

Elab.
N. 08

COMUNE DI PELUGO

(Provincia Autonoma di Trento)



PIANO REGOLATORE GENERALE VARIANTE 2024

SOSTANZIALE AI SENSI ART. 37 L.P. 15/2015

STUDI DI COMPATIBILITÀ

SCI n. 2 Variante v10 - Area produttiva locale - Studio compatibilità - ing. Anna Vecchietti

Agosto 2024 - Adozione preliminare

Marzo 2026 - Adozione definitiva

dott. arch. Remo Zulberti
remozulberti@hotmail.com



Ordine degli Architetti
Pianificatori Paesaggisti e Conservatori
della Provincia di Trento

Dott. Architetto
REMO ZULBERTI

692 sez. A . ARCHITETTURA

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO - COMUNE DI PELUGO



PRG del Comune di Pelugo - Variante 2024 - Adozione Preliminare
Variante puntuale V10 relativa alla p.f. 213/1, PT 787

Studio di compatibilità idraulica del rio Bedù

COMM.	DOC.	REV.	DESCRIZIONE	EMESSO	CONTR.	APPR.	DATA
138	R1	0	Prima emissione	A.V.	A.V.	A.V.	NOVEMBRE 2025

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	OGGETTO	4
3	LOCALIZZAZIONE DELL'AREA	5
4	PRG - VARIANTE 2024 - ADOZIONE PRELIMINARE	7
5	CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ	8
6	ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL RIO BEDÙ DI PELUGO	9
	6.1 Descrizione del corso d'acqua	9
	6.2 Analisi storica degli eventi alluvionali	11
	6.3 Analisi degli interventi di sistemazione idraulico-forestale	16
	6.4 Modellazione idrologica	18
	6.4.1 Caratteristiche principali del bacino imbrifero del rio Bedù di Pelugo	18
	6.4.2 Geolitologia, uso del suolo e CN	20
	6.4.3 Analisi idrologica	22
7	MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE CON FLUMEN2D	30
	7.1 Fondamenti matematico-numerici del codice di calcolo	30
	7.2 Dati di input della modellazione 2D	32
	7.2.1 Dominio di calcolo	32
	7.2.2 Condizioni al contorno	32
	7.2.3 Idrogramma di piena	32
	7.2.4 Parametri numerici	33
	7.2.5 Parametri idraulici	33
	7.3 Risultati della modellazione 2D	33
8	CONCLUSIONI	35
9	RIFERIMENTI NORMATIVI	36

1 PREMESSA

Con deliberazione del Consiglio Comunale n. 23 di data 15.10.2024 il Comune di Pelugo ha adottato la "Variante PRELIMINARE al Piano Regolatore Comunale 2015" al fine di aggiornare lo strumento urbanistico con interventi puntuali di riordino urbano e inserire nuove previsioni insediative in risposta a esigenze pubbliche e a richieste di privati cittadini. Con riferimento alla richiesta di cambio di destinazione d'uso (da zona attualmente localizzata in "Area agricola" a zona adibita a uso "Commerciale o Industriale") delle particelle catastalmente individuate in pp. ff. 215, 213/1, 211/1 C.C. Pelugo, località Naft presentata dalla signora Cornelia Fiorella Campidelli in data 10 marzo 2023, il 17 aprile 2025 il Comune di Pelugo - ai sensi dell'art. 40, comma 1, della L.P. 04.08.2015, n. 15 - ha comunicato alla proprietaria che a parte dei terreni in oggetto è stata attribuita natura di area edificabile, come di seguito descritto:

- La particella P.F. 213/1 del C.C. di PELUGO, risulta definita nel seguente modo:

PRG - Sistema Insediativo - PRG VIGENTE (ATTUALE)

Zone E - Aree per attività agro-silvo-pastorali

Per m² 5'245.17 (99.87%) è localizzata in Area agricola - Art. 23 del P.R.G.

PRG - Variante 2024 - Adozione Preliminare - Sistema Insediativo - PRG ADOTTATO

Aree produttive

Per m² 3'123.36 (59.47%) è localizzata in Area per attività produttiva locale di progetto - Art. 20.2 del P.R.G.

Aree per attività agro-silvo-pastorali

Per m² 1'659.11 (31.59%) è localizzata in Area agricola - Art. 23 del P.R.G.

Per m² 469.11 (8.94%) è localizzata in Area agricola locale - Art. 23bis del P.R.G.

La modifica allo strumento urbanistico è stata quindi sottoposta all'iter previsto per i piani regolatori dagli artt. 39 e ss. della L.P. 15/2015. Nell'ambito di tale procedura è stato acquisito il parere della Conferenza di pianificazione della Provincia Autonoma di Trento, la quale con verbale N. 17/2025 di data 12 agosto 2025 ha chiesto al Comune di Pelugo alcune integrazioni da produrre con la successiva adozione dello strumento urbanistico.

Con riferimento alla **variante puntuale V10** relativa al **cambio della destinazione d'uso della particella p.f. 213/1, PT 787**, il parere riporta quanto riassunto di seguito:

- ✓ *Per il Servizio Foreste, non presente in Conferenza, si fa riferimento al parere espresso con nota prot. n.609985 di data 31 luglio 2025, nel quale sono state espresse le seguenti considerazioni:*
"Relativamente alla verifica delle interferenze delle richieste in ordine del giorno con la penalità P4 per incendio boschivo, si comunica che non vi sono aree interessate da tale penalità. Per quanto riguarda gli altri aspetti di competenza, si comunica che alcune varianti del Comune di Pelugo interessano aree boscate, così definite dalla L.P. 11/2007: pertanto, in caso di modifica dello stato dei luoghi sarà necessario inoltrare allo scrivente le eventuali istanze di autorizzazione. Tali varianti sono: [omissis] e V10."
- ✓ *Sotto il profilo di specifica competenza, il Servizio Bacini montani, riporta nel seguito una nota a carattere generale che integra e chiarisce il parere espresso nella tabella per le singole varianti.*
 - *In base alla normativa della CSP, **non sono ammesse varianti urbanistiche che determinino un aggravio** (in termini di esposizione alla pericolosità) rispetto alla situazione vigente in aree a penalità P4, P3 e APP, a meno che non siano supportate da studio di compatibilità redatto ai sensi della normativa di riferimento, in fase di*

pianificazione, come specificato al Capitolo 8.3 3 'Approvazione degli strumenti urbanistici' dell'Allegato C della Delibera della G.P. 379 d.d.18 marzo 2022. È comunque "facoltà delle strutture competenti di richiedere specifici approfondimenti qualora ritenuti necessari per l'ammissibilità delle varianti proposte" (cfr. Cap. 8.3) anche in aree a penalità P2, P1 o assente.

Sottolinea che, tale studio, deve analizzare la pericolosità gravante sul sito di interesse e valutare la compatibilità della destinazione di progetto (sia per quanto attiene l'utilizzo che per l'eventuale realizzazione di opere e infrastrutture) con le criticità riscontrate, individuando, se necessario, idonee misure di mitigazione. Tali misure, nella fase di pianificazione, possono configurarsi talvolta quali indicazioni ancora non definite nel dettaglio, qualora la loro puntuale definizione necessiti di una progettazione vera e propria. Rimane fermo il fatto che, già in questa fase, deve essere verificata la fattibilità ed efficacia di tali misure in relazione alla variante proposta. Lo studio di compatibilità deve analizzare altresì se le opere di mitigazione sono compatibili con le zone limitrofe a quella oggetto di variante; si sottolinea che, la messa in opera di qualsivoglia misura di mitigazione della pericolosità finalizzata alla messa in sicurezza di un'area, non deve comportare un aggravio per le aree circostanti. Tali misure di mitigazione, qualora si configurino come opere di difesa attiva, devono localizzarsi su proprietà del richiedente e all'interno dell'area variata, salvo specifici casi in cui vi sia un espresso accordo tra le parti interessate. In merito agli studi di compatibilità redatti in fase di pianificazione, il Servizio sottolinea che gli stessi costituiscono parte integrante della documentazione di Piano. La fase progettuale deve poi recepire, verificare, approfondire e dettagliare tali accorgimenti di carattere costruttivo, strutturale, localizzativo e gestionale, atti a tutelare l'incolumità delle persone ed a ridurre la vulnerabilità dei beni, secondo quanto previsto dalla normativa della Carta di Sintesi della Pericolosità. Per le varianti interessate da diverse penalità, è opportuno che lo studio di compatibilità si estenda a tutta l'area di variante, anche se, parte di essa, è gravata da penalità che in base alla normativa non richiedono approfondimento in fase di piano. Si ritengono eventualmente ammissibili le varianti, ancorché peggiorative rispetto alla destinazione attuale, in virtù delle modeste estensioni delle medesime.

- In corrispondenza del **demanio idrico provinciale**, salvo specifici e particolari casi, va individuata una destinazione urbanistica compatibile e coerente con il significato di demanio idrico ('corso d'acqua', 'elevata integrità' o simili). L'utilizzo del demanio idrico è eventualmente soggetto a concessione ai sensi della L.P.18/76 e s.m. solo se le condizioni idrauliche e/o patrimoniali lo consentono.
- La **fascia di rispetto pari a 10 m.**, prevista dalla L.P.18/76 e s.m., è ritenuta in linea di massima inderogabile per la realizzazione di nuove costruzioni (interrati ed ampliamenti compresi); comunque, qualsiasi intervento in corrispondenza delle medesima, è soggetto ad autorizzazione da parte del Servizio.

n. VAR. PRG	PARERE CONFERENZA DI SERVIZI
V10	Il Servizio Bacini montani prende atto della variante che ricade in area a penalità P2 della CSP e, pertanto, soggetta alla disciplina dell'art.17 delle N.d.A. della CSP. Considerata la destinazione proposta e la criticità dell'area posta all'intradosso della curva del corso d'acqua e nelle vicinanze dello stesso, il Servizio chiede che la variante sia supportata in fase di pianificazione da uno studio di compatibilità, al fine di verificare la fattibilità della destinazione di progetto con le criticità di natura alluvionale e definire le eventuali misure di mitigazione atte a rendere compatibile l'utilizzo 'produttivo' con le criticità idrauliche riscontrate. Rimanda alla nota introduttiva a carattere generale per i contenuti dello studio.

2 OGGETTO

Oggetto della presente è lo studio di compatibilità idraulica relativa alla Variante puntuale V10 del P.R.G. del Comune di Pelugo.

Nello specifico, lo studio di compatibilità ha lo scopo di indagare la pericolosità idraulica della superficie oggetto di cambio di zona di 3'100 m² in località Naft, facente parte della p.f. 213/1, PT.

Come descritto nel capitolo 5, in base alle indicazioni della Carta di Sintesi della Pericolosità della PAT gli interventi in progetto interessano un'area con penalità bassa (P2) legata a fenomeni alluvionali torrentizi dovuti alla presenza del rio Bedù di Pelugo, mentre la penalità litogeomorfologica risulta trascurabile o assente (P1).

3 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

La variante puntuale V10 è riferita ad una parte della superficie della P.F. 213/1 del C.C. di PELUGO (circa 3'100 m²) e prevede il cambio di destinazione d'uso della stessa da zona attualmente adibita ad area per attività agro-silvo-pastorali (Zona E) ad area per attività produttiva locale di progetto (Zona D2).

L'area si trova in destra idrografica del rio Bedù di Pelugo, in località Naft ed è raggiungibile attraverso la via omonima, laterale sinistra della S.S. 239 (provenendo da Tione) immediatamente a monte dell'attraversamento del corso d'acqua.

Ubicata a nord-est dell'abitato di Pelugo, la superficie è occupata da un bosco di latifoglie nella porzione sud-occidentale e da prato nella parte rimanente.

La zona presenta un'altimetria variabile da circa 658.50 m s.l.m. verso sud-est a poco più di 672.00 m s.l.m. nella parte settentrionale.



