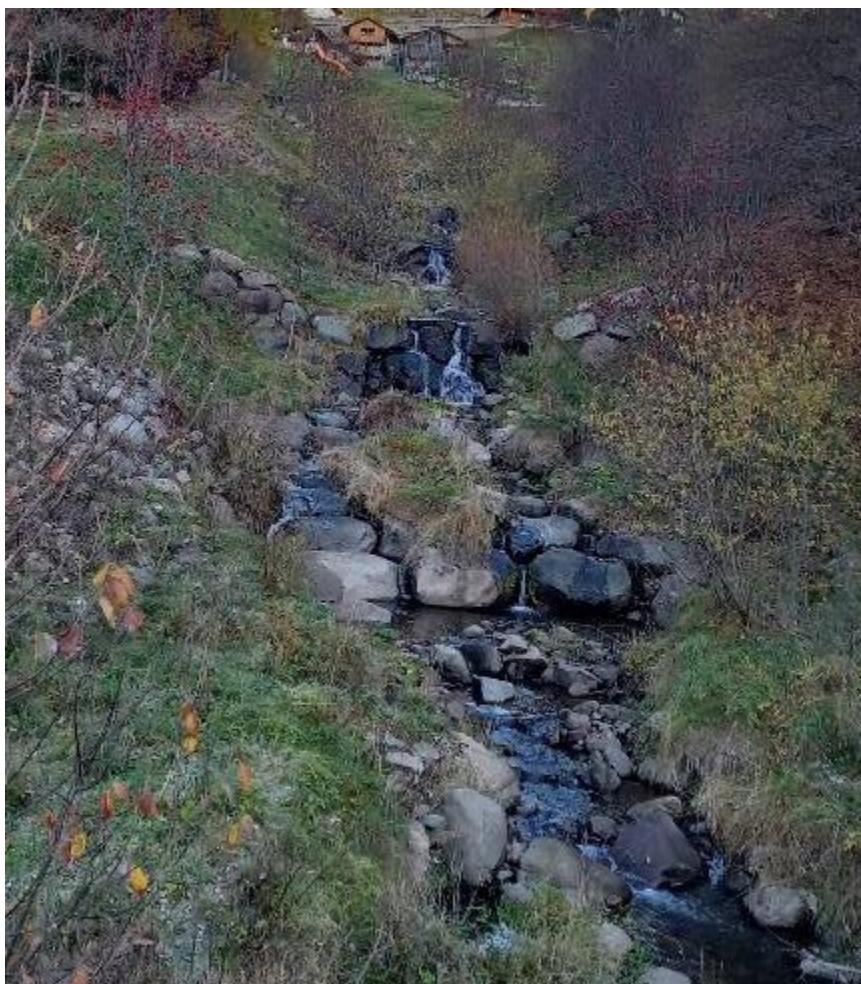


Figura 4.11: F8 – briglie di consolidamento lungo il tratto sistemato a valle dell'abitato di Lenzi.



Figura 4.12: F9 – secondo attraversamento sulla SP135.



Figura 4.13: F10 – tratto boscato a margine dell'area prativa interessata dalle varianti puntuali.

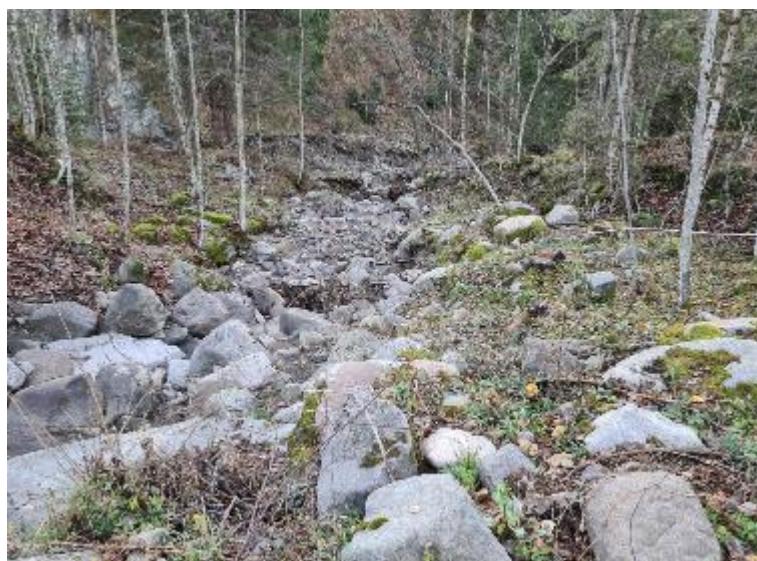


Figura 4.14: F11 – tratto terminale del rio.

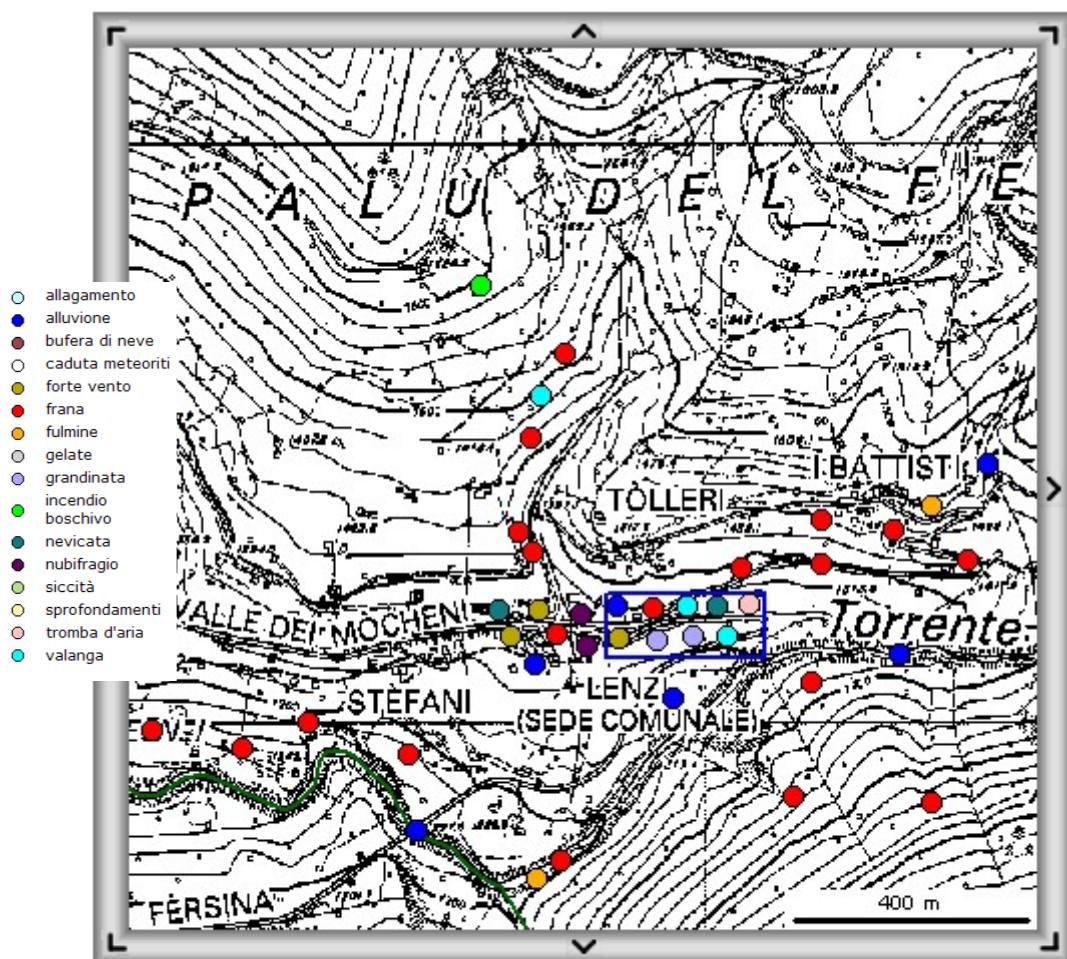
## 5 Analisi degli eventi storici

Le informazioni sugli eventi storici sono reperibili attraverso una ricerca nel Database del Progetto Arca (Archivio Eventi Calamitosi) del Servizio Geologico della PAT e nel webgis del progetto LifeFranca, nonché da alcune pubblicazioni di letteratura scientifica.

