

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

COMUNE DI SAMONE

STUDIO IDROLOGICO, SEDIMENTOLOGICO ED IDRAULICO DEL BACINO DEL RIO CINAGA PER LA VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITA' ALLA CSP DEL PROGETTO DI VARIANTE PER OO.PP. AL PRG DEL COMUNE DI SAMONE PER REALIZZAZIONE DI NUOVO RACCORDO STRADALE TRA LA S.P.39 E VIA NUOVA SUPERIORE

Rev01 – Febbraio 2026

PROPONENTE: COMUNE DI SAMONE
PROGETTISTA VARIANTE: ARCH. ROBERTO VIGNOLA
PROGETTISTA INTERVENTO: ING. DAVID CAPRARO

IL TECNICO

Dott. For. Silvio Grisotto



SOMMARIO

1. INTRODUZIONE E PREMESA METODOLOGICA.....	3
2. INQUADRAMENTO GENERALE DEL BACINO IN STUDIO: GEOLOGIA, MORFOMETRIA, USO DEL SUOLO (parzialmente tratto da Sonda D., 2005).....	19
3. CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE E GEOTECNICHE DEI MATERIALI E LORO POSSIBILE INFLUENZA SULLA REOLOGIA DEI FENOMENI ATTESI.	29
4. RISPOSTA IDROLOGICA E STIMA DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO A SCALA DI BACINO	31
5. STIMA DEL “DEBRISGRAMMA” DI RIFERIMENTO.....	36
6. LA SIMULAZIONE NUMERICA BIDIMENSIONALE CON IL CODICE TRENT-2D®: ANALISI DEI RISULTATI DELLO STUDIO DEL SERVIZIO BACINI MONTANI (2022).....	38
7. LA SIMULAZIONE NUMERICA BIDIMENSIONALE CON IL CODICE TRENT-2D®: SCENARIO RESIDUO DI COLATA DI DETRITO CON PONTE VIA NUOVA SUPERIORE PARZIALIZZATO	43
8. CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI E INDIVIDUAZIONE DELLE POTENZIALI CRITICITA' IN CORRISPONDENZA DELL'AREA DI VARIANTE.....	48
9. VULNERABILITA' DELL'AREA DI VARIANTE E POSSIBILI MISURE DI MITIGAZIONE	50
9.1. Vulnerabilità dell'area di variante	50
9.2. Interventi di mitigazione	52
10. COMPATIBILITA' DELLA VARIANTE.....	56



Fig. 1.6- Sezione tipo della nuova bretella

L'area ove è prevista la variante e la futura realizzazione della bretella si posiziona in destra idrografica del torrente Cinaga nella parte apicale del grande conide alluvionale edificato dallo stesso nel corso dei secoli con la sua vivace attività torrentizia. L'imbocco di valle della nuova bretella si posiziona all'incrocio tra la SP 39 e Via ai Pòdoli (fig. 1.7).. Lo sbocco (o imbocco) a monte (Fig. 1.8) si posiziona invece in corrispondenza di una piccola piazzola a verde all'incrocio tra Via Nuova superiore e Via di San Rocco, subito a valle dell'imbocco della strada privata di accesso alla segheria "Perèr" e di fronte alla caserma dei VVFF di Samone. L'imbocco si posiziona, inoltre, circa 110 m a valle del ponte della SP 39 sul rio Cinaga.

Un inquadramento fotografico e cartografico dell'area ove è prevista la variante e la successiva realizzazione della bretella sono visibili nelle immagini che seguono.