Figura 3.1: ortofoto dell'area oggetto di studio

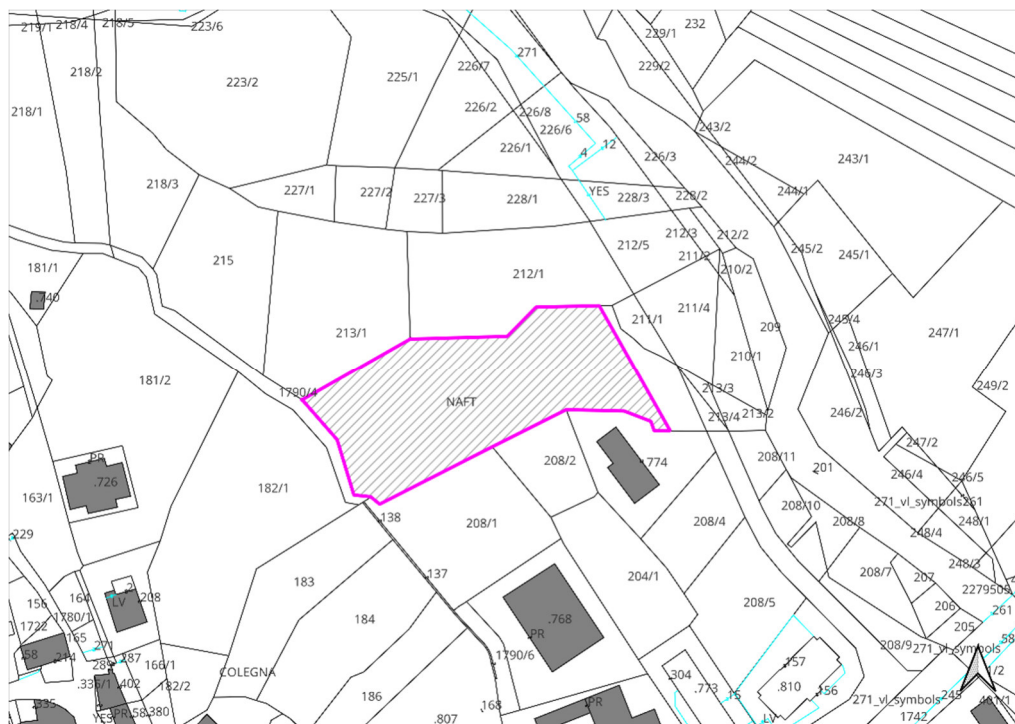


Figura 3.2: estratto mappa catastale dell'area oggetto di studio



Figura 3.3: area di accesso da via Naft alla P.F. 213/1



Figura 3.4: bosco di latifoglie nella parte sud della P.F. 213/1



Figura 3.5: aree a prato nella parte intermedia della zona in esame

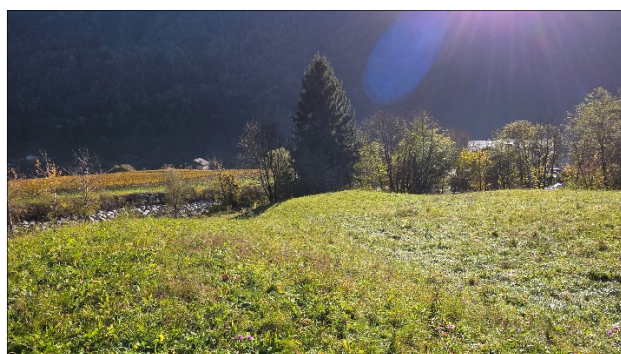
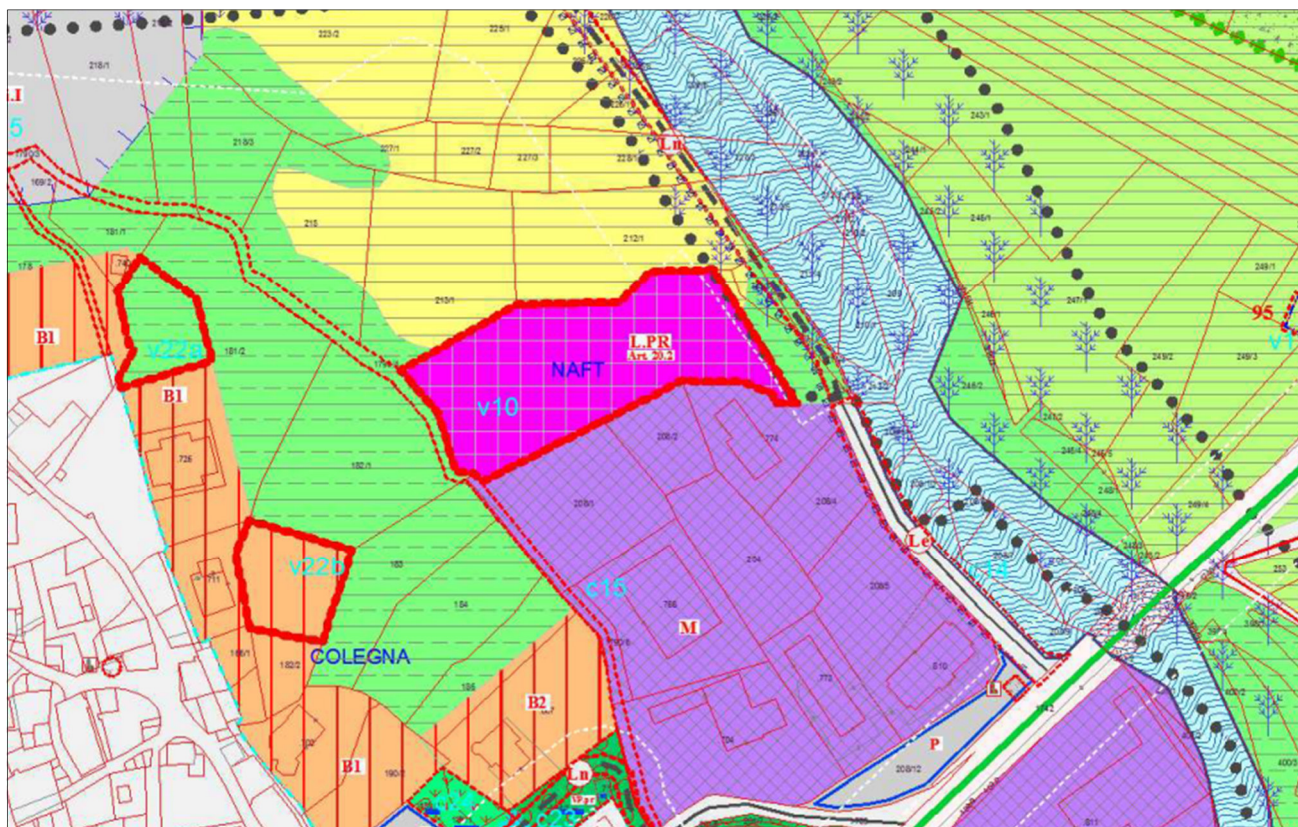


Figura 3.6: parte sommitale P.F. 213/1 ((sulla sinistra la sponda del rio Bedù di Pelugo)

4 PRG - VARIANTE 2024 - ADOZIONE PRELIMINARE

Si riporta di seguito un estratto della Variante PRELIMINARE al PRG 2015 del Comune di Pelugo con l'indicazione dell'area oggetto di cambio di destinazione d'uso relativo alla variante puntuale V10.



ZONE D - AREE PRODUTTIVE DEL SETTORE SECONDARIO, COMMERCIALI E TERZIARIE

AREA PRODUTTIVA DEL SETTORE SECONDARIO



locale

D104

ZONE E - AREE PER ATTIVITA' AGRO-SILVO-PASTORALI

AREA AGRICOLA DI PREGIO



E104

AREA AGRICOLA



E103

AREA A BOSCO



E106

AREA A PASCOLO



E107

AREA AD ELEVATA INTEGRITA'



E108

Figura 4.1: Variante preliminare al PRG 2015 e localizzazione della variante puntuale V10 - Sistema insediativo

5 CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ

La Giunta Provinciale con le deliberazioni n. 1341 e n. 1361 del 12 settembre 2025 ha approvato il secondo aggiornamento delle Carte della Pericolosità e della Carta di Sintesi della Pericolosità di tutto il territorio provinciale, in vigore dal 19 settembre 2025, giorno successivo alla pubblicazione nel B.U.R.. La G.P. con la deliberazione n. 1361 del 12 settembre 2025 ha approvato anche il nuovo testo aggiornato delle "Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate medie o basse e le aree con altri tipi di penalità", come riportato nell'Allegato C della deliberazione stessa.

Si riporta di seguito l'estratto della Carta di Sintesi della Pericolosità dell'area in oggetto per analizzare e approfondire le penalità ai fini dell'uso del suolo che la caratterizzano.

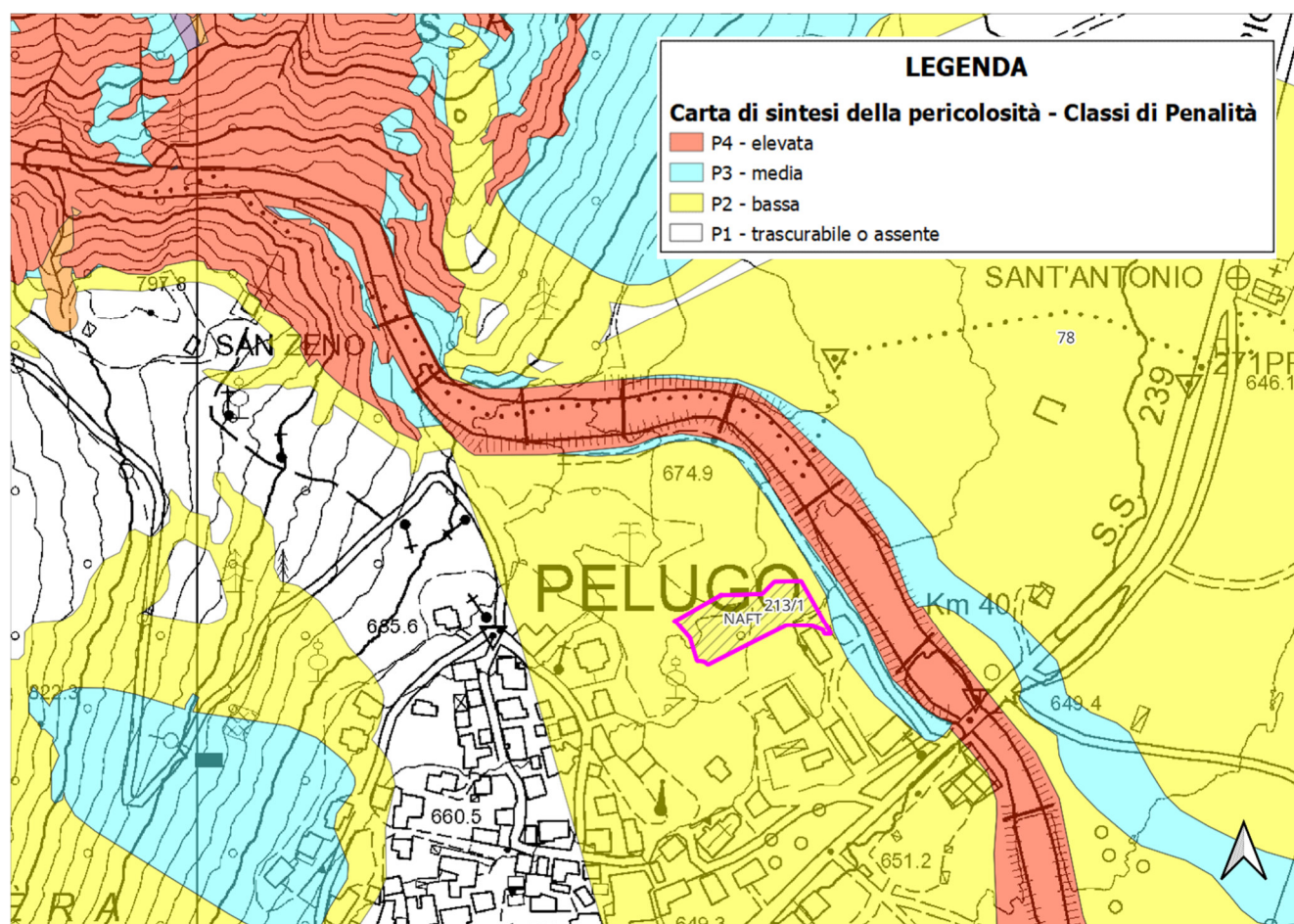


Figura 5.1: CSP con localizzazione dell'area oggetto dalla variante puntuale V10 (nel poligono magenta)

In base alle indicazioni della Carta di Sintesi della Pericolosità l'area in oggetto si colloca all'interno di aree caratterizzate dalle seguenti penalità:

- ✓ CSP : P2 (bassa)
- ✓ CSP Torrentizia : P2 (bassa) - dovuta alla presenza del rio Bedù di Pelugo
- ✓ CSP Litogeomorfologica : P1 (trascurabile o assente)

6 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL RIO BEDÙ DI PELUGO

Parte delle descrizioni contenute nel presente capitolo sono state estratte dalla relazione tecnico illustrativa relativa al "Progetto speciale per la messa in sicurezza del territorio - Individuazione e studio delle aree a rischio di alluvionamento - Conoide del rio Bedù di Pelugo (abitato di Pelugo)", fornita dal Servizio bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento e datata agosto 2003.

6.1 Descrizione del corso d'acqua

Il Rio Bedù di Pelugo nasce dai ghiacciai del Carè Alto e solca la val di Borzago, immettendosi in destra idrografica del fiume Sarca a monte del centro abitato di Pelugo, in val Rendena.

Lo spartiacque orografico del bacino del corso d'acqua si stacca dal fiume Sarca e risale il costone di Celedol verso il monte Spazzà (2'007 m s.l.m.) il Corno Alto (2'526 m s.l.m.) e il Corno Vecchio (2'670 m s.l.m.) con direzione EW. Raggiunta la Bocca di Conca (2'674 m s.l.m.) la displuviale obliqua verso NE fino a raggiungere il Monte Carè Alto (3'463 m s.l.m.) da cui prosegue in direzione N verso le Gobbe del Folletto; attraversata la Vedretta di Lares e raggiunta la Cima Pozzoni (2'914 m s.l.m.), lo spartiacque prosegue in direzione WE attraverso il Monte Coel (2'806 m s.l.m.) e la Cima degli Obici (2'802 m s.l.m.) per poi piegare verso NW - SE fino al Monte Altar (2'472 m s.l.m.). Di qui si dirige verso E e attraversa il Monte Fornace (2'488 m s.l.m.) e la Costaccia (2'427 m s.l.m.); ridiscendendo il versante con direzione NE passando il costone delle Palette (2'023 m s.l.m.), la displuviale si ricongiunge col Sarca.

Alle quote più elevate, verso il ghiacciaio del Monte Carè Alto, si trovano dapprima un tavolato roccioso (con accumuli sparsi di detrito) e quindi un tratto relativamente pianeggiante (con pendenze dell'ordine del 15%) che forma il bacino di raccolta dei contributi di numerosi collettori minori provenienti dai versanti dei monti che circondano il bacino idrografico. In questa prima parte del tracciato il torrente Bedù di Pelugo ha caratteristiche della sezione poco definibili.

A valle del bacino di raccolta si trova un tratto di lungo circa 950 m e con pendenza media del 43% caratterizzato dalla presenza di una cascata (con pendenza del 53%) nella prima parte, con sezione irregolare e distribuzione granulometrica estremamente variabile (elementi assegnabili alle classi delle ghiaie a cui si associano grandi blocchi detritici), a cui segue un settore con una pendenza media del 39% e una la sezione di larghezza variabile tra gli 8 ed i 20 metri. Qui si osserva la presenza di un notevole accumulo di detrito concentrato soprattutto nel settore iniziale del corso d'acqua.

Il tronco successivo - dalla confluenza del rio Val Conca a quella del collettore che scende dalla Forcella di Marzol (quota 1'220 m s.l.m.) - è caratterizzato da una lunghezza di 1'650 m e da una pendenza media pari al 14% e rappresenta uno dei tratti in cui sono possibili gli asporti di detrito maggiori di tutto il bacino del torrente Bedù di Pelugo. L'alveo infatti è formato da detrito complessivamente minuto (le dimensioni massime riscontrate non raggiungono gli 0,8 - 1 m³), facilmente movimentabile; l'assenza di grossi blocchi non permette la stabilizzazione del letto, che appare in alcuni tratti in decisa erosione. Questo settore, come tutto il troncone compreso tra la cascata (1'850 m s.l.m.) e il ponte della strada

forestale (1'000 m s.l.m.), risente degli effetti dell'alluvione del 1987 e dei successivi interventi di rettifica e rimodellamento; l'alveo è un canale trapezio privo di vegetazione sulle sponde.

Il settore successivo, che arriva fino a località Baut, è lungo circa 1'200 m e caratterizzato da una pendenza media pari al 10%. In seguito all'evento alluvionale del 1987 la sezione dell'alveo è stata rimodellata e attualmente presenta una larghezza di 10 - 15 metri, con alcuni tratti di scogliera a protezione delle sponde. Il corso presenta un andamento a direzione variabile; il letto è formato da materiali di origine detritico - morenica appartenenti alle classi granulometriche più varie.



Figura 6.1: tratto del rio Bedù di Pelugo fra il collettore che scende dalla Forcella di Marzol e località Baut

Il tratto che va da località Baut alla confluenza del rio Val Garzana, della lunghezza di circa 1'200 m e dotato di una pendenza media pari al 5,8 %, ha una larghezza della sezione che si aggira sui 50 m e sponde con argini alti circa 1 -1,5 m. Il settore interessa una vasta piana alluvionale in cui il torrente manifesta notevolissimi fenomeni di deposito.

Nel tratto dalla confluenza del rio Val Garzana fino al ponte della strada forestale, lungo 300 m e con una pendenza media del 6,7 %, la larghezza della sezione è di circa 10 - 15 m. Qui, a valle della piazza di deposito in località Acqua Osteria, è stata realizzata una briglia di trattenuta con filtro a pettine per sfruttare la notevole capacità di invaso presente a monte.

Il settore fra il ponte della strada forestale e l'opera di derivazione (900 m s.l.m.), lungo 600 m circa, ha una pendenza media del 16,7% e una sezione relativamente ristretta (8 - 12 m) al cui interno sono presenti trovanti morenici di medie dimensioni e alcuni elementi isolati che superano i 15 m³; l'alveo è decisamente eterogeneo e la vegetazione delle sponde, tipicamente ripariale, è formata in prevalenza da ontani di media grandezza e da qualche sporadico abete rosso.

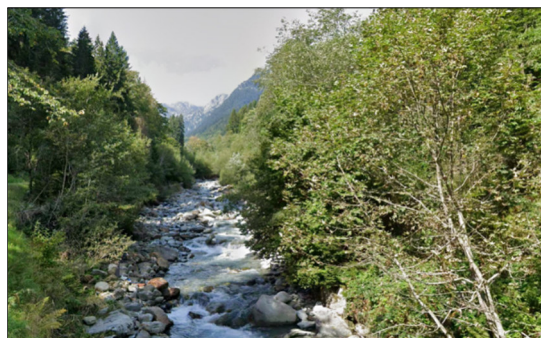


Figura 6.2: vista del rio Bedù di Pelugo immediatamente a valle del ponte della strada forestale

A valle dell'opera di derivazione ha inizio una forra rocciosa che va allargandosi mano a mano che si scende lungo il corso d'acqua. La lunghezza del tratto è di 1'070 m, con pendenze variabili tra il 7 ed il 30% (due settori hanno inclinazioni rispettivamente del 45 e 60% e corrispondono a due affioramenti sul fondo), mentre la sezione ha larghezza oscillante tra i 5 ed i 15 m.