Nell'articolo pubblicato da D'Agostino e Sonda "Delimitazione su conoide delle aree soggette a pericolo di debris flow mediante indagini di campo" vengono segnalati i seguenti eventi calamitosi:

- piena del 1882: i danni da essa procurati sono stati tali da ritenerla la più catastrofica e violenta mai registrata nella valle dei Mocheni; la piena causò la formazione dei franamenti sul rio Val della Casa e del rio Val dei Lenzi e le erosioni visibili sulle pendici del monte Uomo Vecchio e Rujoch e sembra che in concomitanza di questo evento si siano generate le frane sul Rio Val di Casa e quella sul Rio Val dei Lenzi. Le colate detritiche innescatesi alle quote superiori hanno distrutto ampie zone a fustaia e prodotto i numerosi depositi laterali, i cui resti si osservano lungo il corso del torrente. Sul conoide invece si registrarono interruzioni di strade, danni a fabbricati e la distruzione di un macello in sinistra orografica;
- piena del 1917: il rio Val dei Lenzi "ruppe nel centro il ponte della strada militare, nelle vicinanze della scuola di Palù, portò via il ponte della mulattiera Lenzi – Tassainer, distrusse alcune costruzioni in legno ad uso abitazione dei militari";
- piena del 1951: il rio Val dei Lenzi creò problemi all'abitato di Canopi, ma nulla di significativo.
- l'alluvione del 1966 a valle della frazione Lenzi, causò lo sfondamento dell'argine naturale in sponda destra e la corrente raggiunse l'abitato di Knappen. L'articolo della Gazzetta del 7 novembre del 1966 riporta che "il torrente Lenzi è straripato in più punti nelle vicinanze dell'abitato del paese, inondando la zona bassa, dove si trovano tredici masi. ... Gli abitati dei masi, posti nelle vicinanze del greto del Ferina, dove confluisce il Lenzi, si sono allontanati dalle loro case portando in salvo il bestiame. Le infiltrazioni d'acqua hanno lesionato in modo grave alcune case del piccolo centro. Il vento violentissimo ha spazzato via, in grande numero, tegole e comignoli."

Nel Database del Progetto Arca (Archivio Eventi Calamitosi) del Servizio Geologico della PAT si segnala in particolare la piena del 1966.



© Provincia Autonoma di Trento  
Progetto ARCA  
GEB, 2006

Figura 5.1: Eventi calamitosi lungo il rio Val dei Lenzi nei pressi dell'area di studio [Fonte: Progetto ARCA - Servizio Geologico].

A monte dell'area di intervento è segnalato l'evento n.2503 "Alluvione" e verificatosi il 4/11/1966 che ha causato gravi danni al centro abitato, alla linea elettrica, all'acquedotto, alla linea telefonica, alla ferrovia e al bosco.

## ***Un'altra notte di incubo e di terrore per gli abitanti della valle dei Mocheni***

**Tremoloto di materiale e di detriti trascinati con estrema rapidità dagli affluenti del Fersina - Situazione drammatica a Florizzo e a Roveda - Ingentissimi danni causati all'economia forestale: sradicate dal vento oltre mille piante d'alto fusto**

**La situazione è diventata di colpo tragica anche sul crinale sinistro, a Mala, Sant'Orsola, Palù. A Palù appunto, il torrente Lenzi, che scende dalle montagne del Redebus, è straripato in più punti nelle vicinanze del paese, innondando la zona**

bassa dove si trovano tredici masi. La casa, la stalla ed il fienile di Basilio Maor sono stati sgomberati in gran fretta; qualche minuto più tardi una massa imponente d'acqua, terriccio e pinate è piombata a valle, lambendo il rustico senza tuttavia provocare danni. Anche gli abitanti degli al-

tri masi, posti nelle vicinanze del greto del Fersina, dove confluisce il Lenzi, si sono allontanati dalle loro case portando faticosamente in salvo il bestiame. Le infiltrazioni d'acqua hanno lesionato<sup>3</sup> in modo grave alcune case del piccolo centro. Il vento violentissimo ha spazzato via, in grande numero, tegole e cornignoli.

Nel database del progetto LifeFranca si segnala un evento di colata detrito.

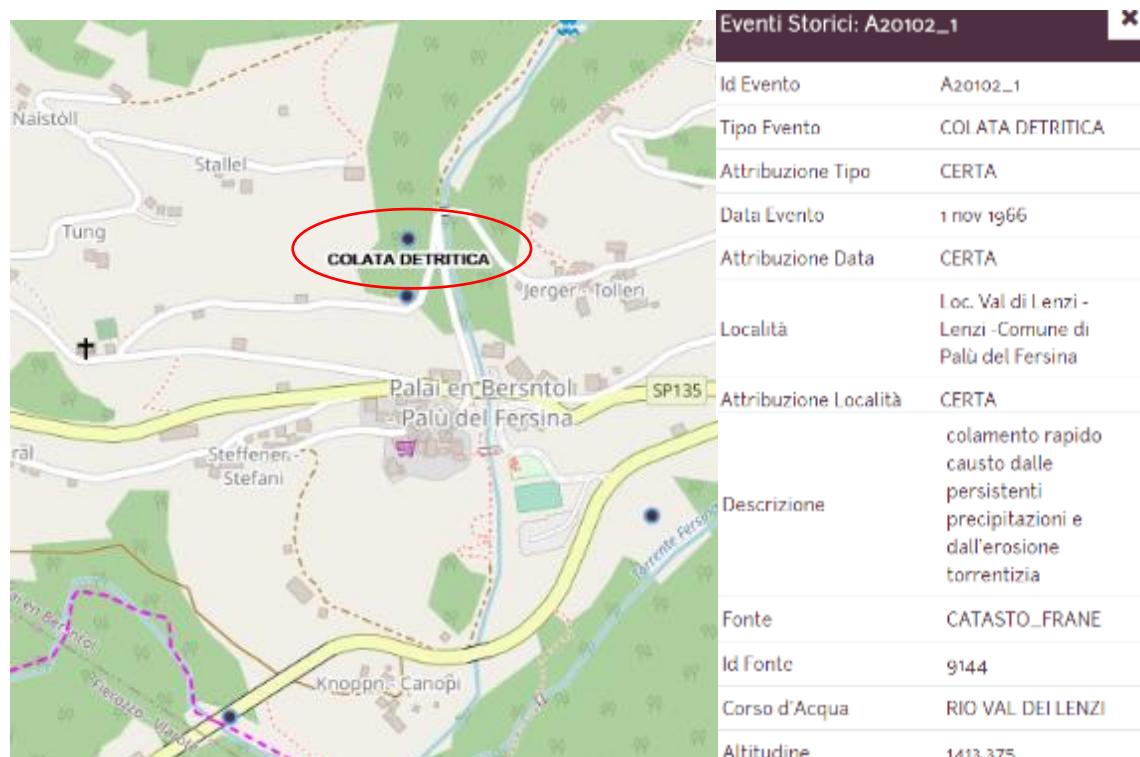


Figura 5.2: Estratto della mappa degli eventi calamitosi disponibile tramite WEBGis del progetto LifeFranca.