Fig. 1.7 – Imbocco di valle della nuova bretella in progetto

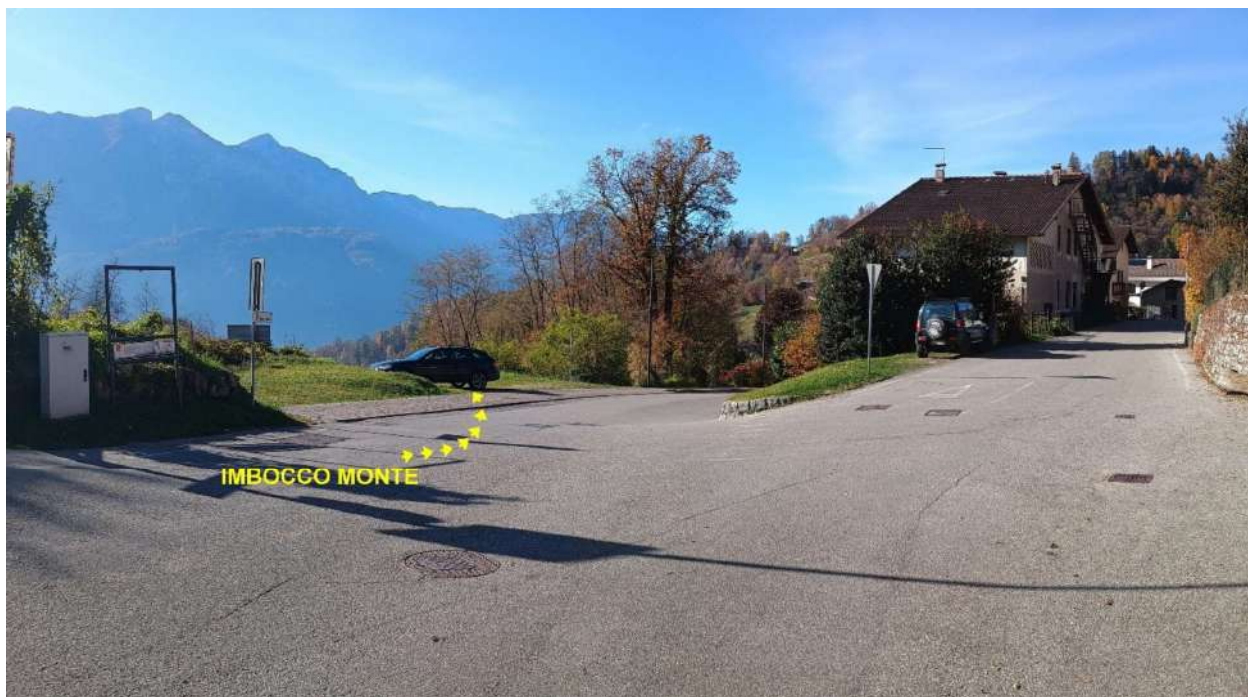


Fig. 1.8 – Imbocco di monte della nuova bretella in progetto



Fig. 1.9 – 1.10 –Tratto tra i due imbocchi della bretella in progetto (vista da monte e da valle)



Fig. 1.11-1.12 -Via Nuova superiore dall'imbocco di mote della bretella fino al ponte sul torrente Cinaga



Fig. 1.13 – Inquadramento su ortofoto dell'area di variante e tracciato della nuova bretella



Fig. 1.14 – Inquadramento su Hillshade LIDAR dell'area di variante e tracciato della nuova bretella

Scopo principale dello studio è quello di valutare la compatibilità della variante e del successivo progetto nei confronti della pericolosità da fenomeni torrentizi, in particolare i fenomeni di piena di detrito (*debris flood*) e colata di detrito (*debris flow*) potenzialmente provenienti dal **Rio Cinaga** (acqua pubblica n. 1816 – particella demaniale del ramo acque n. 1154/1) che scende dal versante sovrastante in sinistra idrografica del Brenta. La pericolosità del Rio Cinaga è ben conosciuta dagli esperti provinciali del Servizio Bacini montani e del Servizio geologico, così come il suo importante stato di dissesto in atto e potenziale, che ha portato nel corso dell'ultimo secolo e mezzo al verificarsi di importanti fenomeni alluvionali (1851, 1882, 1924, 1966) ed alla successiva alla realizzazione di diverse opere di sistemazione idraulico-forestale (prevalentemente di consolidamento ma anche di trattenuta e smaltimento) lungo la sua asta principale ed affluenti nonché attraverso il conoide, proseguite, con continue integrazioni e manutenzioni, dopo l'ultima grande alluvione del 1966, fino ad oggi.

La pericolosità e frequenza dei fenomeni del torrente Cinaga viene riassunta, seppur in maniera “non tecnica” da questo estratto del quotidiano Adige del 10 novembre 1966:..... *“l'infido rio Cinaga ci ha fatto abbandonare ancora una volta, ed in fretta, le abitazioni. ... Una valanga immane di acqua limacciosa mista a piante e sassi discendeva lungo l'alveo del rio. ... I ponti volavano come pagliuzze. ... Verso le 16 un'altra valanga d'acqua ancora più spaventosa percorreva la stessa via aggravando i danni già ingenti.”* (Fig. 1.15).

Una drammatica lotta contro gli elementi della natura

Le terribili ore d'angoscia degli abitanti di Samone

Il rio Cinaga ha costretto la gente ad abbandonare le sue case - Distrutto l'acquedotto - Una valanga d'acqua come una poderosa mazza si è abbattuta a valle

Abbiamo dal nostro corrispondente di Samone:

«Queste note sono scritte al lume di candela, perchè la luce manca da mezzodì. L'infido rio Cinaga ci ha fatto abbandonare ancora una volta, ed in fretta, le abitazioni per portarci in località più sicura. Le insistenti piogge, unite ad una più che mite temperatura, accompagnata da un violento vento che ha sradicato molti alberi, ha messo in allarme i vigili del fuoco ancora in mattinata.

Alle 2 del pomeriggio la sirena dei vigili avvertiva gli abitanti dell'imminente pericolo. Per mancanza della luce non poteva essere usata la sirena posta sui campanili, né le campane, che sono elettrizzate. I vigili, coadiuvati da volenterosi, e dal comandante e militi della forestale di Strigno, mentre stavano tagliando degli abeti per rinforzare l'argine che difende il paese, udivano un cupo boato ed un rumore assordante, come quando volano aerei supersonici. Una valanga immane di acqua limacciosa mista a piante e sassi discendeva lungo l'alveo del rio.

Appare un prodigio che lo argine, a difesa dell'abitato, non sia stato travolto. I ponti volavano come pagliuzze: il torrente straripava in più punti e una parte dell'acqua invadeva anche alcune strade del paese provocando la rottura della fognatura. Lo alveo veniva arato tanto profondamente che schiacciava il condotto che convoglia il prezioso liquido oltre che a Samone, anche ai comuni di Strigno, Spera, Scurelle e Casafelnuovo.

Verso le 16 un'altra valanga d'acqua ancora più spaventosa percorreva la stessa via aggravando i danni, già ingenti. Subito dopo la prima valanga i vigili ergevano una barriera di tronchi d'albero sbarrando la strada che porta al vivaio di Lunazza e demolendo con la dinamite ed arpioni una parte del bacino di decantazione, a nord-est del villaggio, per limitare la minaccia all'abitato.

Né la pioggia che cadeva incessantemente e con violenza, né il vento che sfer-

zava implacabilmente la faccia, né l'incombente minaccia dell'infido rio, facevano gli sforzi dei vigili diretti a salvare tutti con i loro beni ed i loro cari.

Un analogo pericolo minacciò il paese di Samone il 24 settembre 1924. In seguito si costruirono gli attuali muraglioni con numerose briglie e bacini di decantamento, che finora aveva-

no retto abbastanza bene, ma si dimostrano inadeguati in qualche punto vitale.