Nei settori più ampi la forra presenta accumuli di detrito di medie e grandi dimensioni (trovanti maggiori di 15 m³) frammisti a tronchi e resti vegetali.

Il tratto successivo - lungo 488 m e con pendenza media del 12.6% - deve il suo assetto agli interventi di sistemazione che hanno portato allo spostamento dell'alveo verso sinistra rispetto alla sua sede originaria; l'alveo in questo tratto forma ora due ampie curve (quella a monte sinistrorsa l'altra destrorsa). Le sezioni si presentano piuttosto ampie e completamente arginate con scogliere. In occasione del rifacimento delle opere idrauliche trasversali, le briglie esistenti sono state smantellate per lasciare il posto a 1 briglia in calcestruzzo (all'altezza di località San Zeno) e 4 opere di consolidamento del fondo in massi legati con funi d'acciaio e calcestruzzo. La sponda destra risulta difesa da un'opera spondale con andamento parabolico.



Figura 6.3: opere di sistemazione del rio Bedù di Pelugo nel tratto sommitale del conoide

Segue quindi un tratto con lunghezza di circa 200 m, pendenza compresa tra il 5 e il 7% e larghezza di 16 - 20 m. L'alveo si caratterizza per la presenza di trovanti morenici di medie dimensioni e di vegetazione spondale arbustiva (rovi) nelle aree non soggette all'azione della corrente. Il tratto è stato parzialmente stabilizzato con delle soglie di fondo in massi cementati. In prossimità del ponte della S.S. 239 di Campiglio le sponde sono state consolidate con dei massi da scogliera e il fondo con due briglie: una subito sotto il ponte e una distante 80 m in massi legati.

Nel tratto terminale del torrente, compreso fra il parco fluviale e la confluenza con il fiume Sarca, le sezioni hanno una larghezza di circa 12 - 15 m e il fondo presenta una pendenza media del 2 %; in questa parte il corso d'acqua è stato oggetto di importanti interventi di consolidamento attraverso la realizzazione di opere longitudinali (scogliere) e trasversali (soglie in massi legati con calcestruzzo).

6.2 Analisi storica degli eventi alluvionali

Si riporta di seguito la descrizione dell'analisi storica dei principali eventi alluvionali che hanno interessato il rio Bedù estratta dalla relazione tecnico illustrativa relativa al "Progetto speciale per la messa in sicurezza del territorio - Individuazione e studio delle aree a rischio di alluvionamento - Conoide del rio Bedù di Pelugo (abitato di Pelugo)", fornita

dal Servizio bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento e alla base delle classi di penalità assegnate alla zona in oggetto dalla Carta di Sintesi della Pericolosità vigente.

Anno	Descrizione eventi
1352 ¹	<i>Sul piano a SE c'erano i casolari di Arena (presso l'attuale sede della chiesa della Madonna del Baltarin), nominati nel 1352: si parla infatti di una vertenza sorta tra le comunità di Pelugo e Arena da una parte, e quelle di Vigo e Sonzo dall'altra in merito alla manutenzione di un ponte sul torrente Bedù. Probabilmente venne distrutta da una delle cattive alluvioni del Bedù.</i>
1757 ²	<i>Tra il 27 e il 28 agosto una spaventosa inondazione colpì tutto il Trentino ... La Sarca distrusse quasi tutti i ponti in valle, mentre a Preore fece franare un tratto di terreno; alle Sarche il fiume Sarca andò ad unirsi con il lago di Toblino Furono inondazioni spaventose."</i> <i>"Anche Pelugo n'ebbe a soffrire, poiché il torrente Bedù, ingrossatosi a dismisura, provocò notevolissimi danni a tutta la campagna, soprattutto al di sotto della strada pubblica."</i>
1789 ³	<i>Prima che il secolo terminasse, vi fu un'altra grandissima inondazione, che recò gran danno in tutta la Rendena come anche a Pelugo. "Li 10 ottobre 1789 giorno di sabato successe un'escrescenza di acqua, che mai più non si è veduta l'eguale. Furono inondazioni spaventose anche quelle del 1757, come si dice, e quella de' 1768, di cui ben mi ricordo, ma non si sentirono mai tanti danni, come in questa del 1789. La Sarca era già grossa fino dalla mattina stessa de' 10; ma continuò a piovere anche tutto il giorno: atterro molti edifici in Pinzolo, la Casa del Benefizio Lorenzetti nei Piani di Caderzone, l'edificio di Nicolò Dorna di Vigo, e tutti i ponti di Rendena, e di Tione, salvo quello della Pieve. I nostri edifici di Segà, Molini, e Piloni, posti sotto il Brolo Alimonta nel luogo detto la Garbaria del valore di mille Fiorini presso i quali si era fatta una Rosta, che ci costava più di 100 Fiorini, finalmente hanno dovuto andare, senza poter salvare niente. Io era qua in Fisto e non poteva andare via, perché un'altra Sacca assai grossa veniva for' per la campagna di Fisto, ed il fratello Franco non si curò d'alzarsi per tempo, ed assicurar tanti mobili, che pur lo avrebbe potuto. La Domenica di mattina appena giorno si comincio a fare un Ponte alla via da Piazze per andar alla S. Messa, ed appunto all'ora solita della Messa si cominciò a transitarlo. La piena fu sì orribile, che se la Sarca non si divideva in due rami, rompendo la Rosta di Fisto, e passando per la sua campagna, vi era molto da temere per il Ponte, per la Chiesa, e per le Case del Piano e del Ponte. Anche il Bedù di Pelugo fece delle gran ruine.</i>
1794 ⁴	<i>18/06 "... abbiamo avuto due giornate molto orribili, e spaventose per la dirotta pioggia caduta, e per lo scarico enorme che fecero queste valli, e tovi, e massime il Monte de Mortasi. La piena fu il 13 giugno; e la seconda assai più temibile e dannosa fu ai 18 dello stesso giugno. Tutte due le volte cominciò circa le ore 21; la prima volta durò la pioggia un'ora sola, e la seconda quasi tre ore. ...e l'ultimo, 2 di luglio, perché tutte le valli di Borzago, Mortaso e Strembo mandarono al basso tanta congerie di sassi, e ghiaia, che devastarono gran parte delle soggette campagne. Dalla valle qui vicina presso il Prato della Fontana precipitò giù una lava sì enorme, e strabocchevole, che a memoria d'uomo non si era mai veduta l'uguale. Nel suo primo impeto voltò giù per la strada Imperiale verso la Canonica Parrocchiale, e se continuava il suo corso, senza dubbio riempiva lo spiazzo ... ma per buona sorte sopra l'orto della canonica si attraversarono nella via alcuni sassi di enorme grossezza, ed arrestarono la piena. Allora la lava si inviò giù per i campi ivi aderenti Una settimana dopo si ripete un fenomeno analogo.</i>
1795 ⁵	<i>25/9Tutte le strade erano inondate d'acqua e tutte le valli hanno dato gran danno. La valle qui vicina tra Fisto e Ches detta Vadarcè ha cambiato corso ed è venuta giù per il prato di Giuseppe Chesi, ha ruinata la strada consorziale. Anche la valle - a Sombloccia - ha fatto la sua parte ..."</i>
1829 ⁶	<i>"... quella notte tra il 19 e il 20 settembre del 1829, il torrente in piena spazzò via il vecchio ponte della strada commerciale, rovinando le campagne e i raccolti a Baltarino."</i>
1882 ⁷	<i>"... Al di sotto di Tione l'Arnò mette foce nel Sarca, che vien più ingrossato da tanta massa d'acqua e deviato nel suo corso da certi isolotti lasciati imprudentemente imboschire nel mezzo del suo letto, irruppe con tale violenza contro il piede dell'altopiano alluvionale, su cui è posto Preore, da farlo franare con grande rovina di campi, prati e case, lasciando il villaggio in condizioni tali da far venire per intero scondotto in una prossima piena ... Saone pure ebbe grandi quantità di campi e prati devastati dal Sarca. Alle Arche ed al Bagno di Comano terminano i danni recati dal Sarca nelle Giudicarie, poiché dopo Comano scorre incassato profondamente fra due pareti di roccia a picco ..."</i> <i>"... A Caderzone il Sarca ed il torrentello proveniente dalla valle detta dei Massimei (con tutta probabilità si tratta del Rio Salamoni in quanto lungo il suo corso sono state rinvenute alcune opere di consolidamento databili fine Ottocento) danneggiarono i prati che in parte furono scondotti ed in parte inghiati. A Strembo gravi danni nei prati causati dal Sarca e dal torrente Predalopo (toponimo utilizzato, con tutta probabilità, per indicare il torrente Ruina). Mortaso fu uno dei villaggi più danneggiati della Rendena. Una immensa frana prodotta dalla corrosione del torrentello proveniente dal sovrastante vallone (Rio Vagugn), si precipitò giù nella</i>

1 Archivio Parrocchiale di Vigo Rendena, pergamena rogata per mano di "Libanorio fu ser Antonio notaio da Vigo Rendena" in data 28 agosto 1952

2 Archivio Storico di Pelugo (ASP)

3 Memorie e notizie di Rendena e Giudicarie dell'epoca Napoleonica (G.A. ONGARI)

4 Memorie e notizie di Rendena e Giudicarie dell'epoca Napoleonica (G.A. ONGARI)

5 Archivio Storico di Tione (AST)

6 Archivio Storico di Pelugo (ASP)

7 Archivio Storico di Tione (AST)

	valle, trascinando seco boschi, prati, una enorme congerie e massi grossissimi, distruggendo la strada postale e cambiando letto al torrente. Inoltre il Sarca continuò i suoi guasti lungo le sponde. A Pelugo il torrente Bedù proveniente dalla valle di Borzago, devastò boschi, prati, danneggiò il ponte della strada postale ed alcuni argini.
1905 ⁸	La località Ruina viene investita da una grande frana.
1906 ⁹	Nella relazione tecnica, anno 1965, allegata al progetto di sistemazione del rio Bedù di Pelugo si legge: "... È stato in occasione dell'alluvione del novembre 1906, che questo rio trasportò per la prima volta a valle una notevole quantità di materiale, asportando il ponte sulla strada provinciale, che l'attraversava a metà conoide, ed inghiainando le campagne vicine. In località San Zeno, a circa 6 - 700 metri a monte di Pelugo, proprio all'inizio della Val di Borzago, a quota 800, si era formata, a causa di quelle piogge torrenziali, una frana di ampie dimensioni, nella sponda destra del rio, che ha, sempre e continuamente alimentato il rio Bedù di notevoli quantità di congerie ...".
1927 ¹⁰	"Le persistenti piogge e più ancora il burrascoso e forte vento caldo che soffiò nei giorni di sabato e domenica, sciogliendo le nevi che coprono i ghiacciai del Carè Alto, fecero sì che il torrente Bedù, proveniente dall'ampia Valle di Borzago e che sbocca nella Sarca in vicinanza del nostro paese, si ingrossasse straordinariamente, in specie fra le ore 8 e le 17 di domenica. Attratta dall'assordante frastuono, prodotto dalle impetuose e torbidissime acque, che nella loro corsa travolgevano tronchi ed alberi sradicati e rotolavano enormi massi, molta gente, sfidando le raffiche e la pioggia, accorse sulle rive del vicino torrente. Nel breve tratto che attraversa la valle, il Bedù asportò un ponte nuovo in legno e anche una catasta di tronchi, cagionando al Comune un danno valutato a circa 15 mila lire, mentre oltre 20 mila lire di danno soffersero parecchi proprietari rivieraschi per erosioni di terreno e manufatti, inghiainamento di prati ed asportazione di alberi e fieno. Il maggiore danneggiato (5 mila lire) fu il sig. Zeno Camillo, ex sindaco locale."
1958 ¹¹	"... 17 ottobre. La sfuriata di maltempo che nella prima decade del corrente mese ha imperversato sulla nostra zona, non solo ha fatto apparire la prima neve sulle cime, ma ha voluto anche scaraventare tant'acqua per la Valle di Borzago, da far straripare in modo impressionante il torrente Bedù II, nei pressi di Pelugo. ..."
1960 ¹²	"Ma il nubifragio, ... , si è scatenato con altrettanta, terribile furia anche sulle Giudicarie e sulla Rendena, le cui campagne e le cui borgate presentavano ieri un aspetto quanto mai desolante. Qui i disastri sono stati provocati dalla piena del fiume Sarca e dai suoi affluenti. In Val Rendena il Sarca ha provocato il crollo di ponti di legno, di ferro e persino di cemento armato a Darè, Javrè, Vigo, Pelugo, in località Nambrone, ... e a Spiazzo."
1960 ¹³	Nella relazione al progetto di sistemazione del rio Bedù di Pelugo si legge: "... Il tratto medio del rio Bedù II è caratterizzato da una notevole diminuzione di pendenza, perciò, in seguito ad ingrossamenti della corrente, si ha un deposito enorme di materiale. Così, infatti, è avvenuto in occasione della piena alluvionale del 1960. I danni che essa provocò riuscirono ancora maggiori, perché era stata preceduta da un forte vento che aveva sradicato numerose piante, che cadute attraverso l'alveo del rio ed impedendo il libero deflusso delle acque, formarono dapprima delle dighe. In seguito poi alla rottura, una valanga di acqua e di materiali si rovesciò a valle, travolgendo altre piante ed asportando tratti della importante strada intercomunale, che collega Pelugo a Spiazzo con la parte migliore della loro montagna, e facendo più volte mutare l'alveo al torrente. Gli effetti macroscopici di tale evento alluvionale possono essere sintetizzati nella distruzione della briglia e di venti metri di muro d'argine lungo la sponda sinistra a valle del ponte della S.S., nel danneggiamento delle opere spondali allo sbocco della valle (colpite da massi di 20 - 30 quintali) e nel danneggiamento od asporto di sei briglie erette, nel 1942 - 1943 dal Genio Civile di Trento. In Val di Borzago si registrano alcune frane che interrompono la strada. Il fiume Sarca contemporaneamente rompe gli argini nei pressi dell'abitato di Saone; sul quotidiano l'Adige si legge infatti "... A Saone le acque hanno nuovamente invaso il nuovo alveo apertosi sabato scorso.. A Spiazzo è danneggiata la segheria Cozzio ed a Strembo quella dei fratelli Alberti. Sempre a Strembo il Sarca ha portato via parte di un edificio una volta adibito a segheria e ora di proprietà della parrocchia ...". "... In allarme sono pure le popolazioni di Fisto e Pinzola nella Val Rendena dove il Sarca minaccia di rompere gli argini ...". "... Situazione gravissima e critica a Spiazzo Rendena dove vigili del fuoco e volontari sono all'opera per fronteggiare la furia del Sarca ... Mortaso è sempre in pericolo qualora le acque (del Sarca) assumessero le proporzioni di venerdì notte."
1987 ¹⁴	"... il 19/7 in concomitanza con gli eventi meteorici che hanno interessato l'alta Val Rendena, L'interzona ha su subito un grave dissesto; vengono segnalati danni nei bacini del rio Bedù di Pelugo ed in quello dei rio Val di Casa. ..."
1987 ¹⁵	"... Non si passa sul ponte di Pelugo, come sui ponti sopra il Sarca. Il rio Bedù II ha sfondato il pilone centrale e eroso le spalle. L'asfalto della statale si è incrinato a metà della costruzione. Chiusura immediata e precauzionale. ..."