## 6 Analisi idrologica

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

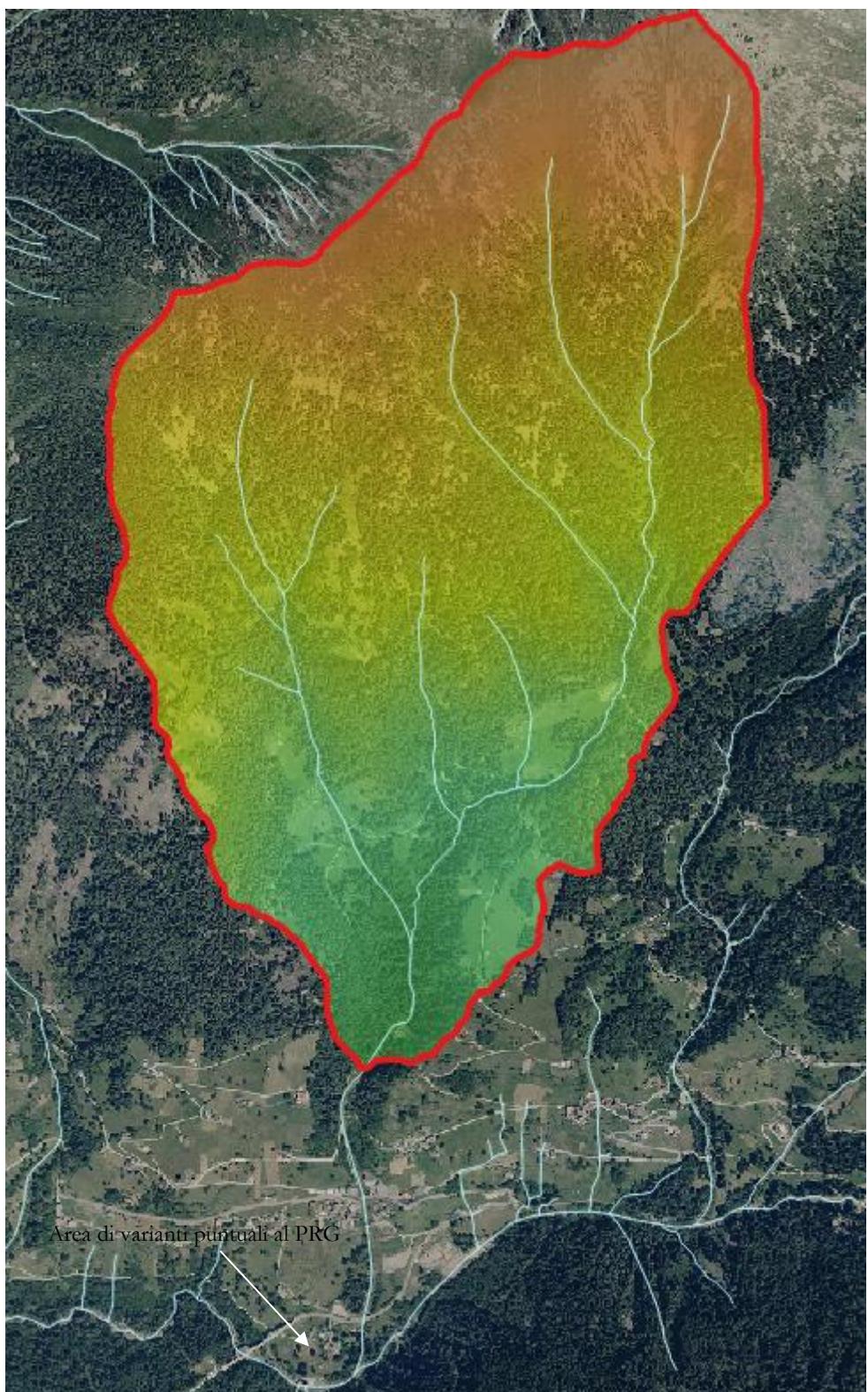
### 6.1 Caratteristiche principali del bacino imbrifero del rio Val dei Lenzi

Il bacino imbrifero del rio è stato chiuso immediatamente a valle della briglia di trattenuta posta a monte dell'abitato di Lenzi, come mostrato in Figura 6.1.

Nella seguente tabella vengono riportate le principali caratteristiche morfometriche del bacino imbrifero del rio Val dei Lenzi:

	Bacino
Area Bacino [km <sup>2</sup> ]	2.38
Altitudine media [m s.m.m.]	1888
Altitudine minima [m s.m.m.]	1413
Altitudine massima [m s.m.m.]	2414
Pendenza media [%]	57.46

Tabella 6.1: Caratteristiche del bacino del rio Val dei Lenzi.



**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:

- 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);
- 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);
- 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);
- 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

	<b>Arbusteti e mughe</b>	38	45	60	70
	<b>Bosco di latifoglie</b>	25	36	50	55
	<b>Pinete di Pino silvestre e/o Pino nero</b>	38	49	64	73
	<b>Piste da sci</b>	50	65	75	80
	<b>Zone incendiate</b>	70	75	80	88
	<b>Laghi e corsi d'acqua</b>	99	99	99	99
	<b>Paludi e zone umide</b>	90	90	90	90
	<b>Ghiacciai</b>	95	95	95	95

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

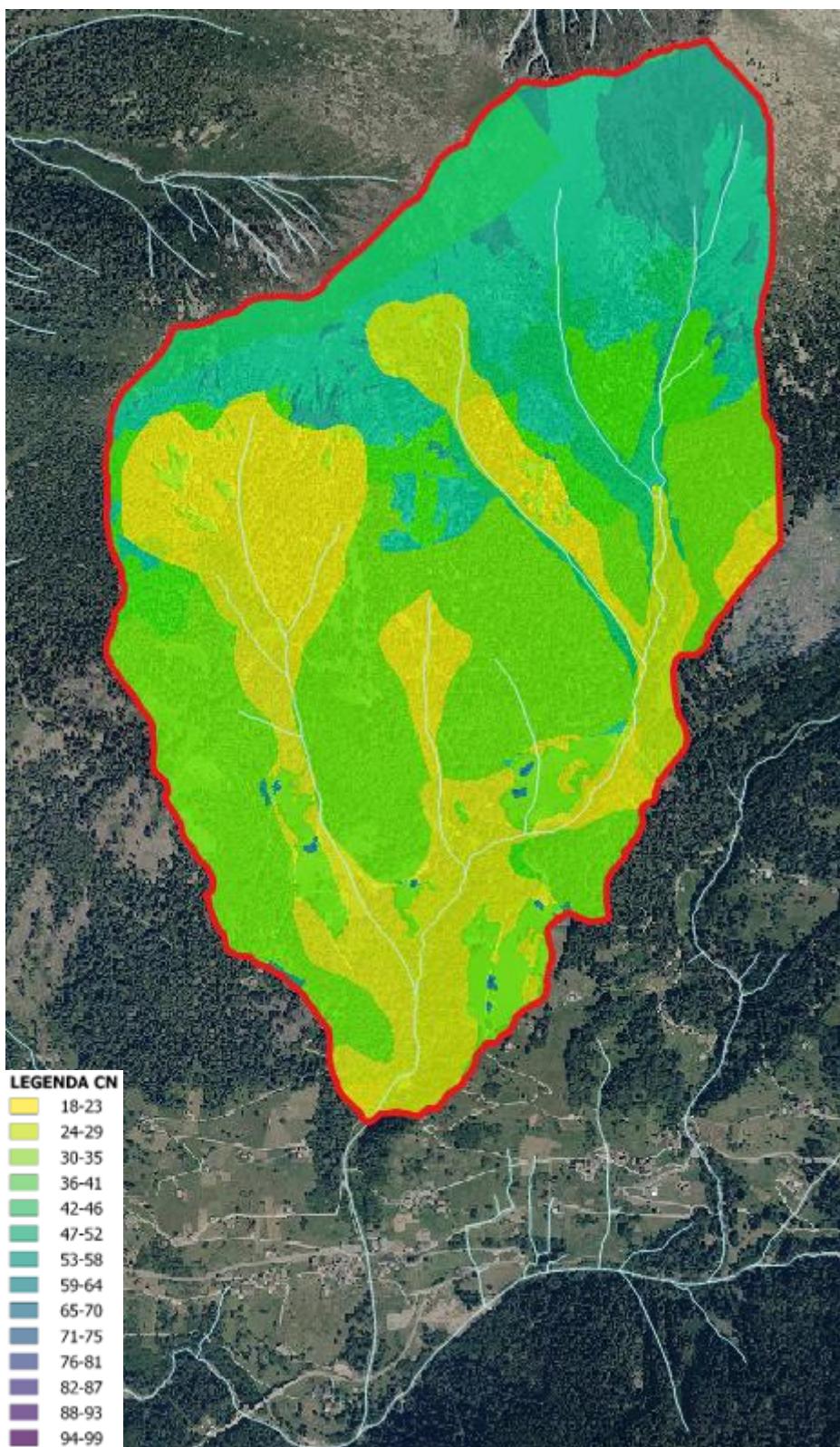


Figura 6.2: Carta dei Curve Number per l'area del bacino imbrifero esaminato nell'analisi idrologica.

### 6.3 Modello geomorfologico AdB-ToolBox<sup>1</sup>

Il calcolo dell'idrogramma di piena 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 km<sup>2</sup> 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.

<sup>1</sup> 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.