E' urgente anche provvedere per impedire le frane del Boale dell'Orso in fondo alla valle, ai piedi di monte Cima, frane che oltre allo immediato pericolo per Samone minaccia l'abitato di Strigno e Villa Agnedo.

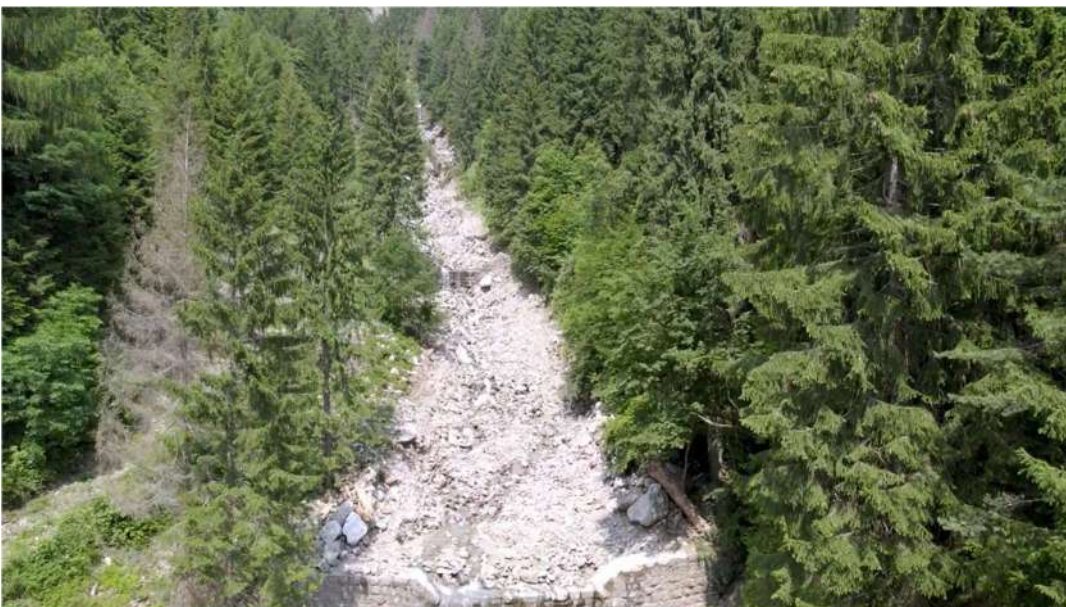
Stefano Rinaldi

Fig. 1.15 – Quotidiano “Adige” 10 novembre 1966

Provincia Autonoma di Trento – Comune di Samone

STUDIO IDROLOGICO, SEDIMENTOLOGICO ED IDRAULICO DEL BACINO DEL RIO CINAGA PER LA VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITA' ALLA CSP DEL PROGETTO DI VARIANTE PER OO.PP. AL PRG DEL COMUNE DI SAMONE PER REALIZZAZIONE DI NUOVO RACCORDO STRADALE TRA LA S.P.39 E VIA NUOVA SUPERIORE

Dopo un apparente periodo di “calma”, dovuto probabilmente al fatto che con l’alluvione del 1966 gran parte del materiale disponibile era stato trasportato a valle, il collettore ha avuto una importante riattivazione prima in occasione della tempesta “Vaia” dell’ottobre 2018, che ha rimesso in attività alcune zone franose di versante che fino a quel momento erano rimaste quiescenti, oltre d aver aperto nuovi fronti di dissesto ed erosione. A ciò è seguito il recente evento del luglio 2021, durante il quale, a seguito di un’intensissima precipitazione (TR stimato > 200 anni), di durata media (circa 10 ore) il bacino si è nuovamente “riacceso”, generando un intenso fenomeno di piena, associato ad una colata di detrito che ha movimentato diverse decine di migliaia di metri cubi di materiale. Fortunatamente le opere di consolidamento realizzate nel post 1966 ed in particolare la grande briglia realizzata a quota 886 m slm hanno laminato in maniera molto importante il fenomeno che, seppur nella sua gravità e forza, non ha causato danni ingenti agli abitati di Samone e Strigno. Le testimonianze verbali, fotografiche e video dell’evento mettono comunque in evidenza come molte risultino ancora le sezioni potenzialmente critiche o, quanto meno, al “limite” in caso di evento, da cui potrebbero ancor verificarsi fenomeni di esondazione in caso di eventi molto critici.



Provincia Autonoma di Trento – Comune di Samone

STUDIO IDROLOGICO, SEDIMENTOLOGICO ED IDRAULICO DEL BACINO DEL RIO CINAGA PER LA VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITA' ALLA CSP DEL PROGETTO DI VARIANTE PER OO.PP. AL PRG DEL COMUNE DI SAMONE PER REALIZZAZIONE DI NUOVO RACCORDO STRADALE TRA LA S.P.39 E VIA NUOVA SUPERIORE