8 Archivio Storico di Pelugo (ASP) Sedute del Comune di Pelugo dal 1902 al 1912

9 Relazione tecnica, anno 1965, allegata al progetto di sistemazione del rio Bedù di Pelugo, Archivio dell'Azienda Speciale di Sistemazione Montana di Trento

10 Dall'articolo "La piena e i danni del Bedù" Gazzettino di Trento del 28-9-1927

11 Dall'articolo "La più grande piena del dopoguerra rompe gli argini del torrente Bedù" dall'Adige 18-10-1958

12 Dall'articolo "Un terribile nubifragio abbattutosi sul Trentino ha portato lutto distruzione e danni alle campagne" Gazzettino di Trento del 18-9-1960

13 Relazione tecnica, anno 1965, allegata al progetto di sistemazione del rio Bedù di Pelugo, Archivio dell'Azienda Speciale di Sistemazione Montana di Trento

14 Archivio dell'Azienda Speciale di Sistemazione Montana di Trento

15 Dall'articolo "Val di Genova isolata, timori a Pelugo, tra Rendena e Giudicarie alluvione-bis" Alto Adige del 26-8-1987

1987 ¹⁶	"A Pelugo il ponte sulla statale resta inagibile: la pila centrale è gravemente danneggiata, così come una delle spalle. ... Nel resto della valle il nuovo colpo è stato assorbito relativamente bene: si sta procedendo già all'inventario dei danni. Tra le strutture compromesse figura anche il parco giochi delle Masere, nei pressi di Pelugo, ... La furia delle acque ed i detriti lo hanno gravemente danneggiato."
1999 ¹⁷	"Nello scorso 20 settembre il nostro paese è stato colpito da un improvvisa alluvione che ha arrecato vari danni di elevata entità. Dopo un giorno ed una notte di pioggia torrenziale, il torrente rio Bedù ed il fiume Sarca hanno incominciato ad ingrossarsi. ... La situazione si faceva sempre più allarmante di ora in ora. Verso le diciassette l'argine sinistro del rio Bedù e travasato invadendo la statale e i campi confinanti; a quel punto abbiamo chiuso subito il traffico e verso la chiesa di S. Antonio una squadra di Spiazzo ha costruito una barriera di sacchi di sabbia per evitare che l'acqua andasse a scorrere lungo la statale verso Borzago. Ma non era ancora finito: a monte le tubazioni dell'acquedotto con l'erosione dell'acqua si sono stappate e così è rimasto senz'acqua sia il paese di Pelugo che di Spiazzo e Borzago. ... Verso le sei di mattina ha smesso di piovere e sono cominciate tutte le operazioni di messa in ripristino dell'acquedotto e della pulizia della sede stradale: operazioni durate poi fino a tarda serata."
1999 ¹⁸	"... in occasione dell'evento alluvionale del 19 settembre 1999, quando una perturbazione d'origine atlantica ha raggiunto il Trentino occidentale, scaricandovi piogge che hanno causato un notevole ingrossamento di molti tra i corsi d'acqua presenti nel bacino del fiume Sarca. In quei frangenti, a fronte di valori di pioggia elevati ma non eclatanti (si è stimato per le piogge cadute in ventiquattrore un tempo di ritorno compreso tra 10 e 20 anni), si sono registrati durante tutto il mese di settembre valori di temperatura particolarmente elevati, che hanno contribuito ad attestare lo "zero termico" costantemente ad una quota ben superiore ai tremila metri, determinando la saturazione dei ghiacciai e delle aree ad essi circostanti. Pertanto, si può ipotizzare che tali superfici siano risultate pressoché impermeabili alla precipitazione, contribuendo in modo significativo alla formazione del deflusso superficiale e quindi della portata di piena. Sul rio Bedù di Pelugo, l'onda di piena ha raggiunto il proprio apice verso le ore 17 del 20 settembre, provocando la fuoriuscita del torrente lungo la sponda sinistra idrografica, circa 100 metri a monte della strada statale. Raggiunta la strada statale, il deflusso ha seguito due direttrici: una parte si è indirizzata, aprendosi a ventaglio, verso la Cappella di Baltarino (chiesetta situata nei pressi di quota 628.5), ed ha inondato i prati della località Masere. L'altra parte del deflusso, incanalata tra i cordoli della strada statale, si è diretta verso Spiazzo, ha lambito la chiesa di Sant'Antonio Abate, ed ha raggiunto il cartello stradale che introduce l'abitato di Borzago (quest'ultimo è situato a ben 700 metri di distanza dall'alveo del torrente Bedù!). Le acque si sono quindi riversate nei prati sottostanti. Il passaggio della piena ha determinato gravi danni alle opere di sistemazione idraulico-forestale presenti lungo il tratto di torrente che attraversa il conoide: in particolare, le dodici briglie situate a monte della strada statale sono state sbriciolate e fortemente lesionate, ad eccezione della briglia posta allo sbocco della forra rocciosa, che ha retto il passaggio della piena, pur subendo dei danni. Tali conseguenze sono riconducibili, oltre che all'effettiva violenza della piena, al fatto che le opere idrauliche poste a presidio del conoide risalivano in massima parte agli anni '50, periodo nel quale vennero realizzate impiegando sassi legati semplicemente con malta, non garantendo quindi elevate resistenze agli impatti dinamici. Altri importanti effetti si sono verificati a monte, nella Val di Borzago, dove il corso d'acqua è, in vari punti, uscito dal proprio letto, a causa degli ingenti depositi di materiale solido proveniente dalle profonde erosioni prodotte a valle del rifugio Carè Alto. Il sentiero che conduce al rifugio è stato asportato in più punti, ed in particolare è crollata la passerella che attraversa l'alveo a quota 1642.6. La strada comunale che risale la valle lungo la sponda sinistra del torrente è stata interrotta per alcuni tratti, a causa delle erosioni. La corrente ha sfiorato alcune case, e danneggiato l'acquedotto di Pelugo posto in destra idrografica. Il parcheggio utilizzato dagli escursionisti che salgono al rifugio è stato solcato dalle acque del Bedù, ed una vettura lì parcheggiata è stata trascinata a valle dalla corrente."

Tabella 6.1: analisi storica dei principali eventi alluvionali che hanno interessato il rio Bedù

Sebbene l'analisi storica dei principali eventi alluvionali verificatisi nei secoli scorsi e riportati negli archivi consultati fornisca informazioni molto generiche, principalmente focalizzate sui danni provocati dal fiume Sarca, da essa si evince tuttavia che le problematiche idrauliche legate a piene liquide e a fenomeni di trasporto solido e debris flow del rio Bedù erano note fin dalla prima metà del 1800; si può inoltre intuire come gli eventi alluvionali susseguiti nel corso degli anni abbiano portato a profonde modifiche nella morfologia dei versanti del bacino imbrifero in esame.

16 Dall'articolo "La Val di Genova flagellata dalle frane. Chiusa la Rendena, traffico difficile" Adige del 26-8-1987

17 Penes Lacum Oggi -Notiziario d'Informazione del Comune di Pelugo Semestrale Anno III - N°/ - dicembre 1999, articolo "L'alluvione e i danni del 20 settembre 1999" di Fabio Pollini

18 Archivio dell'Azienda Speciale di Sistemazione Montana di Trento

Facendo riferimento al database del Progetto ARCA (Archivio Eventi Calamitosi) della Protezione Civile del Trentino è possibile reperire alcune ulteriori informazioni sugli eventi calamitosi storici verificatisi nell'area oggetto di studio. Come visibile dall'immagine sotto riportata, nelle vicinanze dell'area in esame è segnalato un unico evento calamitoso storico di tipo alluvionale accaduto in data 17.09.1882 (n. 15585): l'esondazione del rio Bedù di Pelugo causò gravi danni boschi, prati e argini, distruggendo il ponte stradale presente.

Un poco più a valle, nel corso di un successivo evento accaduto il 25.09.1927 (n. 171) l'esondazione del rio Bedù arrecò gravi danni alle strutture agricole. In base alla scheda relativa all'evento, si osserva che l'affidabilità della sua esatta localizzazione risulta imprecisa..

La scheda relativa all'evento del 5.10.1958 (n. 3645) segnala la distruzione di 7 briglie presenti a monte del ponte sulla S.S. 239 di Campiglio, scalzate dalla forza della corrente e la rottura degli argini nel tratto a valle del ponte, con conseguente allagamento delle aree e deposito del materiale solido trasportato dal corso d'acqua nei campi vicini alla confluenza con il fiume Sarca.

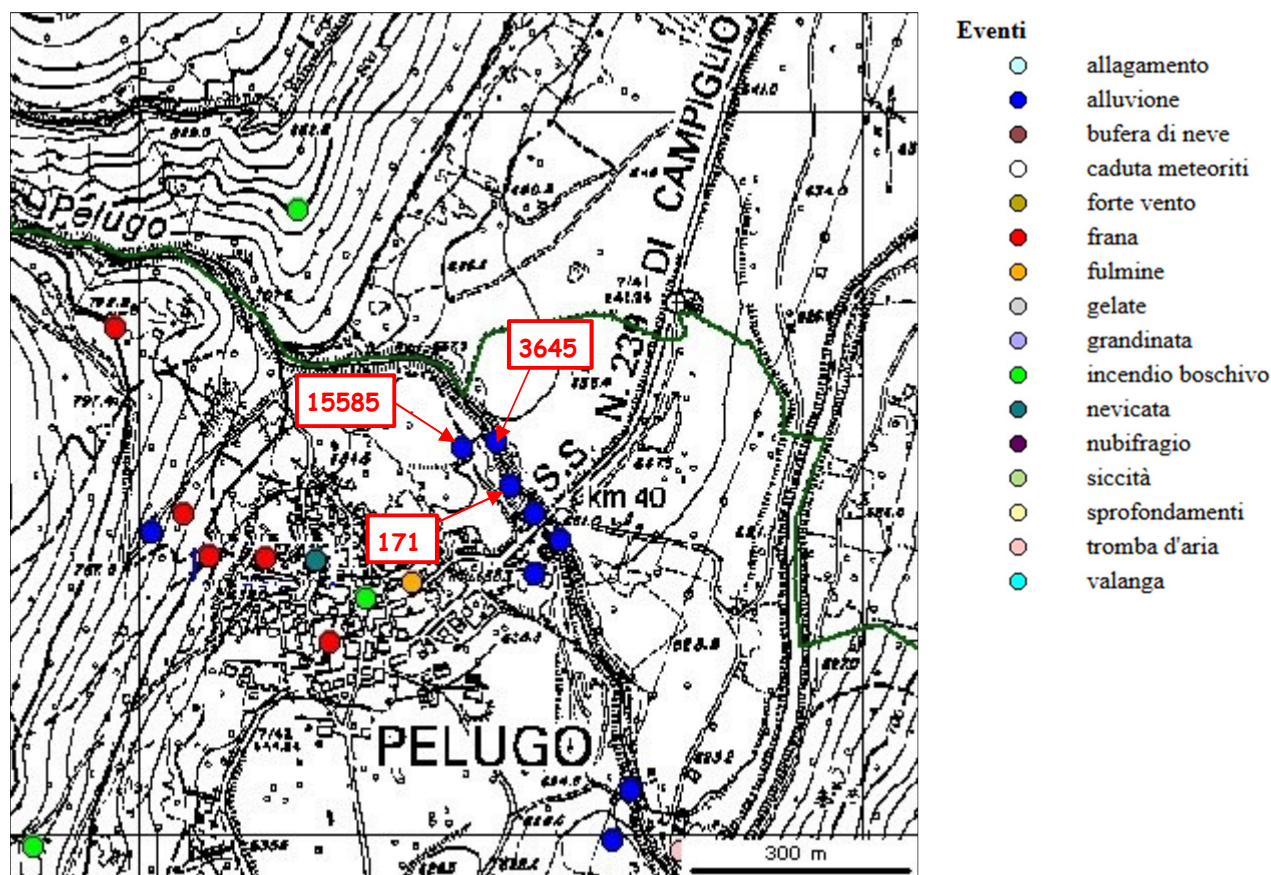


Figura 6.4: eventi calamitosi nell'area oggetto di studio [Fonte: Progetto ARCA Protezione Civile TN]

6.3 Analisi degli interventi di sistemazione idraulico-forestale

In base alle indicazioni reperite sul Web GIS della Provincia Autonoma di Trento (<https://webgis.provincia.tn.it/>) lungo il corso d'acqua si riscontra la presenza di una serie di interventi di sistemazione idraulico-forestale, descritti brevemente di seguito e localizzati nelle immagini sottostanti:

- nel tratto centrale del torrente, tra Malga Coel di Pelugo e Baita Cornicli, in sponda destra del corso d'acqua sono state realizzate opere di difesa in scogliera (Figura 6.5);
- in corrispondenza della confluenza del rio Val Garzana, a valle della piazza di deposito in località Acqua Osteria, è stata realizzata una briglia di trattenuta con filtro a pettine e le sponde sono state protette con opere in scogliera. Anche il corso del rio Val Garzana, affluente sinistro del Bedù, è stato oggetto di interventi di sistemazione attraverso la realizzazione di briglie di consolidamento e di un cunettone nel tratto terminale. Alcune briglie di consolidamento e la protezione delle sponde con scogliera sono state realizzate anche poco più a valle, in corrispondenza del ponte della strada forestale in località Pra Marc (Figura 6.6);
- nella parte terminale del rio Bedù di Pelugo, in corrispondenza del conoide, il fondo è stato stabilizzato attraverso la realizzazione di briglie di consolidamento e soglie e le sponde rivestite in scogliera in destra e in sinistra, idrografica sia nel tratto a monte e a valle del ponte della S.S. 239 di Campiglio sia in quello prossimo alla confluenza con il fiume Sarca (Figura 6.7).

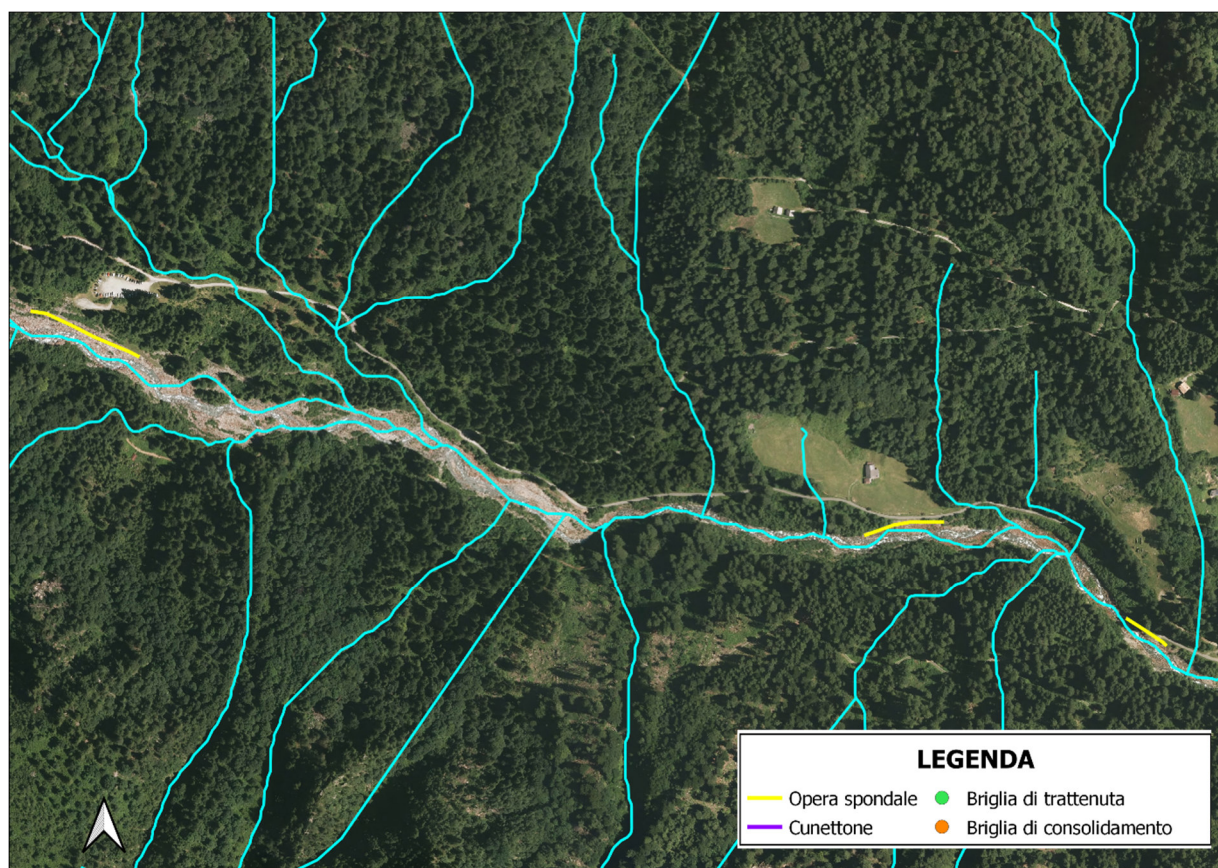


Figura 6.5: localizzazione delle opere di sistemazione del rio Bedù di Pelugo nel tratto centrale del corso d'acqua