## 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 2011 ad una risoluzione di 1 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 1 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 km<sup>2</sup>, 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 km<sup>2</sup>, la durata in ore, e con  $5 \leq A \leq 800$  km<sup>2</sup> 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<sub>th</sub>*:

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

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 <sup>2</sup>
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,  $\varepsilon$  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
21,5	27,8	31,9	35,9	38,2	41,1	45,0	48,8	51,1	0,37	0,33

**Tabella 6.4: Valori di  $a$  e  $n$  della curva di possibilità pluviometrica al variare del tempo di ritorno per il bacino del Rio Val dei Lenzi.**

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	12,9	16,7	19,2	21,6	23,0	24,7	27,1	29,4	30,8
0.50	16,7	21,5	24,8	27,9	29,7	31,9	34,9	37,9	39,7
0.75	19,3	25,0	28,7	32,3	34,4	37,0	40,5	44,0	46,0
1.00	21,5	27,8	31,9	35,9	38,2	41,1	45,0	48,8	51,1
2.00	27,0	34,9	40,2	45,2	48,1	51,7	56,6	61,5	64,3
3.00	30,9	40,0	46,0	51,7	55,1	59,2	64,8	70,3	73,6
4.00	34,0	44,0	50,6	56,9	60,6	65,1	71,3	77,4	81,0
5.00	36,6	47,4	54,5	61,3	65,2	70,1	76,7	83,3	87,2
6.00	38,9	50,3	57,9	65,1	69,3	74,5	81,5	88,5	92,6
7.00	41,0	53,0	60,9	68,5	72,9	78,4	85,8	93,2	97,5
8.00	42,8	55,4	63,7	71,7	76,2	82,0	89,7	97,4	101,9
9.00	44,5	57,6	66,2	74,5	79,3	85,2	93,3	101,3	106,0
10.00	46,1	59,6	68,6	77,2	82,1	88,3	96,6	104,9	109,7
11.00	47,6	61,5	70,8	79,6	84,7	91,1	99,7	108,3	113,3
12.00	49,0	63,3	72,9	82,0	87,2	93,8	102,6	111,4	116,6
13.00	50,3	65,1	74,8	84,2	89,6	96,3	105,4	114,4	119,7
14.00	51,6	66,7	76,7	86,3	91,8	98,7	108,0	117,3	122,7
15.00	52,7	68,2	78,5	88,3	93,9	101,0	110,5	120,0	125,6
16.00	53,9	69,7	80,2	90,2	96,0	103,2	112,9	122,6	128,3
17.00	55,0	71,1	81,8	92,0	97,9	105,3	115,2	125,1	130,9
18.00	56,0	72,5	83,4	93,8	99,8	107,3	117,4	127,5	133,4
19.00	57,1	73,8	84,9	95,5	101,6	109,2	119,5	129,8	135,8
20.00	58,0	75,1	86,3	97,1	103,3	111,1	121,6	132,0	138,1

21.00	59,0	76,3	87,7	98,7	105,0	112,9	123,6	134,2	140,4
22.00	59,9	77,5	89,1	100,2	106,7	114,7	125,5	136,3	142,6
23.00	60,8	78,6	90,4	101,7	108,3	116,4	127,4	138,3	144,7
24.00	61,7	79,7	91,7	103,2	109,8	118,0	129,2	140,3	146,8

Tabella 6.5: Altezza di pioggia di progetto [mm] per vari tempi di ritorno, per il bacino del rio Val dei Lenzi.

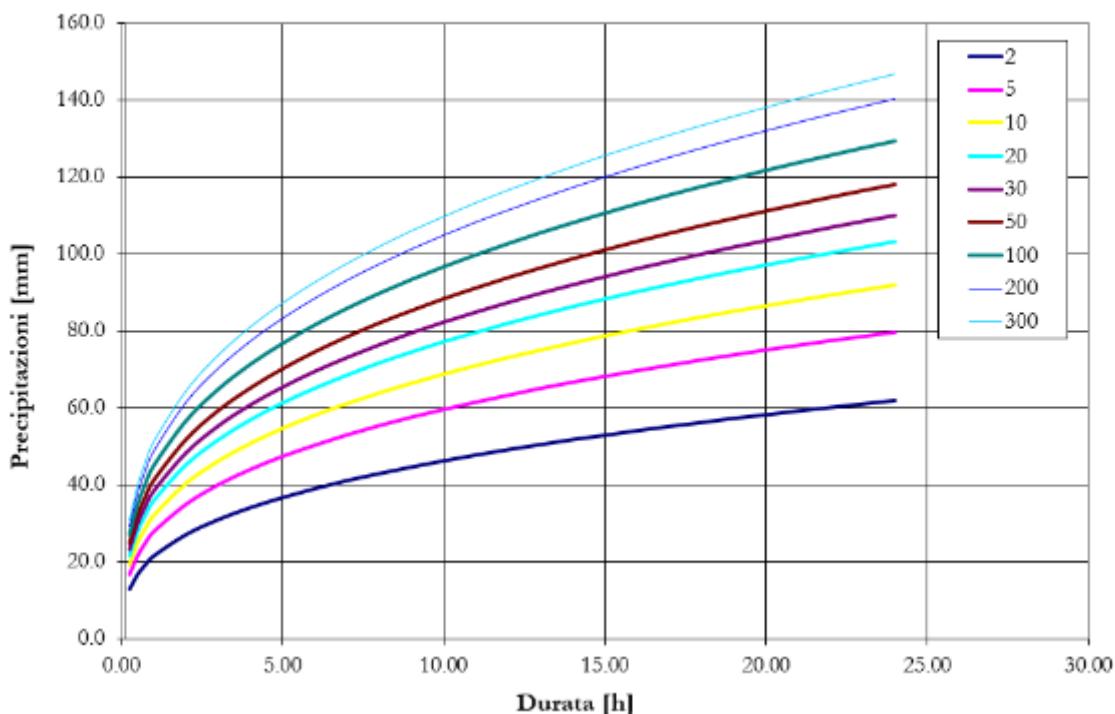


Figura 6.6: Linee di possibilità pluviometrica per il bacino idrografico in esame.

## 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 [m³/s]
200	6.25

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.

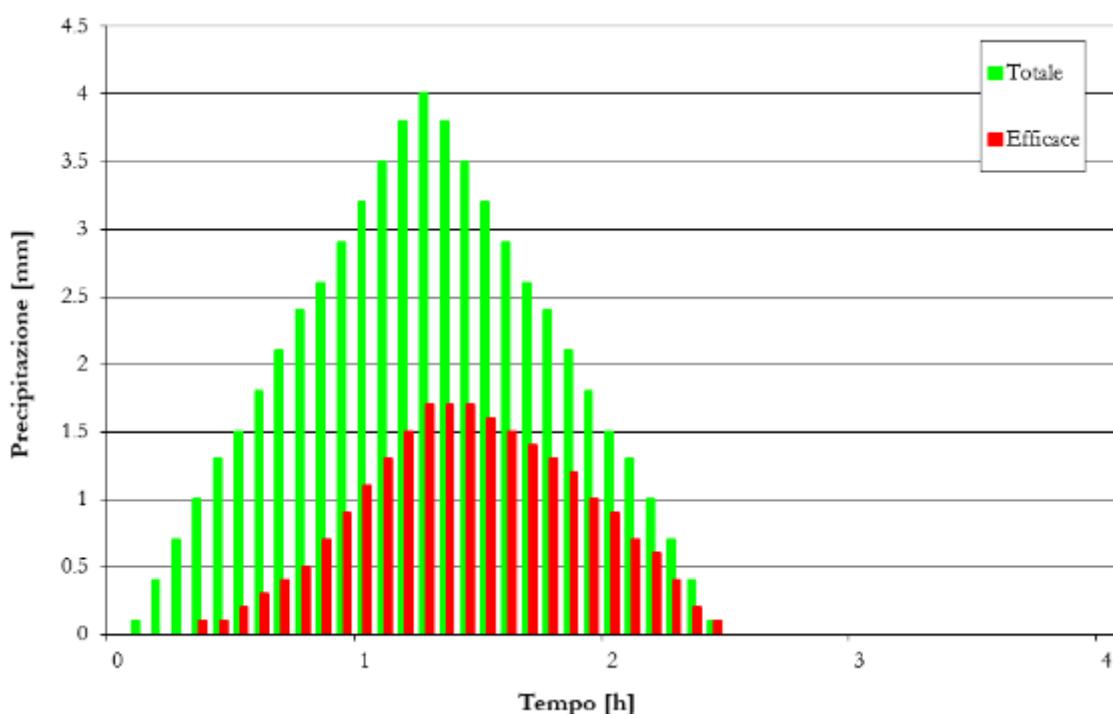


Figura 6.3: Ietogramma di progetto utilizzato per la determinazione dell'idrogramma di piena per il rio Val dei Lenzi,  $T_r=200$  anni.  $P_{tot}$  indica la pioggia totale,  $P_{eff}$  la pioggia efficace.