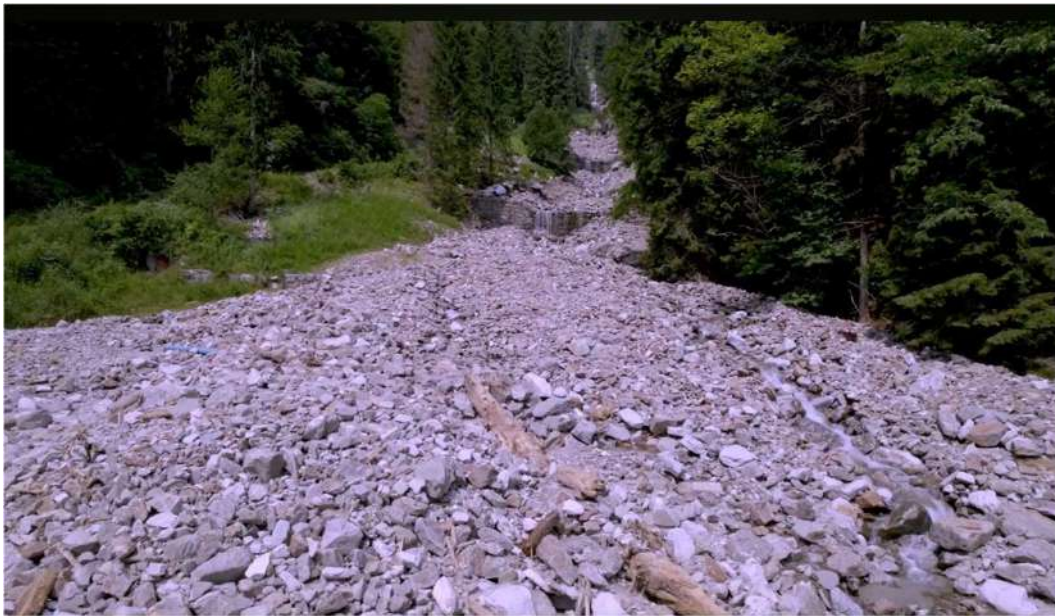


Fig. 1.16 – 1.20- L'alveo del Cinaga a monte del conoide, dopo l'evento del 13 Luglio 2021

Provincia Autonoma di Trento – Comune di Samone

STUDIO IDROLOGICO, SEDIMENTOLOGICO ED IDRAULICO DEL BACINO DEL RIO CINAGA PER LA VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITA' ALLA CSP DEL PROGETTO DI VARIANTE PER OO.PP. AL PRG DEL COMUNE DI SAMONE PER REALIZZAZIONE DI NUOVO RACCORDO STRADALE TRA LA S.P.39 E VIA NUOVA SUPERIORE



Fig.1.21 -1.23- La furia del Cinaga in occasione dell'evento del 13 Luglio 2021

Il torrente Cinaga può quindi essere a ragione considerato uno tra quelli più pericolosi ed “attenzionati” della Bassa Valsugana, sia per potenzialità che per vulnerabilità potenziale degli abitati da cui viene interessato, primo tra tutti l’abitato di Samone, posizionato proprio all’apice del conoide, e quindi più a valle quello di Strigno ove il Cinaga attraversa l’abitato entro un tombone coperto.

In questo studio ci si è concentrati soprattutto sulla pericolosità in corrispondenza dell’area di variante, analizzando anche i contenuti di due studi forniti dal Servizio Bacini montani utilizzati per la perimetrazione attuale della CSP (Sonda D, 2005; Michellini T.-Servizio Bacini montani, 2022); si è eseguita un’analisi dei possibili fenomeni in corrispondenza dell’abitato di Samone ed in particolare in corrispondenza dell’attraversamento stradale di Via Nuova Superiore che, in caso di evento critico, potrebbe rappresentare un’interferenza idraulica certamente degna di nota da cui si potrebbero generare fenomeni di esondazione lungo la viabilità verso l’area di variante.

La finalità principale delle opere sino ad oggi realizzate è stata quella da un lato di contenere quanto più possibile la formazione di imponenti fenomeni di trasporto solido, anche in forma di colata di detrito, all’interno dell’asta principale del torrente Cinaga, limitandone l’approfondimento e, soprattutto, la destabilizzazione dei vasti fenomeni franosi di versante sia attivi che quiescenti, presenti in particolare nel tratto in corrispondenza ed a monte della loc. Prese del Pisson (ove i solchi vallivi della zona di testata confluiscono nell’asta principale) già identificati tra le principali aree sorgenti dalla pubblicazione di Vanzo e Largaiolli (1970) “ Il bacino del Cinaga (Trentino) : stratigrafia, tettonica, geomorfologia e idrologia, fenomeni franosi” in Memorie del Museo tridentino di scienze naturali. - Trento. - A.33/34 (1970/1971). Di seguito un estratto delle frane segnalate nel bacino estratto dal dbase IDDI sulla piattaforma IDROGEO-ISPRA