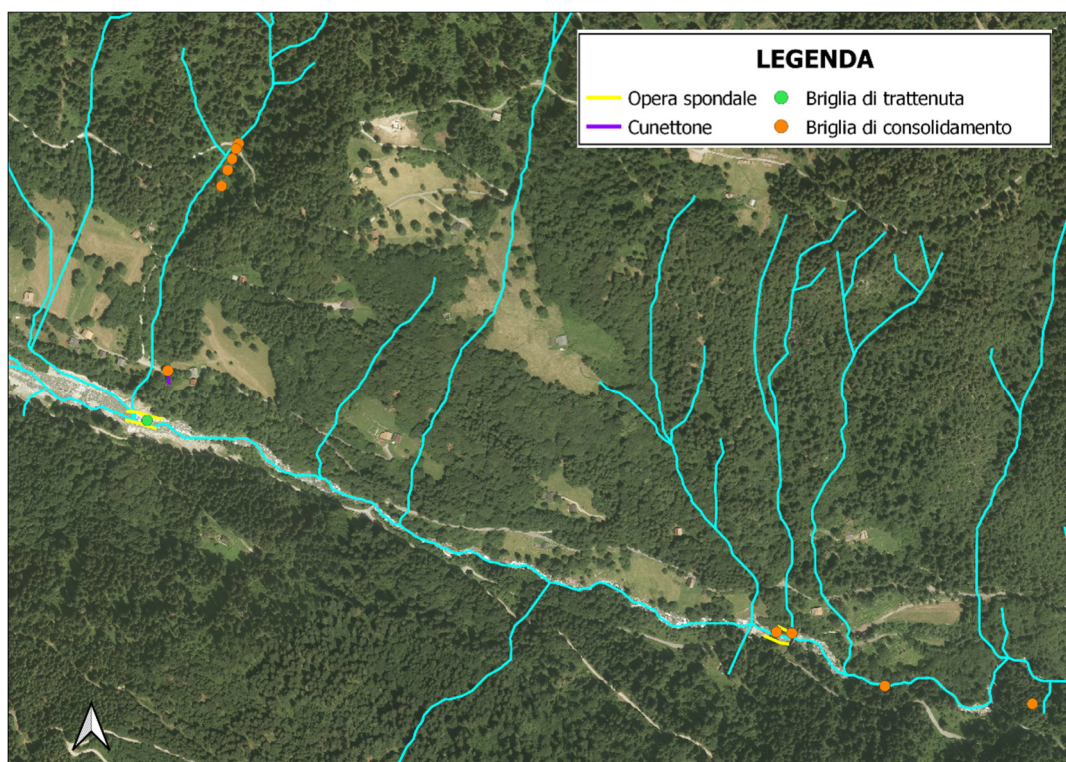


Figura 6.6: localizzazione delle opere di sistemazione del rio Bedù di Pelugo e del rio Val Garzana nel tratto della confluenza e più a valle, in corrispondenza del ponte della strada forestale in località Pra Marc

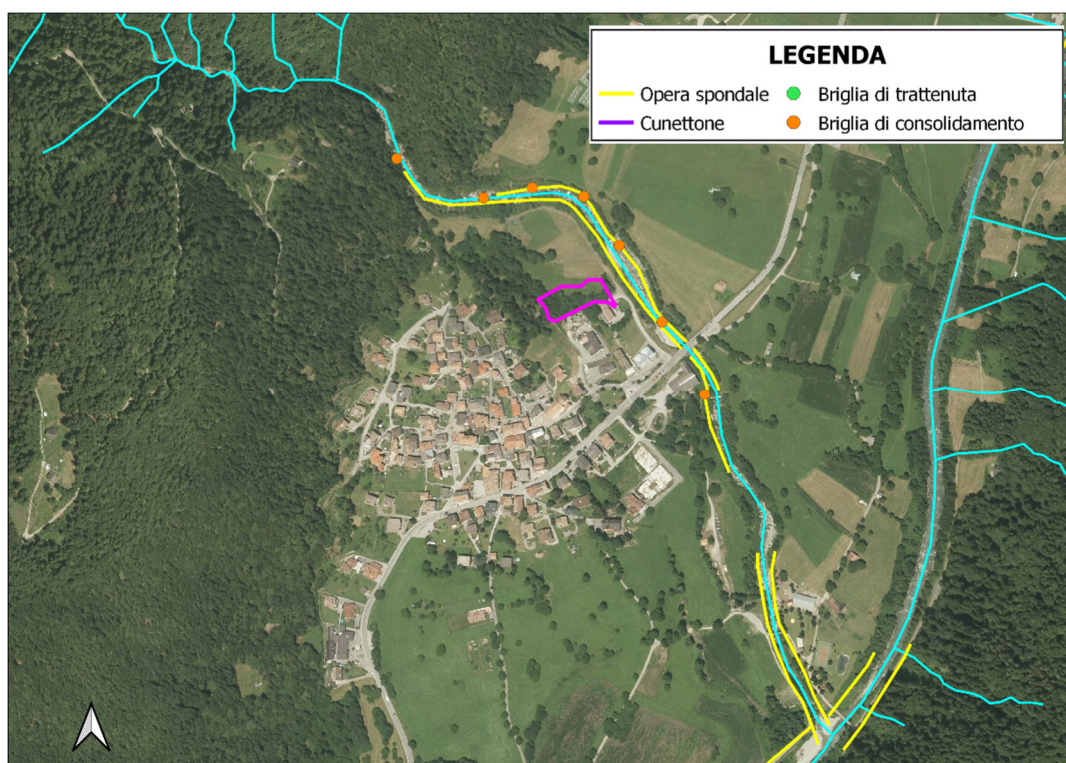


Figura 6.7: localizzazione delle opere di sistemazione del rio Bedù di Pelugo lungo il conoide, in corrispondenza delle aree oggetto di studio (nel poligono magenta)

6.4 Modellazione idrologica

La modellazione idrologica riportata di seguito ha per obiettivo la determinazione dell'idrogramma di piena di progetto per il bacino del rio Bedù di Pelugo per un tempo di ritorno di 200 anni, come previsto dal Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche-PGUAP.

A tal fine verrà utilizzato l'applicativo GIS AdB-ToolBox, realizzato a cura del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Direzione Generale per la Difesa del Suolo; una funzionalità specifica del programma (Estensione AI) contiene un modello afflussi-deflussi per la realizzazione di analisi idrologiche e il conseguente calcolo dell'idrogramma di progetto.

6.4.1 Caratteristiche principali del bacino imbrifero del rio Bedù di Pelugo

Si riporta di seguito l'analisi idrologico-idraulica sviluppata al fine di verificare la compatibilità della variante puntuale V10 con le principali caratteristiche del corso d'acqua e nello specifico con quelle dell'area del conoide in sponda destra del torrente, dove è ubicata la particella in esame.

La modellazione idrologica fa riferimento al bacino imbrifero del rio Bedù di Pelugo chiuso in corrispondenza della confluenza con il fiume Sarca (quota 613.00 m s.l.m.), circa 700 m a monte dell'area oggetto di studio: tale bacino presenta una superficie totale pari a 31.23 km².

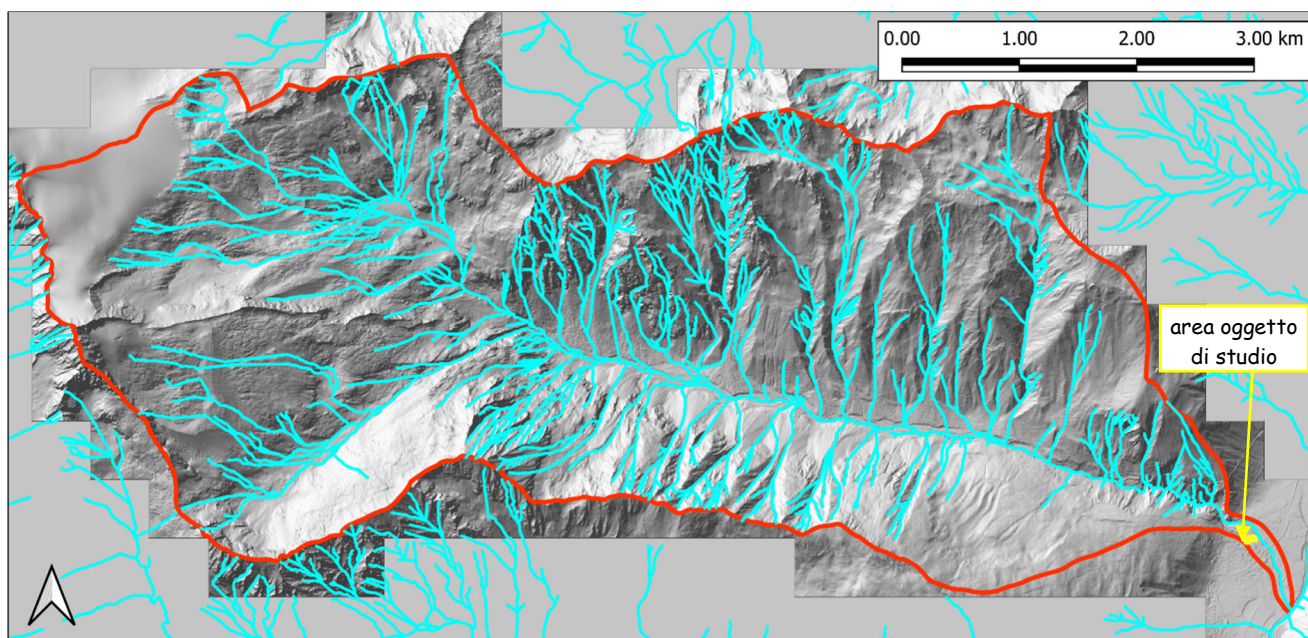


Figura 6.8: bacino imbrifero del rio Bedù di Pelugo chiuso a quota 613.00 m s.l.m. su carta del Soleggiamento PAT con ubicazione dell'area oggetto di studio

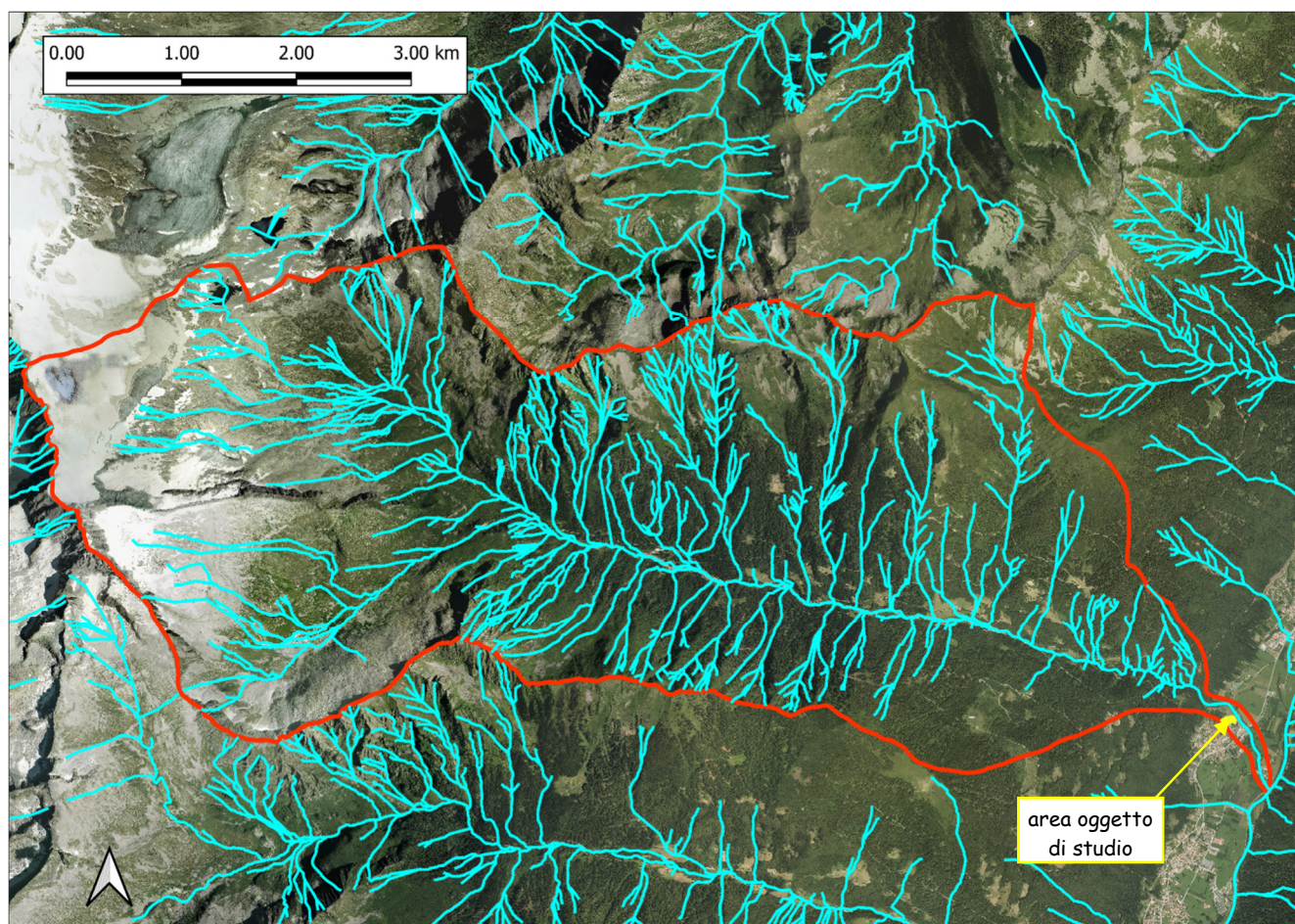


Figura 6.9: ortofoto con individuazione del bacino imbrifero esaminato nell'analisi idrologica e ubicazione dell'area oggetto di studio

Si riportano di seguito in Tabella 6.2 le principali caratteristiche morfometriche del bacino imbrifero del rio Bedù di Pelugo utilizzato per le analisi idrologiche e in Figura 6.10 l'andamento altimetrico dello stesso.

Coordinata E sezione di chiusura	633'715.55
Coordinata N sezione di chiusura	5'104'871.39
Area Bacino [km²]	31.23
Altitudine media [m s.l.m.]	1'987.96
Altitudine minima [m s.l.m.]	613.00
Altitudine massima [m s.l.m.]	3'463.90
Pendenza media del bacino [°]	65.70

Tabella 6.2: principali caratteristiche morfometriche del bacino imbrifero del rio Bedù di Pelugo chiuso a quota 613.00 m s.l.m.