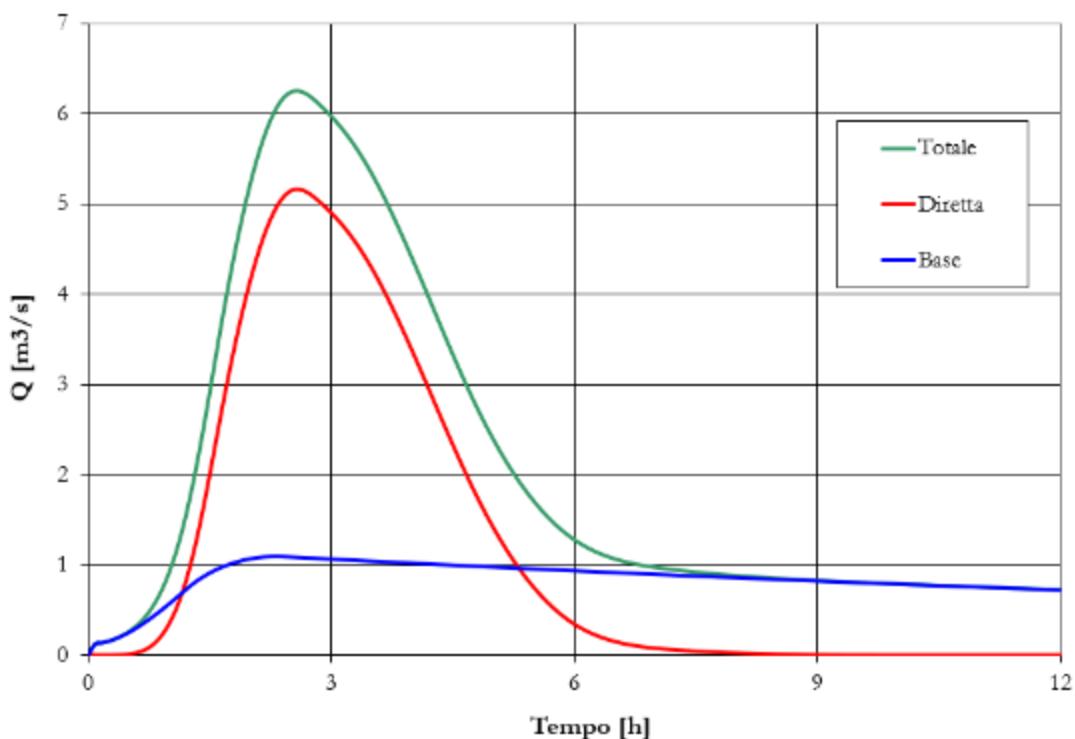


Figura 6.4: Idrogramma di piena per il rio Val dei Lenzi,  $T_r=200$  anni.  $Q_{bas}$  indica il deflusso profondo,  $Q_{dir}$  quello superficiale,  $Q_{tot}$  quello totale somma dei precedenti.

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

## 6.6 Idrogramma della colata

La conoscenza dell'idrogramma liquido di progetto, rappresentato nel paragrafo precedente, permette di definire attraverso il metodo volumetrico l'idrogramma della colata; per la stima dell'onda di colata è necessario definire il sedimentogramma della colata, ossia l'andamento della concentrazione volumetrica del sedimento nel corso dell'evento.

A seguito del sopralluogo sul rio Lenzi è stato possibile desumere, sulla base delle esperienze e delle evidenze in campo e dei dati della letteratura scientifica, la fenomenologia degli eventi che potrebbero aver luogo in caso di precipitazioni estreme. Il bacino potrebbe essere interessato dalla propagazione di colate detritiche con concentrazioni elevate, vista le caratteristiche del materiale litico movimentabile e le grandi quantità di sedimento disponibile.



**Figura 6.5:** Tratto montano del rio Val dei Lenzi, dove si apprezza la dimensione e la quantità di materiale disponibile.

Nella letteratura scientifica esistono diverse modalità di classificazione del fenomeno, che si possono ricondurre alle proprietà della matrice fluida – concentrazione volumetrica del sedimento e

concentrazione di materiale fine coesivo. Basse concentrazioni danno luogo a *mud flood* e *debris flood* caratterizzati da elevate velocità di propagazione del fronte, mentre concentrazioni elevate ( $C>0,45$ ) danno luogo a colate di fango o granulari in presenza rispettivamente di matrice fluida coesiva o non coesiva. Nel presente caso, il rio potrà originare colate di detrito.

Come è stato ricordato in precedenza, per definire l'idrogramma della colata si adotterà il metodo volumetrico attraverso la seguente espressione:

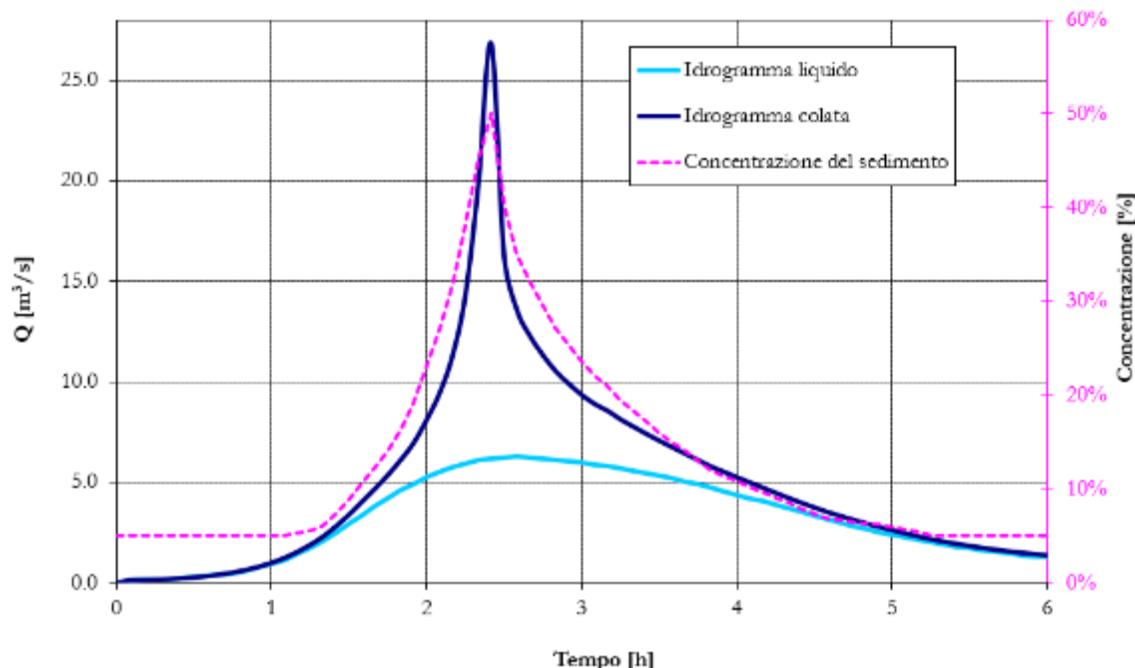
$$\frac{Q_{tot}}{Q_l} = \frac{C^*}{C^* - C_m}$$

dove:

- $C^*$  rappresenta la massima concentrazione di massimo impaccamento del materiale costituente l'ammasso (0.65);
- $C_m$  rappresenta la concentrazione volumetrica di equilibrio del fronte stazionario della colata in movimento.

Le simulazioni delle colate sono state effettuate ipotizzando un evento estremo nell'ipotesi di alimentazione solida continua da monte.

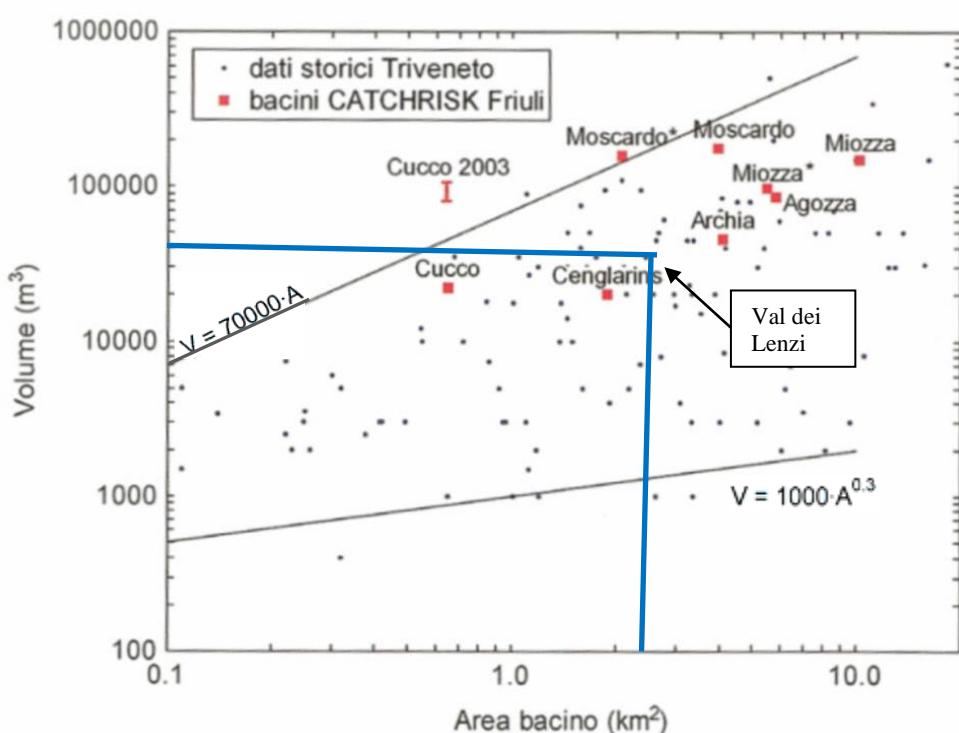
Il sedimentogramma di progetto, per il rio Val dei Lenzi (Figura 6.6) presenta un picco leggermente anticipato rispetto al picco dell'idrogramma liquido; la concentrazione massima del picco è stata posta, a favore di sicurezza, pari al 50% con una concentrazione media del picco sedimentogramma pari all'incirca al 18%. La portata al colmo della colata risulta di poco inferiore a  $27 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 6.6: Idrogramma liquido, idrogramma della colata e sedimentogramma di progetto per un evento con tempo di ritorno di 200 anni nel bacino del rio Val dei Lenzi.**