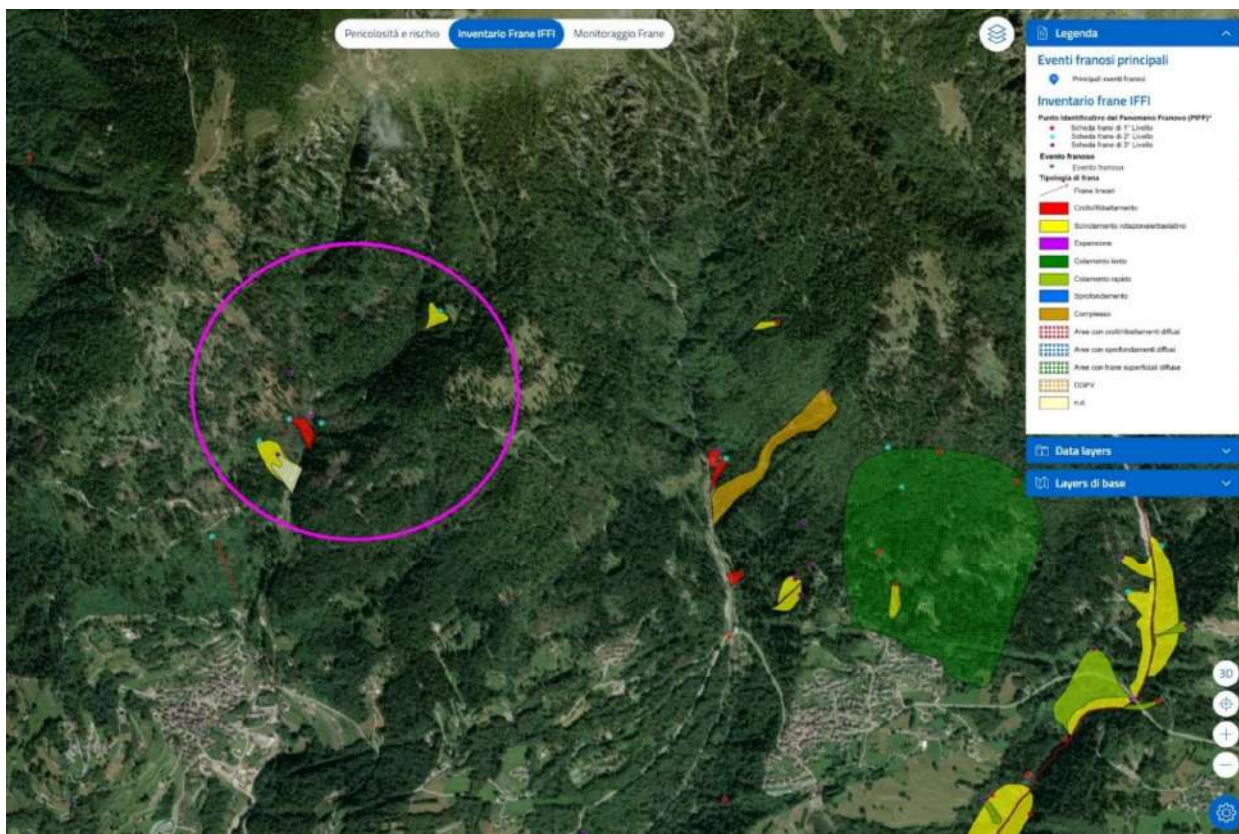


Fig. 1.24 – Fenomeni franosi segnalati entro i. bacino del torrente Cinaga (fonte dbase IFFI – IDROGEO-ISPRA)

ZONA FRANOSA		TIPO DI FRANA	FORMAZIONE GEOLOGICA	CAUSE		INCLINAZIONE DEL PENDIO
N.	AREA (m ²)			PREPARATRICI	DETERMINANTI	
I	4250	Scoscendimento	Morena	Erosione al piede	Scaturigini temporanee	40°
II	750	Crollo	Cornubianti	Atmosferili	Spinte idrostatiche nelle fessure	30°
III	2750	Crollo	Cornubianti	Erosione al piede Atmosferili	Spinte idrostatiche nelle fessure	45°
IVa	1875	Crollo	Cornubianti	Atmosferili Erosione al piede	Spinte idrostatiche nelle fessure	45°
IVb	1000	Fluimento	Detrito comubianitico	Frane a monte	Afflussi idrici Erosione al piede	43°
Va	6000	Crollo	Cornubianti	Atmosferili Erosione al piede Ruscellamento superficiale	Spinte idrostatiche nelle fessure	42°
Vb	4000	Crollo	Cornubianti	Atmosferili Erosione al piede Ruscellamento superficiale	Spinte idrostatiche nelle fessure	38°
Vc	9000	Fluimento	Detrito comubianitico	Frane a monte	Afflussi idrici Erosione al piede	34°

Tab. 1.1 - Quadro riepilogativo delle frane presenti all'interno del bacino del torrente Cinaga). (tratto da G. A. Venzo e T. Largaioli, 1970).

Le principali opere di sistemazione presenti a monte di Samone sono rappresentate, scendendo da monte verso valle, da una serie di opere di consolidamento (briglie), parte in pietra e malta (la cui realizzazione iniziò probabilmente già nell'800 e nei primi '900) e parte in cls armato (quelle più recenti), realizzate con l'obiettivo principale di evitare l'approfondimento dell'alveo e conseguente destabilizzazione delle sponde.

Sono tutt'ora (a novembre 2025) in realizzazione una serie di nuove opere di consolidamento in cls armato (progetto finanziato dalla Prevenzione rischi della PAT) nel tratto d'alveo fino ad oggi scoperto compreso tra le quote 930 e 970 m slm, a monte della grande opera realizzata nel post 1966 (Fig. 1.27-1.28). Questa, pur essendo un'opera di consolidamento, presenta ancora una certa capacità di invaso in quanto non risulta del tutto interrata a monte. Parte di tale capacità è stata però colmata dall'evento del luglio 2021.



Fig. 1.25 – 1.26 - Opere in realizzazione (novembre 2025) nel tratto d'alveo compreso tra 930 e 970 m slm (foto Grisotto S.)



Fig. 1.27 -1.28 - Grande opera in cls armato realizzata dopo l'alluvione del 1966 a quota 886 m s.l.m

A partire dalla quota 780 m s.l.m., il torrente Cinaga è stato confinato in sponda destra da un grande argine in pietrame, che poi diviene continuo anche in sponda sinistra dalla quota 740 m s.l.m. In corrispondenza della quota 780 m s.l.m. il torrente Cinaga cambia direzione planimetrica in maniera evidente, spostandosi sulla parte est del conoide: tale variazione è di natura totalmente artificiale a seguito di un intervento di nuova inalveazione eseguito nel primo dopoguerra, con spostamento dell'alveo sul tracciato del rio Acquaserena. Da quanto ricostruito mediante la sovrapposizione delle mappe storiche con le cartografie attuali, sembra che proprio in questo punto di cambio del percorso, il torrente Cinaga abbia già tentato di proseguire in modo rettilineo, arrivando a lambire l'abitato di Samone (Fig. 1.29).