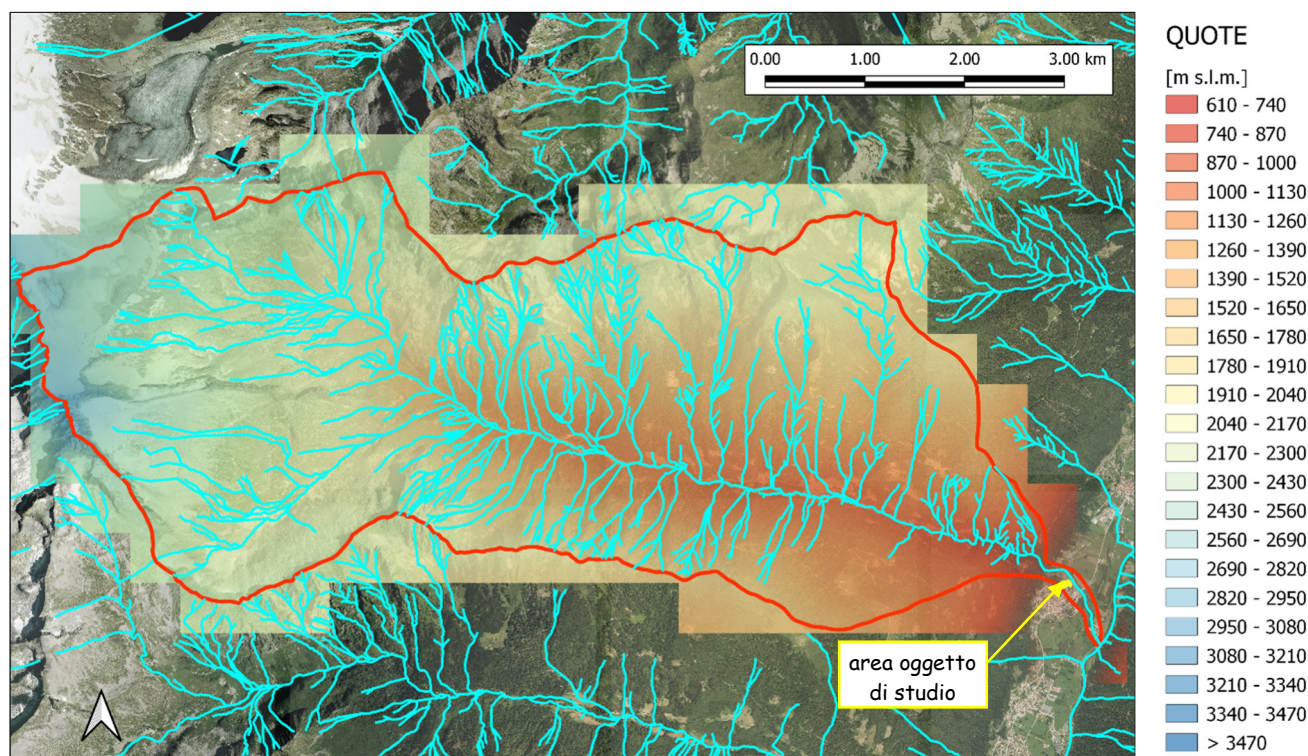


Figura 6.10: andamento altimetrico del bacino imbrifero esaminato nell'analisi idrologica

6.4.2 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 Curve Number (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.

Le caratteristiche di permeabilità vengono sintetizzate in un unico indice che deriva dalla 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 con 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).

Si riporta di seguito Figura 6.11 in la carta del Curve Number per le aree del bacino imbrifero del rio Bedù di Pelugo esaminato nell'analisi idrologica.

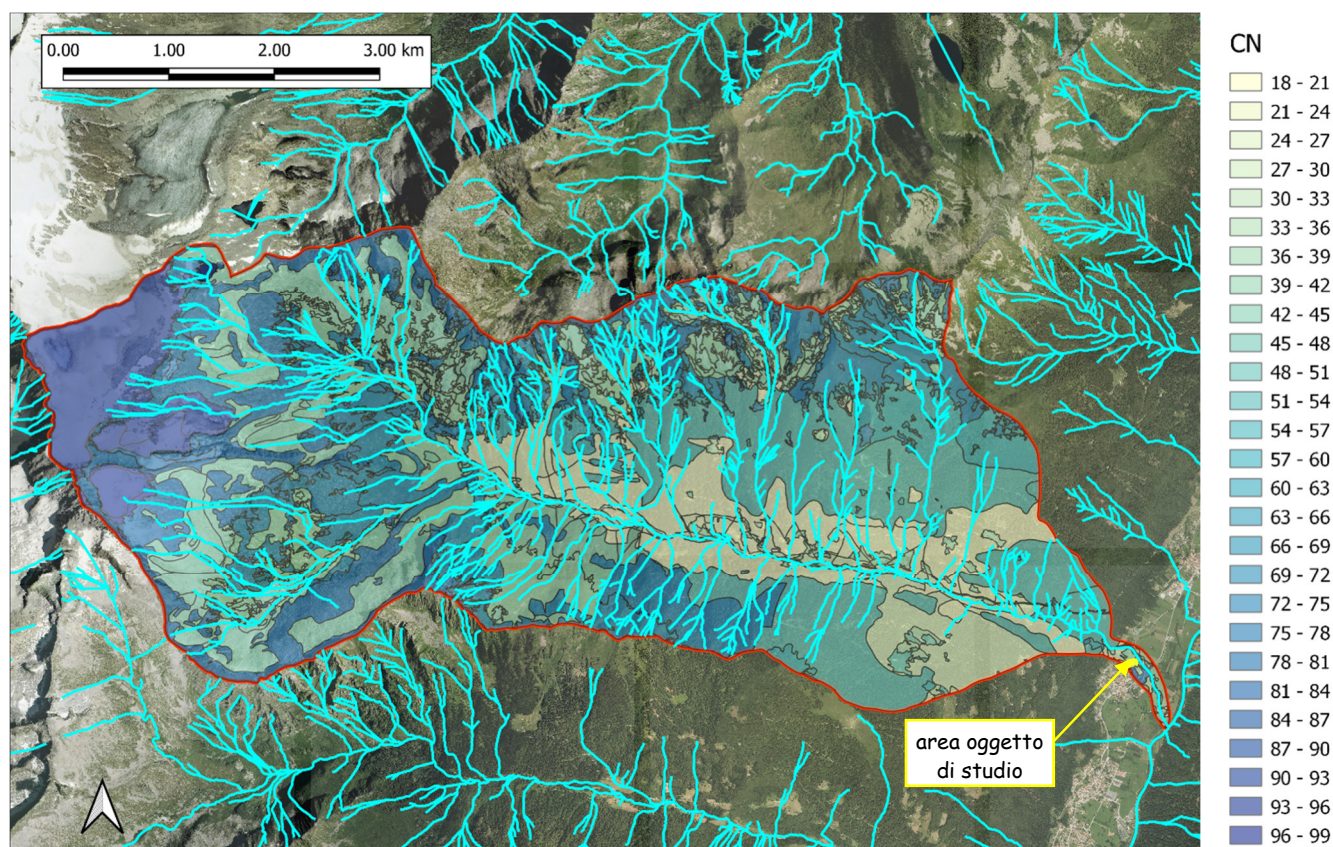


Figura 6.11: carta del Curve Number per le aree del bacino imbrifero esaminato nell'analisi idrologica

I valori del parametro CN associati all'uso del suolo ed alla classe di permeabilità sono riassunti in Tabella 6.3.

		CN			
CLASSE DI PERMEABILITÀ		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

		CN			
	CLASSE DI PERMEABILITÀ	A	B	C	D
	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 6.3: parametro CN in funzione dell'uso del suolo e della permeabilità

6.4.3 Analisi idrologica

L'analisi idrologica ha per obiettivo la definizione dell'onda di piena di progetto riferita al tempo di ritorno di 200 anni. Come detto in precedenza, nell'analisi idrologica si è fatto riferimento ad un bacino chiuso lungo il rio Bedù di Pelugo in corrispondenza della confluenza con il fiume Sarca.

6.4.3.1 Modello geomorfologico AdB-ToolBox

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.

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 ed 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: su bacini di dimensioni maggiori, infatti, potrebbero diventare importanti fattori non previsti dallo schema modellistico quali la distribuzione non uniforme della precipitazione o la necessità di ricorrere ad una simulazione più raffinata dei meccanismi di propagazione lungo la rete idrografica.

Nei limiti di estensione territoriale indicati, risultati soddisfacenti possono essere ottenuti solo avendo a disposizione i seguenti livelli informativi:

- ✓ il modello digitale del terreno per definire le direzioni di deflusso, l'area contribuyente, 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;
- ✓ i parametri a ed 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 ed 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. Con riferimento a quest'ultimo aspetto, peraltro, è opportuno ricordare che lo schema modellistico non prevede meccanismi dinamici di "moisture accounting" e di conseguenza non è in grado di simulare in modo adeguato eventi di lunga durata con più massimi di precipitazione distanziati nel tempo.

6.4.3.2 Dati di input

Si descrivono di seguito i dati di input utilizzati per le simulazioni effettuate nel caso in esame.

Il **modello digitale del terreno (DTM)** è costituito da un raster ottenuto dal rilievo Lidar disponibile sul WEBGIS della PAT ed effettuato nel 2014 (aggiornato con voli 2018), caratterizzato da una risoluzione di 0.5 m.

Per il bacino in esame il DTM è stato ricampionato a risoluzione 10 m per rendere meno pesanti le successive elaborazioni all'interno del programma e quindi "depittato" con un algoritmo presente in AdB-ToolBox al fine di eliminare le aree concave.

Terminate queste operazioni preliminari, è stato possibile creare gli altri raster necessari per il modello afflussi-deflussi: la carta delle aree cumulate (denominata UPSLOPE) e quella delle direzioni (denominata FLOWDIR).

La **carta del Curve Number** è ottenuta rasterizzando, con la stessa risoluzione del DTM di riferimento, la cartografia provinciale in formato shapefile della geologia e dell'uso del suolo; il file da utilizzare in AdB-ToolBox è stato 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. Il modello richiede anche altri due parametri che rivestono un peso importante nella definizione dell'idrogramma di progetto per bacini di notevole estensione: "Area Reduction Factor - ARF" e "parametro geomorfologico C ".

La variabilità spazio-temporale della precipitazione a scala di bacino è considerata attraverso 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 sia 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^2 , la durata in ore, e con $5 \leq A \leq 800 \text{ km}^2$ e $15' \leq d \leq 12 \text{ h}$.

Il Fattore geomorfologico C è un fattore di riduzione delle precipitazioni per grandi bacini; tale riduzione può inglobare sia fenomeni quali l'effetto di laminazione dell'onda di piena sia aspetti morfologici quali la presenza di aree al di sopra di una certa quota (zero termico) che - a causa della bassa 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 in Tabella 6.4, sono in linea con quanto suggerito dalla calibrazione dei parametri cinematici del modello afflussi-deflussi effettuata dalla Provincia Autonoma di Trento. Per quanto riguarda le condizioni di umidità del terreno antecedenti l'inizio dell'evento, si è scelta la classe AMC III, indicativa di condizioni molto umide (AMC, Antecedent Moisture Condition). Con riferimento alla forma dello ietogramma, si è scelto quella triangolare, che tende a massimizzare il valore di picco della piena.

Velocità caratteristica di versante (min - max)	0.025 - 0.05 m/s
Velocità caratteristica di reticolo	2.0 m/s
Valore di soglia per l'area drenata (min - max)	0.00 - 0.01 km^2
Forma dello ietogramma	Triangolare
Classe AMC	III
Step output dell'idrogramma	5 min

Tabella 6.4: parametri cinematici utilizzati per l'analisi idrologica del bacino imbrifero in esame

I valori delle curve di possibilità pluviometrica sono quelli forniti dalla Provincia Autonoma di Trento - Dipartimento Protezione Civile e Infrastrutture - Servizio Prevenzione Rischi - Ufficio Previsioni e Pianificazione: si tratta di tre file raster (a_1 , n , CV) che descrivono la distribuzione spaziale di ciascuno dei tre parametri sulla superficie del bacino imbrifero esaminato. Il modello scala-invariante utilizzato è quello di Gumbel e la linea segnalatrice di probabilità pluviometrica è descritta dalla seguente equazione:

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

Il termine $h_T(d)$ rappresenta il valore di precipitazione caratterizzato da un tempo di ritorno T per una durata di pioggia d , mentre n , CV ed a_1 sono parametri stimati come descritto di seguito ed ε è il numero di Eulero (pari a 0.5772157).

I valori di n , CV ed a_1 sono stati stimati sulla base dei dati delle altezze di pioggia massime annuali di durata compresa nell'intervallo 1-24 ore.

I 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 utilizzati per il calcolo delle curve di possibilità pluviometrica sono indicati in Tabella 6.5.

Tempo [h]	Tr [anni]								
	2	5	10	20	30	50	100	200	300
0.25	8.9	11.3	12.9	14.4	15.2	16.3	17.8	19.3	20.1
0.50	11.5	14.6	16.6	18.5	19.7	21.0	22.9	24.8	25.9
0.75	13.3	16.9	19.2	21.5	22.8	24.4	26.6	28.8	30.1
1.00	14.8	18.8	21.4	23.9	25.3	27.1	29.6	32.0	33.4
2.00	21.7	27.4	31.3	34.9	37.0	39.7	43.2	46.8	48.8
3.00	27.1	34.3	39.0	43.6	46.3	49.5	54.0	58.4	61.0
4.00	31.7	40.1	45.7	51.1	54.2	58.0	63.2	68.4	71.4
5.00	35.8	45.3	51.7	57.7	61.2	65.6	71.4	77.3	80.7
6.00	39.6	50.1	57.1	63.8	67.6	72.5	78.9	85.4	89.2
7.00	43.1	54.5	62.1	69.4	73.6	78.8	85.9	93.0	97.1
8.00	46.3	58.7	66.8	74.7	79.2	84.8	92.4	100.0	104.4
9.00	49.4	62.6	71.3	79.7	84.5	90.5	98.6	106.7	111.4
10.00	52.4	66.3	75.5	84.4	89.5	95.9	104.5	113.0	118.0

Tempo [h]	Tr [anni]								
	2	5	10	20	30	50	100	200	300
11.00	55.2	69.9	79.6	88.9	94.3	101.0	110.1	119.1	124.4
12.00	57.9	73.3	83.5	93.3	98.9	106.0	115.4	124.9	130.4
13.00	60.5	76.6	87.2	97.5	103.3	110.7	120.6	130.5	136.3
14.00	63.0	79.7	90.9	101.5	107.6	115.3	125.6	135.9	141.9
15.00	65.4	82.8	94.4	105.4	111.8	119.7	130.5	141.2	147.4
16.00	67.8	85.8	97.8	109.2	115.8	124.1	135.2	146.3	152.7
17.00	70.0	88.7	101.1	112.9	119.7	128.2	139.7	151.2	157.9
18.00	72.3	91.5	104.3	116.5	123.5	132.3	144.2	156.0	162.9
19.00	74.4	94.3	107.4	120.0	127.3	136.3	148.5	160.7	167.8
20.00	76.6	97.0	110.5	123.4	130.9	140.2	152.8	165.3	172.6
21.00	78.6	99.6	113.5	126.8	134.4	144.0	156.9	169.8	177.3
22.00	80.7	102.2	116.4	130.1	137.9	147.7	161.0	174.2	181.9
23.00	82.7	104.7	119.3	133.3	141.3	151.4	164.9	178.4	186.3
24.00	84.6	107.2	122.1	136.4	144.6	154.9	168.8	182.7	190.7

Tabella 6.5: altezza di pioggia [mm] per vari tempi di ritorno per il bacino in esame

A partire da tali valori di altezza di pioggia si ricavano le curve di possibilità pluviometrica rappresentate in Figura 6.12; la curva di riferimento per la definizione della portata di progetto è quella con tempo di ritorno pari a 200 anni, caratterizzata dai valori di a ed n indicati in Tabella 6.6.