Dall'integrale delle curve ottenute si stima che il volume complessivo della colata (liquido + solido, curva blu) sia pari a poco meno di  $110302 \text{ m}^3$ , mentre la sola porzione solida risulta quantificabile in  $37613 \text{ m}^3$  (solido, curva blu meno curva azzurra). Ne risulta quindi che la colata di detrito ipotizzata ha un bacino imbrifero di  $2.38 \text{ km}^2$ , e un volume di materiale solido movimentabile stimato in  $39400 \text{ m}^3$ .

A supporto delle considerazioni sopra esposte, si riporta in Figura 6.7 uno storico del rapporto tra volumi mobilitizzati e area del bacino in una serie di eventi documentati nei bacini del nord est italiano (Triveneto) [11][11]. Le linee blu individuano le caratteristiche della colata di progetto del rio Val dei Lenzi; si può notare come i volumi stimati siano in linea con quelli di altri bacini con le stesse caratteristiche morfologiche e dimensionali. La linea di inviluppo superiore del grafico è data dalla relazione  $VS=70000*A$ , e indica un valore limite superiore per la movimentazione di volumi solidi.



**Figura 6.7: Confronto fra valutazioni di terreno dei volumi mobilizzabili ed eventi storici documentati nei bacini dell'Italia nord orientale. Viene indicata la posizione del rio Val dei Lenzi in base all'area del bacino e al volume mobilizzato dalla colata di progetto.**

Un ulteriore dato di confronto, per il calcolo del volume solido trasportato, può essere ottenuto mediante l'implementazione di diverse formule di letteratura, tarate sul territorio del Trentino orientale, le cui principali variabili sono:

- Area del Bacino [ $\text{km}^2$ ];
- Pendenza media del corso d'acqua;
- I.G. indice geologico del bacino, calcolato come la sommatoria del prodotto tra la percentuale di presenza di ciascuna classe litologica e il punteggio relativo alla singola classe litologica;

$$I.G. = \sum_i f_i P_i$$

- I.T. indice di trasporto del bacino, che rappresenta la forma di trasporto del materiale solido, calcolato come il rapporto tra 1 e la concentrazione. Tipicamente 1 è associato a debris flow, 2 è associato a debris flood e 3 è legato a fenomeni di trasporto di fondo;

I risultati di tali formule vengono riportati nel seguito.

Formula	Volume solido [m <sup>3</sup> ]
$Gs=45 A^{0.9} i^{0.5} I.G. [12]$	33887
$Gs=45.2 A^{1.16} i^{1.3} I.G. [13]$	54256
$Gs=39 A^{1.16} i^{1.5} I.G. I.T.^{-0.3} [12]$	32029
$Gs=18000 A i^{1.3} I.G. [13]$	21606
$Gs=29100 A^{0.67} [12]$	52023
$Gs=65000 A^{1.35} i^{1.7} [13]$	27064

**Tabella 6.7: Volumi solidi trasportati lungo il rio Val dei Lenzi, ottenuti mediante l'applicazione di diverse formule di letteratura considerando  $A=2.38\text{km}^2$ ,  $i=0.30$ ,  $I.G.=2.1$ ,  $I.T.=1$ .**

I volumi ottenuti mediante l'implementazione delle formule disponibili in letteratura risultano piuttosto variegati, ma comunque forniscono l'ordine di grandezza dell'evento atteso; il volume solido del sedimentogramma di progetto è in linea con le stime effettuate mediante valutazioni empiriche.

## 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], [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,  $\rho_w$  and  $\rho_s$  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  $\beta$  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  $\tau$  si utilizza la formulazione adottata da O'Brien e Julien [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  $\tau_s$  è lo sforzo di soglia,  $\eta$  è la viscosità dinamica,  $n_{ld}$  è il coefficiente di resistenza dispersivo-turbolento  $\gamma_m$  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 ( $45^\circ$ ) 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 è schematizzato con una griglia a maglia quadrata di lato 1m e include il compluvio del rio Val dei Lenzi, a valle della briglia filtrante.

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.

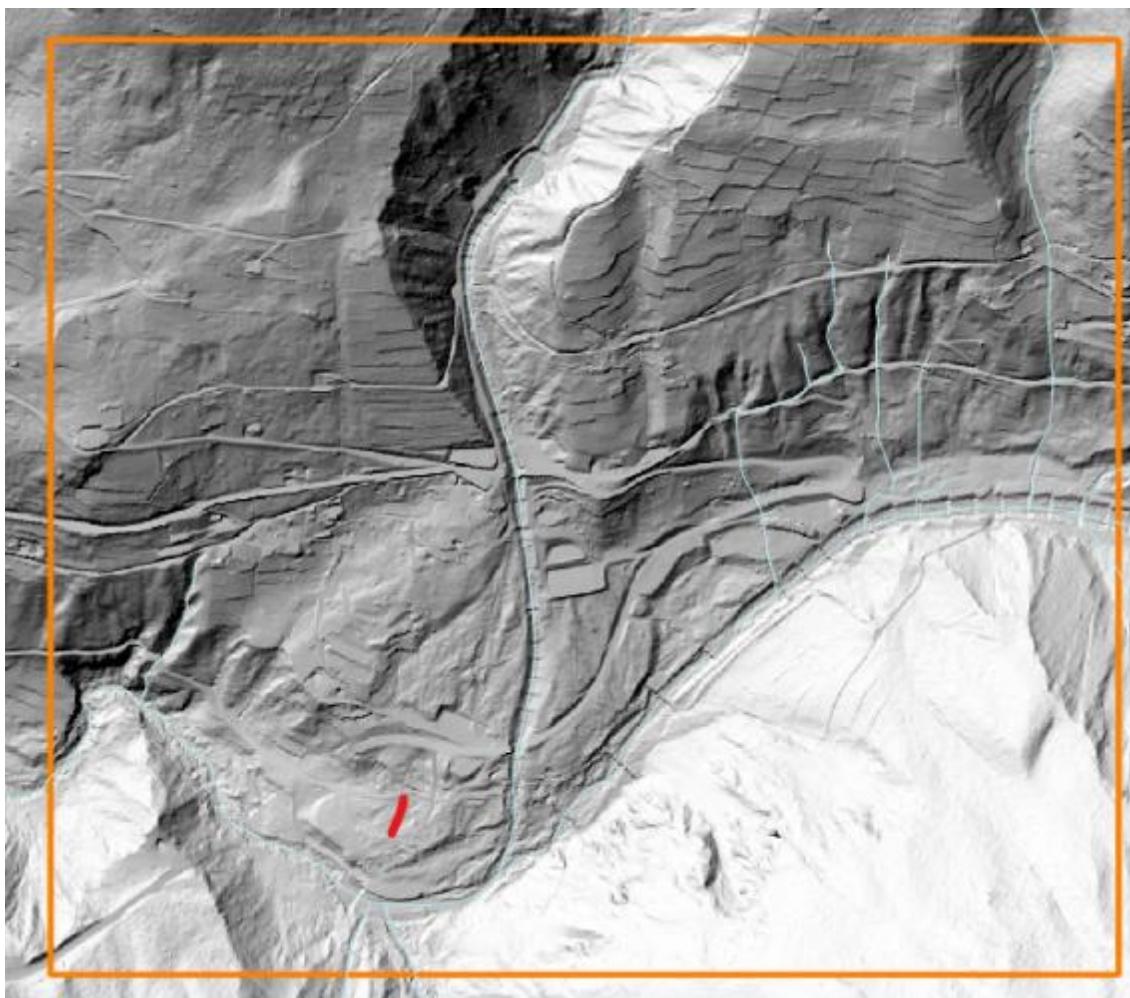


Figura 7.1: Estensione del campo di moto su ombre Lidar PAT 2009.