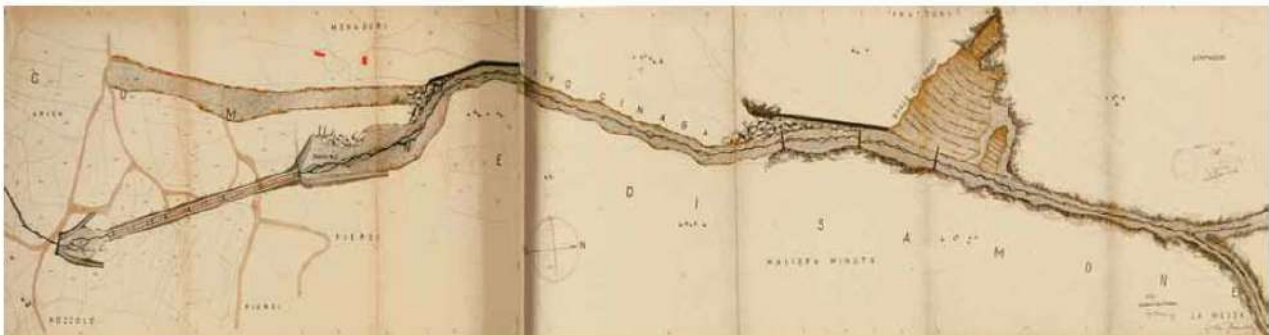


Fig. 1.29 - Planimetria del corso intermedio redatta nel 1928, in cui è evidente un'esondazione avvenuta a monte dell'abitato di Samone e la deviazione del torrente Cinaga eseguita per difendere l'abitato stesso (Cerato M, 1999).

Ciò che salta all'occhio immediatamente sovrapponendo la mappa catastale attuale con quella del progetto del 1928 è come l'area di variante ed il tracciato della nuova bretella si posizionino proprio su quello che un tempo era l'alveo del torrente Cinaga, come visibile nell'immagine che segue. Tale situazione può rappresentare quanto meno un certo campanello di allarme o richiedere comunque valutazioni ben precise soprattutto alla luce del fatto che, naturalmente, i corsi d'acqua, anche se spostati e regimati, non perdono mai (o quasi mai) la tendenza a ritornare sul loro tracciato originario (o almeno, a provarci). E' vero che, in questo caso il grande argine in destra idrografica si presenta ad oggi robusto e più alto di circa un metro rispetto all'argine sinistro, ma è anche vero come sia anche caratterizzato in almeno tre punti da interruzioni per il passaggio di piste e strade interpoderali di collegamento tra sponda sinistra e sponda destra.