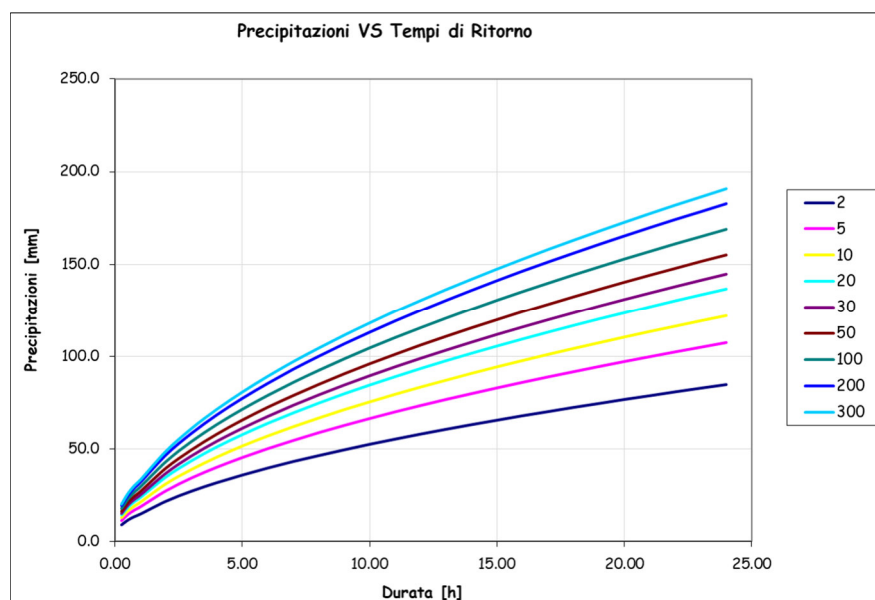


Figura 6.12: curve di possibilità pluviometrica per il bacino imbrifero in esame

Tempo di ritorno [anni]	a	$n (>1h)$	$n (<1h)$
200	31.982	0.548	0.366

Tabella 6.6: valori di a e n della curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno di 200 anni per il bacino in esame

6.4.3.3 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 di picco pari a 70.68 m³/s**.

Il bacino del rio Bedù di Pelugo chiuso a quota 613.00 m s.l.m. ha una superficie di 31.23 km².

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

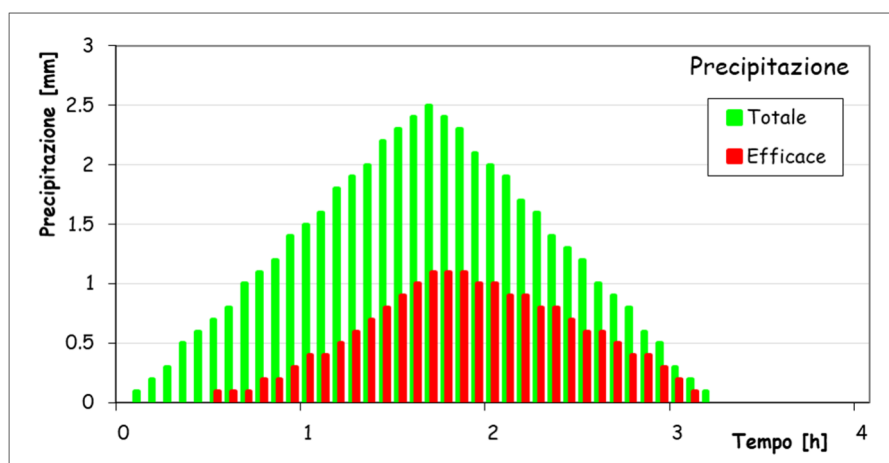


Figura 6.13: Tr 200 - Ietogramma di progetto utilizzato per la determinazione dell'idrogramma di piena per il bacino imbrifero in esame

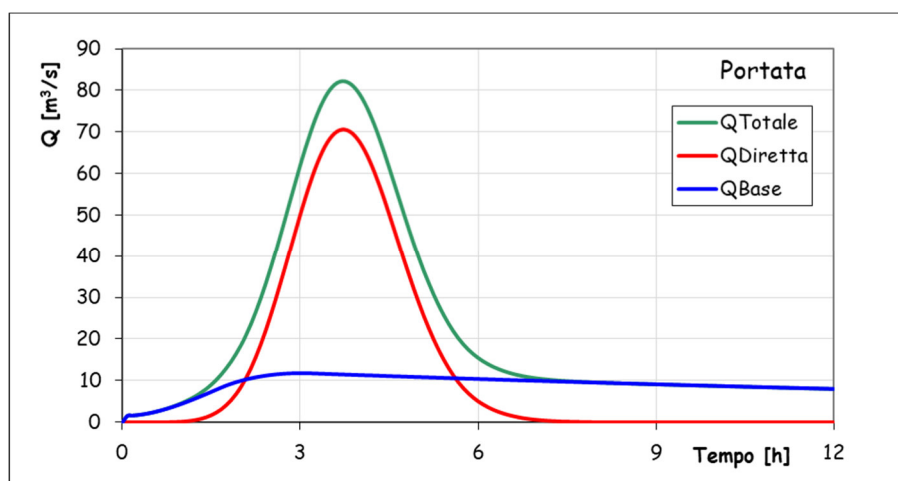


Figura 6.14: Tr 200 - Idrogramma di piena per il bacino del rio Bedù di Pelugo chiuso a quota 613.00 m s.l.m.; Q_{base} indica il deflusso profondo, $Q_{diretta}$ quello superficiale, Q_{totale} quello totale, somma dei precedenti

Si precisa che il grafico sopra riportato fa riferimento all'idrogramma liquido, non comprendente l'eventuale presenza di trasporto solido: la definizione di questi aspetti è riportata nel paragrafo che segue.

6.4.3.4 Idrogramma con trasporto solido (bedload)

Le caratteristiche del corso d'acqua e del bacino imbrifero in esame, sia in termini morfologici sia geologici, nonché le evidenze di campo, lasciano presupporre che il rio possa essere sede di fenomeni di trasporto solido.

A partire dall'idrogramma liquido di progetto rappresentato nel paragrafo precedente, è possibile definire - attraverso il metodo volumetrico - l'idrogramma con trasporto solido del corso d'acqua; per fare questo è definire l'andamento della concentrazione volumetrica del sedimento (sedimentogramma) nel corso dell'evento.

Per definire il **sedimentogramma di progetto** si è fatto riferimento alle considerazioni sulla **quantità di sedimento movimentabile** contenute nella relazione tecnico illustrativa relativa al "Progetto speciale per la messa in sicurezza del territorio - Individuazione e studio delle aree a rischio di alluvionamento - Conoide del rio Bedù di Pelugo (abitato di Pelugo)", fornita dal Servizio bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento e alla base delle classi di penalità assegnate alla zona in oggetto dalla Carta di Sintesi della Pericolosità vigente, che afferma quanto riportato di seguito:

"Dalle analisi condotte e dalla ricerca storica è emerso chiaramente come il Rio Bedù di Pelugo non sia un torrente in grado di generare colate detritiche. Per meglio individuare le zone soggette a pericolo di alluvionamento è stato eseguito un rilievo topografico specifico con lo scopo di individuare la geometria del canale all'apice e attraverso il conoide (vedasi disegni allegati). Il fatto che il Rio Bedù II non evidenzia l'attitudine alla generazione di colate detritiche non esclude la possibilità di eventi di minore intensità. Per questo motivo le sezioni sono state verificate da un punto di vista idraulico secondo quattro distinti scenari.

Ciò che contraddistingue i diversi scenari ipotizzati è la diversa evoluzione del fenomeno ed in particolare la durata dell'evento e quindi il diverso valore al picco dell'evento.

	I ipotesi	II ipotesi	III ipotesi	IV ipotesi
Tempo	0.5 ore	1 ore	2 ore	2.5
Portata liquida (m³/s)	68	68	68	68
Portata solida (m³/s)	60	30	20	12
Picco (m³/s)	128	98	88	80

*I picchi degli idrogrammi solidi utilizzati per la verifica delle sezioni sono stati ottenuti presupponendo un idrogramma liquido triangolare, con portata massima di 68 m³/s ($T_r = 100$ anni, $AMC = 5$), al quale si è poi aggiunto la **quantità di sedimento movimentabile (50'000 m³)** suddivisi per il tempo ipotizzato di durata dell'evento.*

L'idrogramma solido che si costruisce è di tipo triangolare in cui i due rami, quello ascendente e quello discendente hanno uguale pendenza.

*La prima ipotesi si avvicina di più ad una corrente iperconcentrata, mentre le altre ipotesi sono intermedie fino alla quarta, la quale ha le **caratteristiche del trasporto di fondo**, il quale è risultato il più probabile per questo tipo di **torrente**."*

Utilizzando il metodo volumetrico, la portata al colmo del fenomeno di trasporto solido può essere definita 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.

Nella figura che segue si mostrano i risultati ottenuti con il metodo volumetrico: a fronte di **un volume di materiale movimentabile** pari a **50'000 m³**, il **valore di picco dell'idrogramma con trasporto solido** - leggermente anticipato rispetto al picco dell'idrogramma liquido - risulta pari a **92.16 m³/s**; la concentrazione massima del picco del sedimentogramma è pari all'incirca all'8 %;

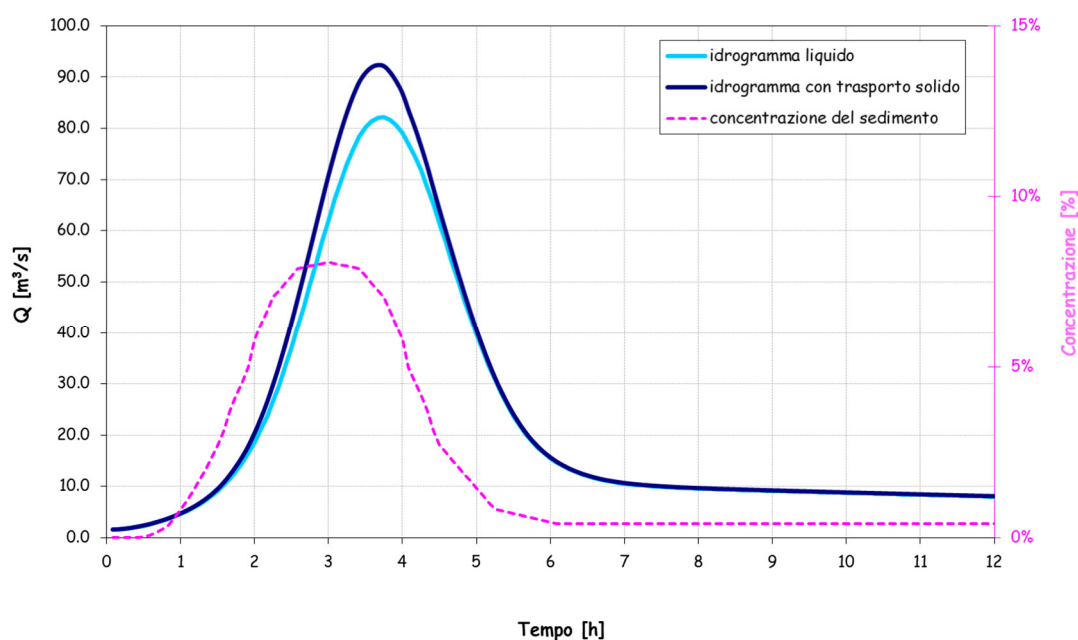


Figura 6.15: idrogramma liquido, idrogramma con trasporto solido (bedload) e sedimentogramma di progetto per un evento con tempo di ritorno di 200 anni lungo il rio Bedù di Pelugo

7 MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE CON FLUMEN2D

La modellazione idraulica del campo di moto al passaggio della portata di progetto nel tratto di torrente in esame è stata condotta con il codice di calcolo Flumen2D, che 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.

Per il caso in esame si è adottata una modellazione su fondo fisso.

7.1 Fondamenti matematico-numeric 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:

$$U_t + F_x + G_y = H + S$$

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

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

mentre il flusso non conservativo H e il termine sorgente S sono:

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

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_s e ρ_w 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 $q_s = (cuh, cvh)$. L'equazione che definisce la concentrazione in funzione delle variabili idrodinamiche è la seguente:

$$c = c_b \beta \frac{w^2}{h}$$

dove $w^2 = u^2 + v^2$ è il modulo della velocità della corrente e β è un coefficiente, funzione della densità del materiale e dalla scabrezza del fondo:

$$\beta = \frac{8\sqrt{g}}{g\Delta C_b\sqrt{h}} \left(1 - \frac{\vartheta_{cr}\Delta d_{50}h^{1/3}}{w^2 n_{td}} \right)$$

È possibile anche considerare la propagazione su fondo fisso, in questo caso la concentrazione, se presente, risulta assimilata ad una variabile trasportata in modo avvevativo 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) nel codice Flo2D:

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

dove τ_s è lo sforzo di soglia, η è la viscosità dinamica, n_{td} 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÷50'000 al variare della scabrezza del fondo).

Il parametro di Manning dispersivo-turbolento dipende dalla concentrazione volumetrica c e dal valore di Manning della superficie attraverso la relazione empirica:

$$n_{td} = n \cdot (1 + b \cdot e^{m \cdot c})$$

dove il valore dei coefficienti b ed m è rispettivamente di 0.0538 e 6.0896.

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 di fenomeni impulsivi con correnti sia subcritiche che supercritiche.

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

$$U_{i,j}^{n+1} = U_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[F_{i-\frac{1}{2},j} - F_{i+\frac{1}{2},j} \right] + \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[G_{i,j-\frac{1}{2}} - G_{i,j+\frac{1}{2}} \right] + \Delta t (H_{i,j} + S_{i,j})$$

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

$$\Delta t = \frac{C_{cfl} \min[\Delta x, \Delta y]}{\max[S_{3x}, |S_{1x}|, S_{3y}, |S_{1y}|]} \quad C_{cfl} = 0.49$$

ove S è la celerità delle piccole perturbazioni.

7.2 Dati di input della modellazione 2D

7.2.1 Dominio di calcolo

Il dominio di calcolo è rappresentato con una griglia a maglia quadrata di lato 1.0 m, ottimale per schematizzare con adeguata accuratezza la zona di studio. L'altimetria è stata ricavata dal rilievo Lidar 2014 della Provincia Autonoma di Trento, la cui risoluzione - pari a 0.5 m - è stata ricampionata con risoluzione di 1.0 m.

Il dominio di calcolo utilizzato per la modellazione include la parte terminale del bacino imbrifero del rio in esame e si estende da poco a monte della zona apicale del conoide fino a circa 100 m a valle del ponte sulla S.S. 239 di Campiglio.