### 7.2.1 Condizioni al contorno

Nel caso in esame viene posta la condizione di moto localmente uniforme sul bordo del dominio di calcolo; tale condizione entra in gioco se la colata si propaga al confine del dominio di calcolo. La medesima condizione al contorno viene assegnata anche alla cella di calcolo dove viene immesso l'idrogramma di progetto.

### 7.2.1 Idrogrammi di piena

L'idrogramma della colata viene assegnato alle celle di calcolo del dominio computazionale nel punto all'apice del conoide considerato. L'idrogramma di piena immesso nel modello è quello riportato in Figura 6.6, al quale è stato decurtato il volume trattenuto dalla briglia filtrante posta a monte del conoide considerato, come riportato nella figura seguente.

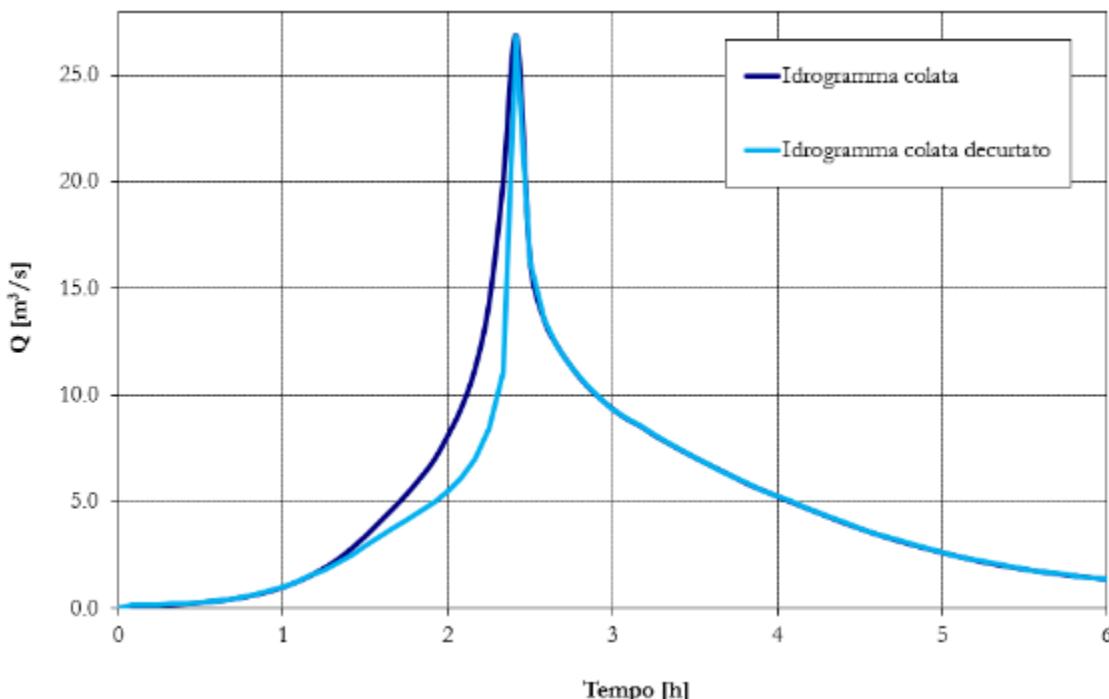


Figura 7.2: Idrogramma della colata e idrogramma della colata di progetto per un evento con tempo di ritorno di 200 anni nel bacino del rio Val dei Lenzi.

### 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  $bmin\ flooding$ ; tale parametro è stato posto pari a 1 cm.

### 7.2.2 Parametri idraulici e reologici

Come è stato ricordato in precedenza, la chiusura fenomenologia dello sforzo tangenziale al fondo è stata definita tramite la relazione reologica di O'Brien e Julien. Il parametro di resistenza, K, rappresentativo del termine di sforzo viscoso, è stato posto a pari 1000. La viscosità dinamica,  $\eta$ , della mistura è stata scelta pari a 10 Pa s per i valori di concentrazione di progetto, come proposto in letteratura [8] e [9]. La fase di arresto della colata e, quindi, il limite del deposito ed il suo spessore dipendono principalmente dal valore del parametro di soglia  $\tau_s$ . Per massimizzare gli eventuali depositi o spessori in alveo si è scelto un valore pari a 100 Pa (vedasi [8] e [9]) che corrisponde ad una colata più coesiva, in grado di creare depositi di materiale di maggior spessore. Con tali valori di viscosità e sforzo al fondo si è voluta rappresentare la situazione più gravosa dal punto di vista del tirante nel compluvio pur tenendo presente che le velocità sarebbero risultate sottostimate.

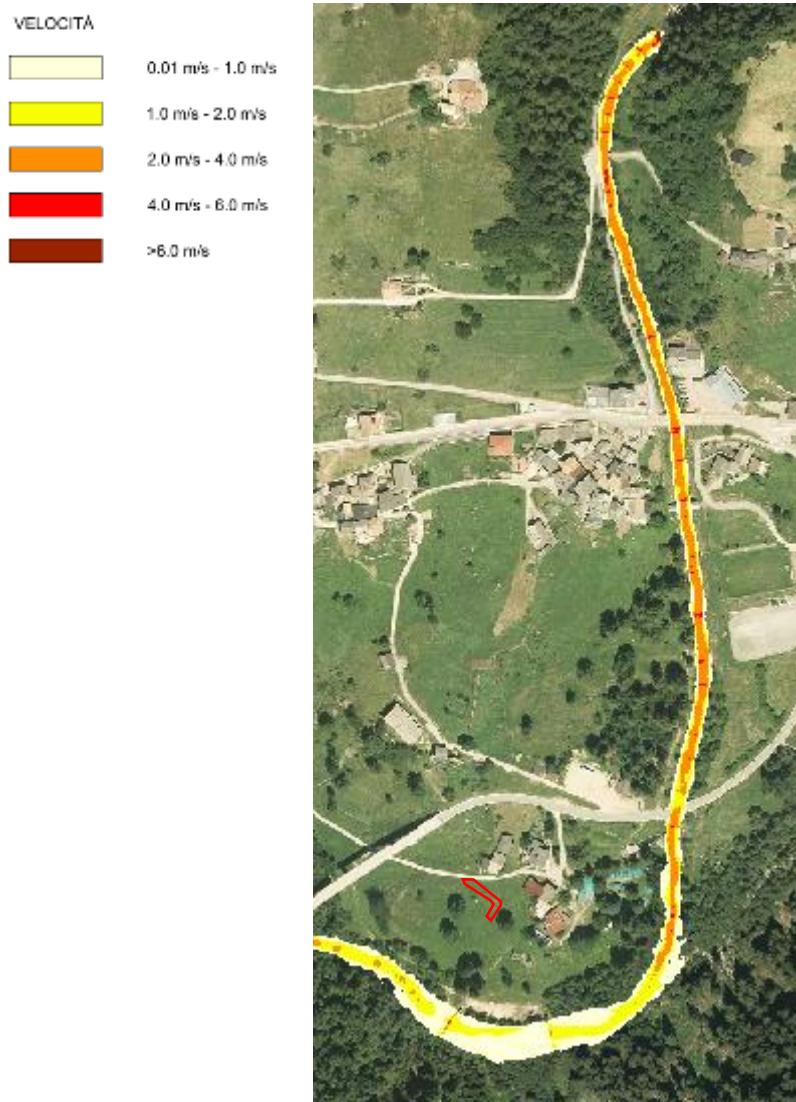
Gli sforzi dispersivo-turbolenti dipendono dal parametro  $n_{td}$ , che sulla base dei dati di letteratura è stato posto pari  $0,0666 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ . Il valore di  $\gamma_m$ , peso specifico della mistura, è stato posto pari a  $13 \text{ kN/m}^3$  valutato considerando la concentrazione media del picco della colata  $C_m$  pari a 0.18.

### 7.3 Risultati della modellazione 2D

Nel seguito viene riportata la mappa dello spessore massimo di propagazione della colata [m] in ciascuna cella di calcolo adottando come sfondo l'ortofoto 2015 PAT (vedasi figure successive).



**Figura 7.3:** Mappa delle aree allagate (tirante massimo) a valle della briglia filtrante su foto aerea nello scenario con portata pari a quella calcolata nel presente lavoro,  $Q=27 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 7.4:** Mappa delle velocità dell'acqua (velocità massima) a valle della briglia filtrante su foto aerea nello scenario con portata pari a quella calcolata nel presente lavoro,  $Q=27 \text{ m}^3/\text{s}$ .