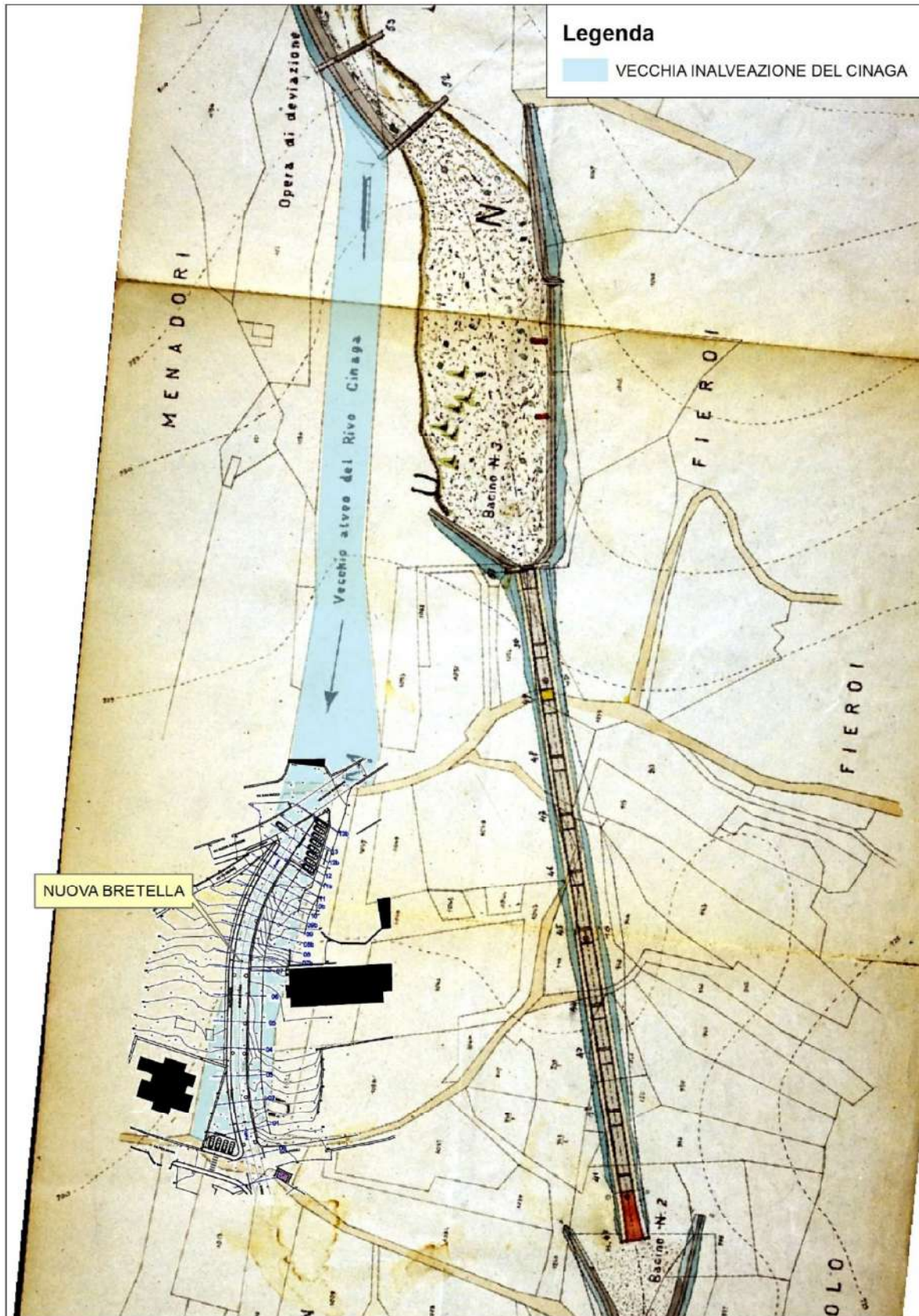


Fig. 1.30 – Sovrapposizione dell'area di variante e tracciato della nuova bretella con il progetto di spostamento dell'alveo del Cinaga datato 1928 (archivio Servizio Bacini montani). L'area ricade su quello che era il vecchio alveo del corso d'acqua.

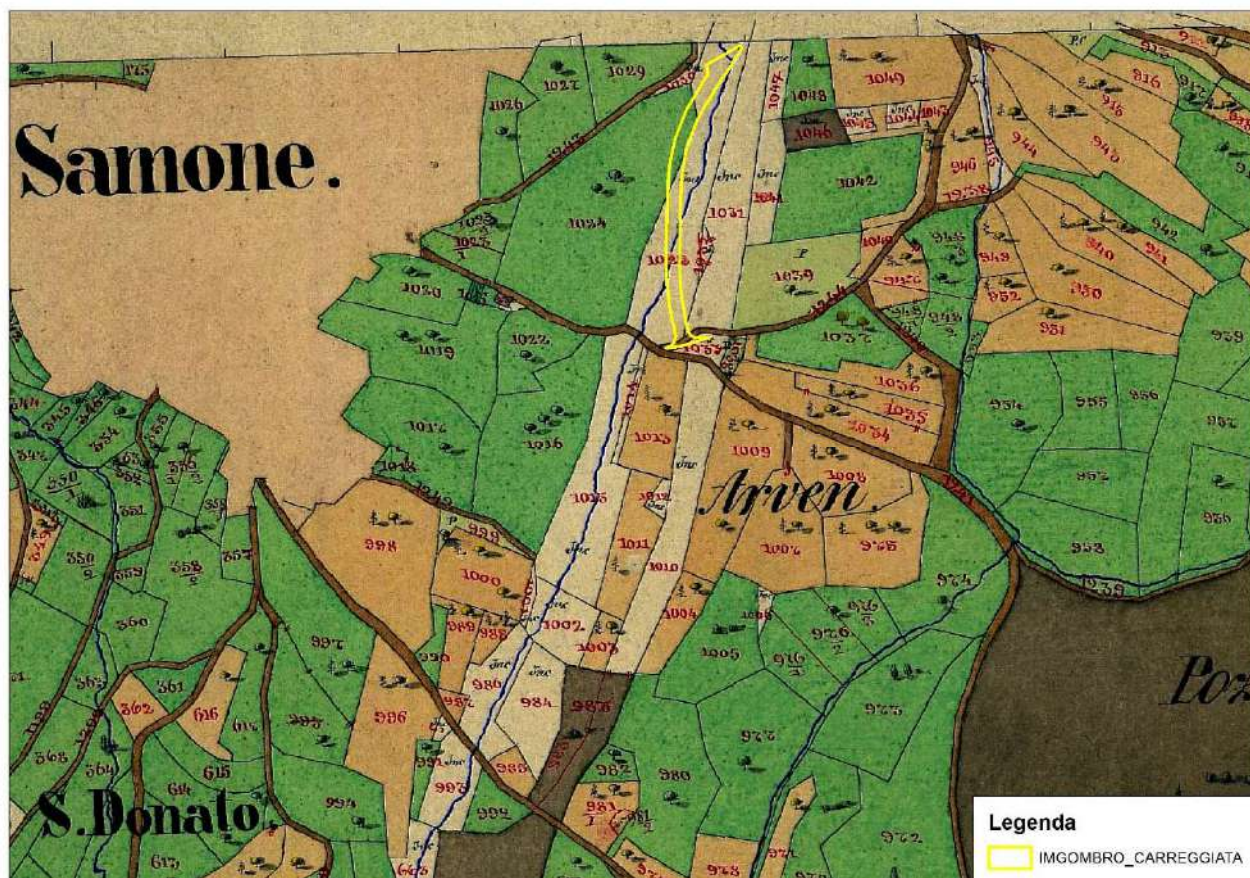


Fig. 1.31 – Mappa castale d’impianto 1859 su cui è evidente il sedime dell’antico alveo del Cinaga

Inoltre, da contatti per le vie brevi avuti con i tecnici della Zona 4 del Servizio Bacini montani, è emerso un curioso e non del tutto tranquillizzante comportamento del corso d’acqua in occasione di uno degli ultimi eventi di piena proprio in corrispondenza della curva dove è stato cambiato il percorso dell’alveo: qui si è registrata, per qualche ora, la quasi completa scomparsa della portata liquida in subalveo; tale comportamento aveva allarmato i tecnici, che pensavano ad uno sbarramento temporaneo più a monte, che invece in realtà non si era verificato. Resta comunque il comportamento strano, soprattutto perché verificatosi proprio in corrispondenza del punto di nuova inalveazione, con scomparsa sotto l’argine della portata.

A valle del punto di cambio direzione inizia un tratto in cui il corso d’acqua scorre confinato fra due imponenti argini in pietrame, interrotti in alcuni punti come detto per consentire il passaggio da una sponda all’altra (Fig. 1.35-1.38).