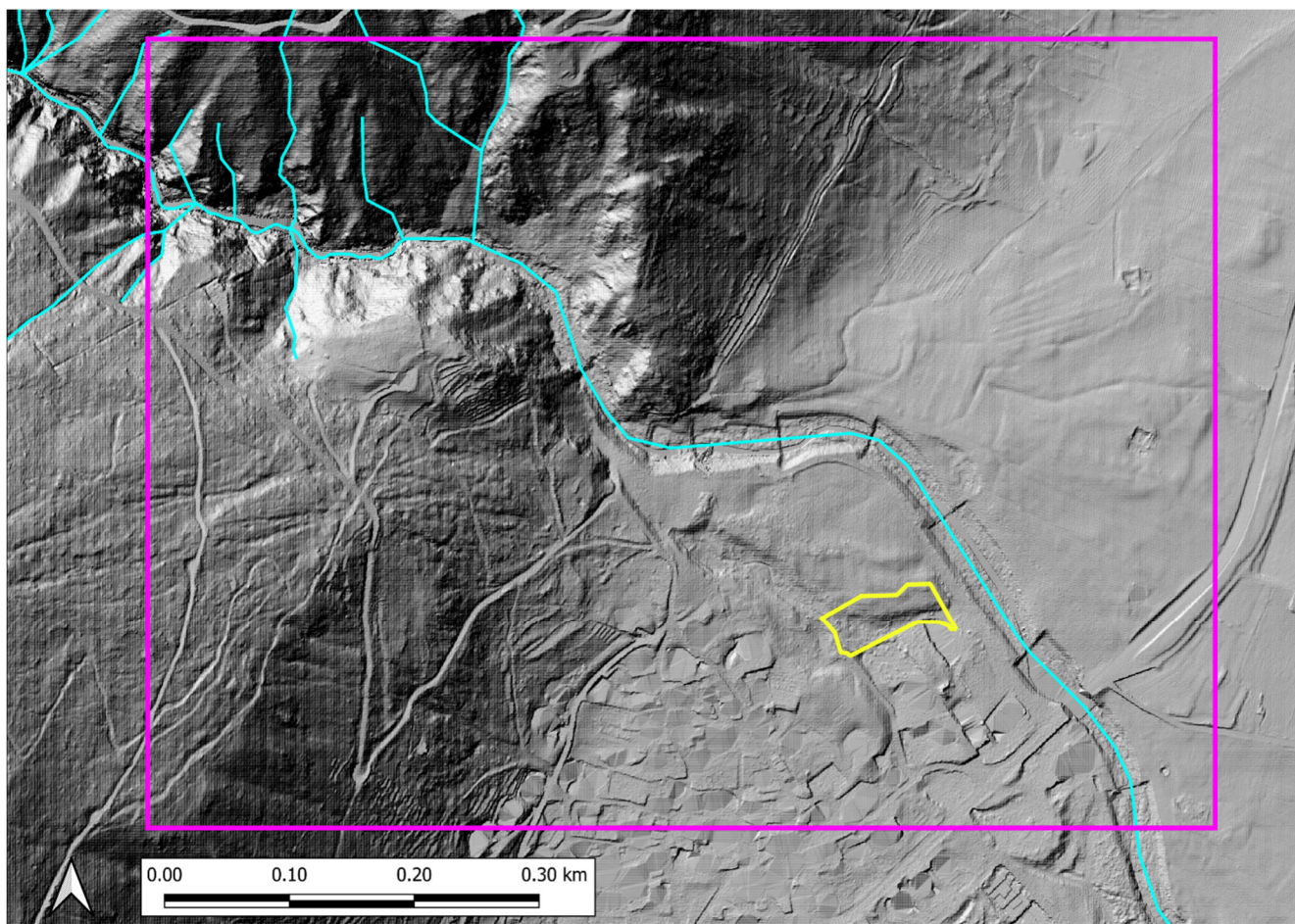


Figura 7.1: Estensione del campo di moto (rettangolo magenta) su carta del Soleggiamento PAT con localizzazione (poligono giallo) dell'area oggetto di studio

7.2.2 Condizioni al contorno

Nelle celle di calcolo in ingresso (nelle quali viene immesso l'idrogramma di progetto) e in quelle in uscita del modello è stata posta la condizione di moto localmente uniforme.

7.2.3 Idrogramma di piena

Alle celle di calcolo del dominio computazionale in corrispondenza della sezione iniziale del tratto di alveo considerato è stato assegnato l'idrogramma di progetto con tempo di ritorno pari a 200 anni riportato in Figura 6.15.

7.2.4 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 al parametro $h_{\min \text{ flooding}}$, nel caso in esame fissato pari a 1 cm.

7.2.5 Parametri idraulici

Per la scabrezza al fondo delle celle di calcolo è stata si è adottato un valore del coefficiente di Gauckler e Strickler pari a $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

7.3 Risultati della modellazione 2D

Si riportano nel seguito i risultati della simulazione svolta, rappresentati come tirante [m] e velocità massima [m/s] della corrente in termini di "involuppo" in ciascuna cella di calcolo, adottando come sfondo l'ortofoto dell'area. Nel rettangolo magenta è indicato il dominio di calcolo, mentre il poligono giallo rappresenta l'area oggetto di studio.

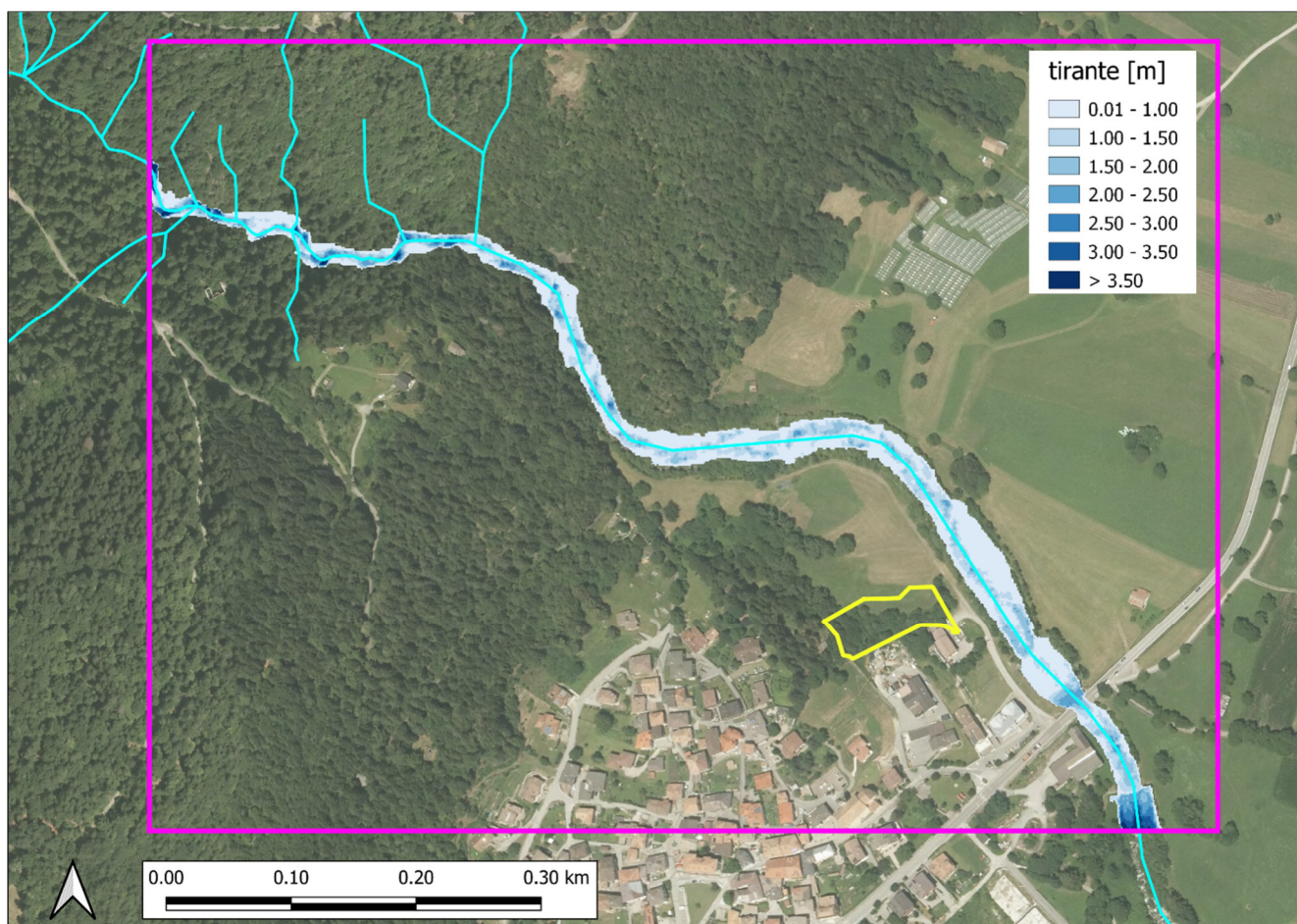


Figura 7.2: rappresentazione del tirante [m] al passaggio della portata di progetto ($T_R = 200$ anni) su ortofoto

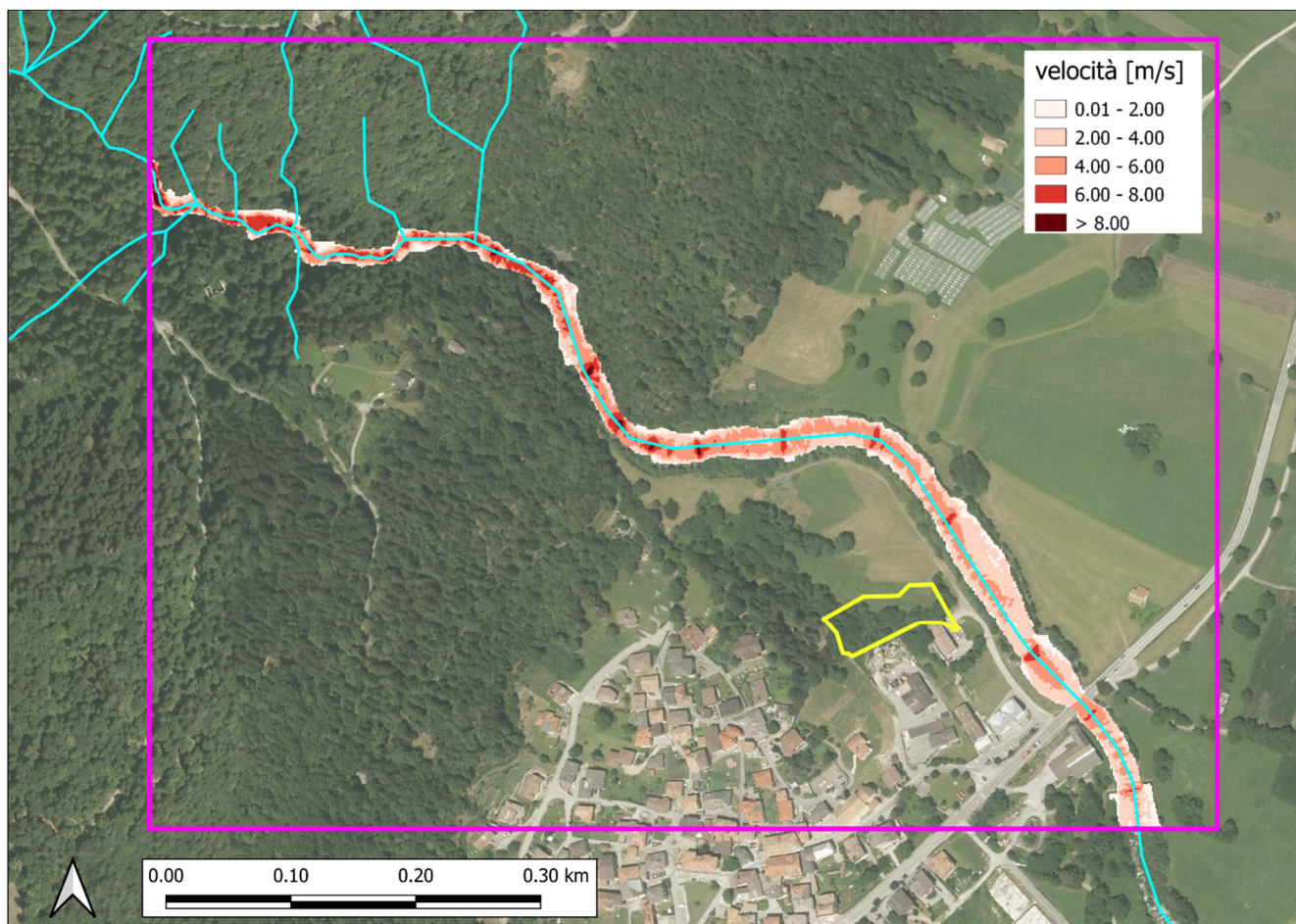


Figura 7.3: rappresentazione della velocità della corrente [m/s] al passaggio della portata di progetto ($T_R = 200$ anni) su ortofoto

Come mostrato nelle immagini sopra riportate, in base ai risultati della simulazione effettuata l'area in esame non risulta interessata da fenomeni di esondazione del corso d'acqua al passaggio della piena di progetto ($T_R = 200$ anni).

8 CONCLUSIONI

In base alle indicazioni della Carta di sintesi della pericolosità, la zona in esame si colloca all'interno di aree caratterizzate da pericolosità torrentizia bassa (P2) per la presenza di fenomeni alluvionali in corrispondenza del rio Bedù di Pelugo.

Come detto in precedenza e mostrato nelle immagini sopra riportate, in base ai risultati della simulazione bidimensionale effettuata l'area in esame non risulta interessata da fenomeni di esondazione del corso d'acqua al passaggio della piena di progetto (portata di picco $92.16 \text{ m}^3/\text{s}$ - $T_R = 200$ anni)

Visto quanto sopra esposto, si ritiene che la classe di pericolosità in materia alluvionale torrentizia possa essere rivalutata, assegnando all'area una classe di pericolosità straordinaria residua bassa (HR2).

Non si è posta nulla la pericolosità di tale area al fine di tenere conto dell'indeterminatezza e dei limiti delle metodologie analitiche applicate o anche dell'incertezza legata a fenomeni non prevedibili.

Ciò premesso, gli elementi a disposizione e gli esiti delle analisi effettuate permettono di ritenere compatibile la previsione urbanistica relativa alla variante puntuale V10 con la pericolosità alluvionale torrentizia dei fenomeni attesi nell'area in oggetto.

9 RIFERIMENTI NORMATIVI

- ✓ L.P. 27 maggio 2008, n. 5 - Approvazione del nuovo piano urbanistico provinciale
- ✓ L.P. 1 luglio 2011, n. 9 - Disciplina delle attività di protezione civile in provincia di Trento
- ✓ L.P. 4 agosto 2015, n. 15 - Legge provinciale per il governo del territorio 2015
- ✓ Deliberazione G.P. n. 1317 di data 4 settembre 2020 - L.P. 27 maggio 2008, n. 5, articoli 14 e 18 - l.p. 4 agosto 2015, n. 15, articoli 22 e 31: Approvazione della Carta di sintesi della pericolosità, comprensiva del primo aggiornamento dello stralcio relativo al territorio del Comune di Trento, del Comune di Caldonazzo e dei Comuni di Aldeno, Cimone, Garniga Terme nonché al territorio dei comuni compresi nella Comunità Rotaliana-Königsberg, e approvazione delle modifiche apportate al documento di "Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate medie o basse e le aree con altri tipi di penalità".
- ✓ Deliberazione G.P. n. 1340 di data 12 settembre 2025 - Disposizioni tecniche per la redazione della Carta di Sintesi della Pericolosità
- ✓ Deliberazione G.P. n. 1341 di data 12 settembre 2025 - Art. 10, comma 1, lettera a), L.P. 1 luglio 2011, n. 9 Disciplina delle attività di protezione civile in provincia di Trento": Approvazione del secondo aggiornamento delle Carte della Pericolosità.
- ✓ Deliberazione G.P. n. 1361 di data 12 settembre 2025 - Secondo aggiornamento della carta di sintesi della pericolosità ai sensi del Capo IV delle Norme di attuazione (Allegato B) del Piano urbanistico provinciale approvato con la legge provinciale 27 maggio 2008, n. 5 e dell'articolo 31, comma 3bis, della legge provinciale 4 agosto 2015, n. 15 compresa la ripermetrazione degli ambiti fluviali d'interesse idraulico, ai sensi dell'art. 35 delle Norme di attuazione (Parte VIII) del Piano generale per l'utilizzazione delle acque pubbliche, approvato con D.P.R. 15 febbraio 2006 e approvazione delle modifiche apportate al documento di 'Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate medie o basse e le aree con altri tipi di penalità (Allegato C)' approvato da ultimo con deliberazione della Giunta provinciale n. 379 di data 18 marzo 2022.