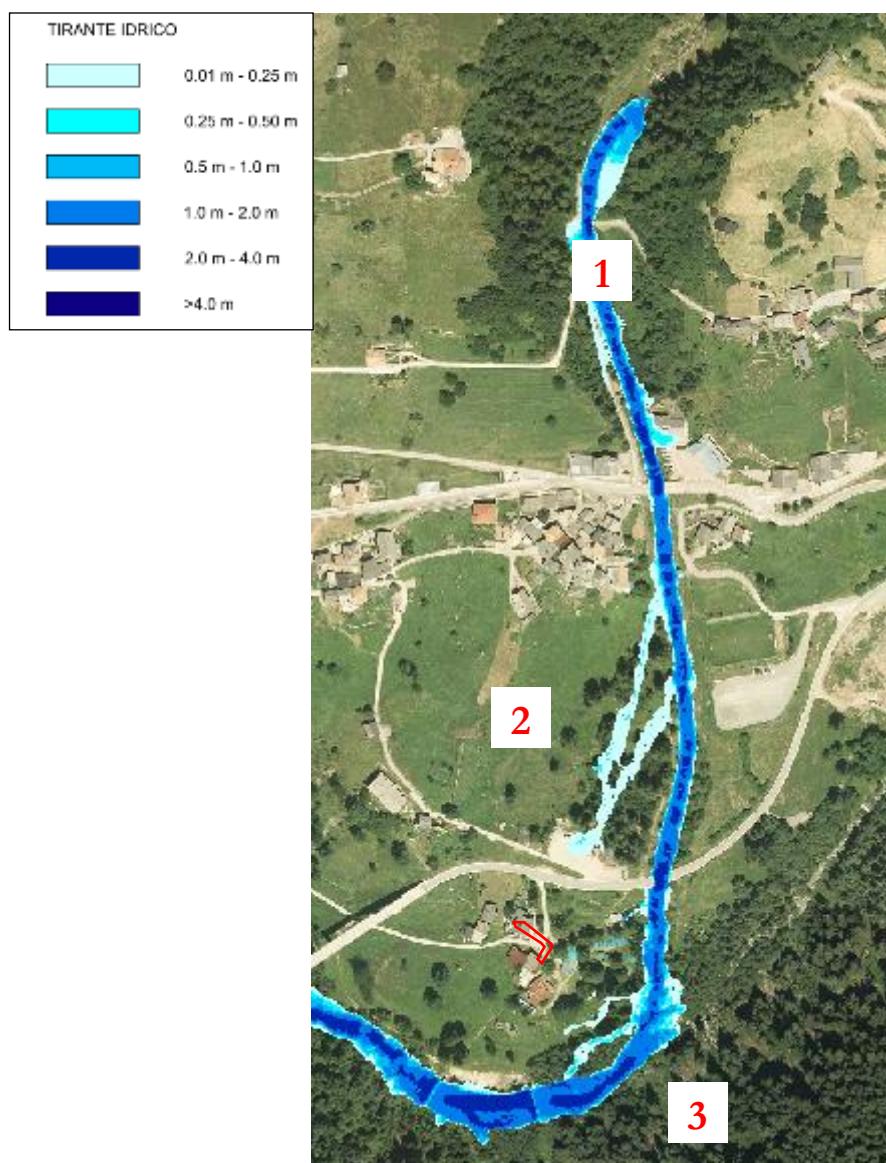
La modellazione idraulica bidimensionale della colata di detrito con tempo di ritorno 200 anni ha permesso di evidenziare che, in condizione normali, il corso d'acqua è in grado di smaltire l'idrogramma di progetto deflusso della colata, fatta eccezione per la sezione contratta in corrispondenza del ponte comunale Tollerì dove si verifica una fuoriuscita in destra idrografica lungo la sede stradale (punto 1 di Figura 7.3). Ciononostante la portata tracimata tende a rientrare in alveo poche decine di metri a valle.

Nell'alveo del rio si realizzano tiranti idrici inferiore a 1.8 m con velocità di flusso inferiori a 4 m/s.

Tuttavia, la modellazione matematico-numerica non considera tutte le casistiche e i fenomeni non preventivabili che si potrebbero comunque verificare nel corso di un evento di piena intenso di trasporto solido iperconcentrato; in particolare, la colata sottopone le opere di difesa e, più in generale, le strutture a rilevanti sollecitazioni dinamiche che possono portare al loro collasso. Se a questo si aggiunge la possibile ostruzione della sezione di deflusso ascrivibile al trasporto di legname o massi di grandi

dimensione, appare evidente che questa eventualità e/o il collasso di una briglia, soglia di fondo o di una scogliera potrebbe dar luogo a scenari non facilmente riproducibili.

Nell'ottica di valutare eventuali insufficienze della sezione di deflusso si è cercato di modellare anche uno scenario con una portata di picco della colata di  $66 \text{ m}^3/\text{s}$ , corrispondente al valore massimo teorico del fenomeno con una concentrazione massima del sedimentogramma pari a quella massima teorica (65%).



**Figura 7.5: Mappa delle aree allagate (tirante massimo) a valle della briglia filtrante su foto aerea nello scenario con portata pari a  $Q=66 \text{ m}^3/\text{s}$ .**

In tale scenario si evidenziano alcune carenze, seppur di modesta entità, nelle sezioni deflusso in destra idrografica a valle dell'abitato di Lenzi (punto 2, Figura 7.5) e poco a monte della confluenza nel torrente Fersina, in località Canopi (punto 3, Figura 7.5).

In merito al problema di intasamento, ostruzione o distruzione delle strutture esistenti, appare del tutto inadeguata l'attraversamento comunale di loc. Tollerì; sebbene si collochi a valle della briglia filtrante che rappresenta un'opera di rilevanza strategica per il controllo della propagazione dei sedimenti, la sua

ricostruzione ad una quota di imposta maggiore, senza l'attuale restringimento della sezione di deflusso, appare l'unica soluzione per incrementare il grado di sicurezza del conoide.

A tal proposito l'Amministrazione comunale, conscia della problematica, ha dato avvio al progetto di rifacimento dell'attraversamento.

Con riferimento alla variante puntuale in oggetto relativa al cambio di destinazione urbanistica in “viabilità di progetto” si ritiene che, sulla scorta delle considerazioni idrauliche sopra espresse e dell'esito delle modellazioni bidimensionali, la pericolosità alluvionale torrentizia riferita alle aree possa essere considerata bassa H2.

## 8 Conclusioni

Lo studio idrologico-idraulico del rio Lenzi ha permesso di definire dapprima la portata liquida e solida di progetto e in seguito di evidenziare, attraverso la modellazione idraulica 2D, che il tratto d'alveo in analisi è in grado di far defluire una portata (portata massima  $27 \text{ m}^3/\text{s}$ ) con tempo di ritorno pari a 200 anni senza che si verifichino esondazione nell'area oggetto di variante, anche nello scenario con un picco di sedimentogramma pari alla massima concentrazione teorica di sedimento.

Tuttavia, la modellazione matematico-numerica non considera tutte le casistiche e i fenomeni non preventivabili che si potrebbero comunque verificare nel corso di un evento di piena intenso di trasporto solido iperconcentrato; in particolare, la colata sottopone le opere di difesa e, più in generale, le strutture a rilevanti sollecitazioni dinamiche che possono portare al loro collasso. Se a questo si aggiunge la possibile ostruzione della sezione di deflusso ascrivibile al trasporto di legname o massi di grandi dimensione, appare evidente che questa eventualità e/o il collasso di una briglia, soglia di fondo o di una scogliera potrebbe dar luogo a scenari non facilmente riproducibili.

Pertanto, in considerazione dei risultati ottenuti, si considera l'area soggetta a trasformazione urbanistica in pericolosità H2 – bassa e, quindi, **si ritiene vi sia compatibilità della previsione urbanistica relativa alle varianti puntuali n. 284-285-286 con la pericolosità dei fenomeni attesi.**

## 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.
- [11] Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia - Servizio territorio montano e manutenzioni, "La prevenzione ed il rischio idrogeologico nei piccolo bacini montani della regione\_ esperienze e conoscenze acquisite con il progetto CatchRisk".
- [12] V. D'Agostino, M. Cerato & R. Coal. Il trasporto solido di eventi estremi nei torrenti del Trentino Orientale. International Congress Interpraevent 1996, Garmisch-Partenkirchen, Austria, vol. I, pp. 377-386
- [13] Marchi L., D'Agostino V. "Estimation of debris-floe magnitude in the Eastern Italian Alps", Earth Surface Processes and Landforms, vol. 29, pp. 207-220