Parte di questo tratto è stata completamente consolidata anche sul fondo con un selciato in massi e cls per evitare la tendenza all’erosione del corso d’acqua (Fig. 1.33-1.34)



Fig. 1.31 – 1.32– tratto in corrispondenza dell'area ricreativa. Si possono osservare gli imponenti argini alterali e il consolidamento del fondo con una serie di opere in massi.



Fig. 1.33-1.34 – Tratto con selciatoone i massi e cls a monte del secondo guado

L'attraversamento più a monte (guado n. 2) è funzionale al raggiungimento di una casa privata e le proprietà boschive adiacenti, mentre il secondo è a servizio dell'area ricreativa (campo da calcio) localizzato in sponda sinistra (guado n. 1).





Fig. 1.35 -1.38 – Guadi (1 e 2) ed interruzione delle arginature

Un'altra discontinuità nell'arginatura è presente verso la parte finale, dove in sponda destra, di fatto entro la piazza di deposito, trovano spazio alcune strutture adibite per le locali feste paesane.



Fig. 1.39 – 1.40 – Piazza di deposito terminale a monte della briglia a fessura

La sezione si presenta piuttosto ampia (circa 12 – 15 m) e il profilo di fondo è interrotto da piccole soglie in massi (salto a valle di circa 1 m o meno). Al termine di questo tratto è presente una sorta di "briglia a fessura" che contribuisce a restringere notevolmente la sezione ed a convogliare l'acqua nel successivo tratto, costituito da un cunettone in pietrame e cls. Questo tratto, come documentato dagli eventi alluvionali, ha il compito di trattenere parte del sedimento proveniente da monte.



Fig. 1.41 -1.42 – Briglia a fessura a chiusura della piazza di deposito e inizio cunettone.

La piazza di deposito è caratterizzata da un argine in destra idrografica piuttosto sviluppato in lunghezza, che favorisce l'aumento della capacità di invaso.

Sulla base di tutte queste premesse appare quindi più che ragionevole l'attuale perimetrazione sul conoide riportata nella nuova CSP attualmente in vigore (secondo aggiornamento con deliberazione n°1361 del 12 settembre 2025), che classifica l'area di variante e futuro intervento a pericolosità prevalentemente **MEDIA (H3)** per fenomeni torrentizi (Fig. 1.43), con parte in area a pericolosità RESIDUA BASSA (HR2). Data l'importanza e tipologia di intervento previsto, il tipo di utilizzo e destinazione dello stesso, che risultano certamente in livelli di vulnerabilità non trascurabili, trattandosi di una bretella stradale aperta al pubblico transito, appare doveroso un approfondimento delle possibili dinamiche di evento in corrispondenza dell'infrastruttura, sia in condizioni di pericolosità ordinaria che in condizioni di pericolosità residua.

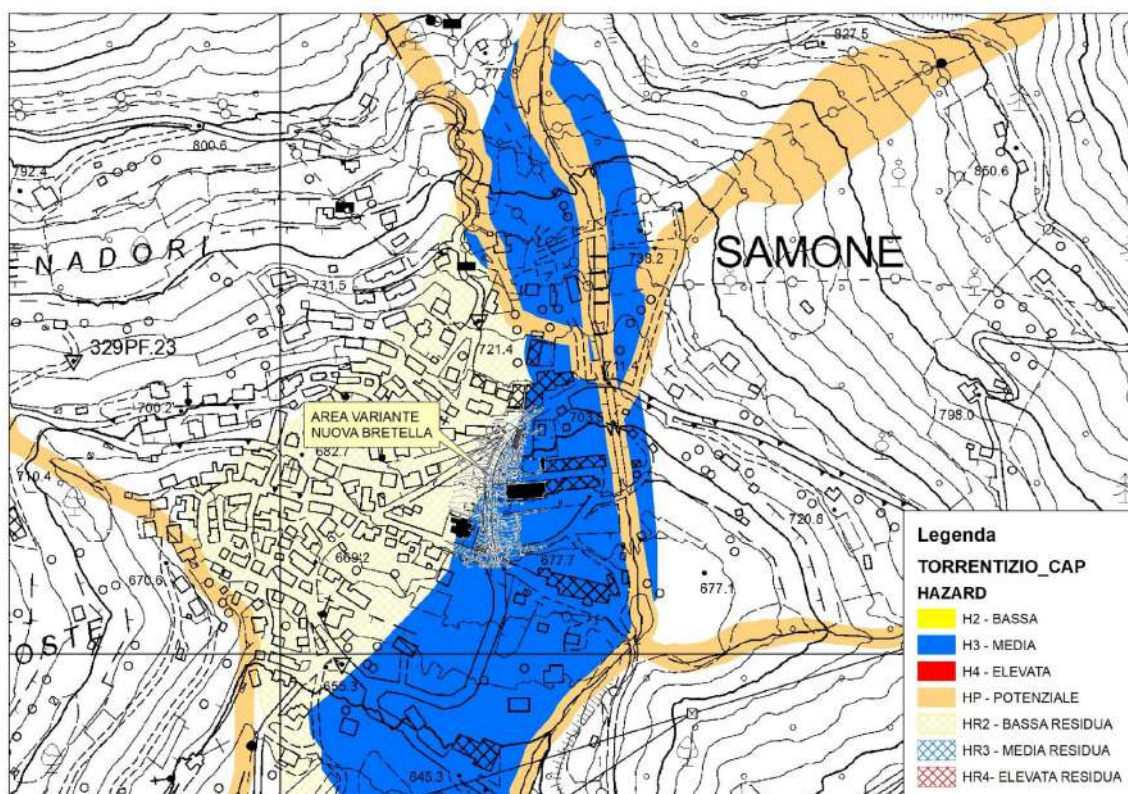


Fig. 1.43 – Estratto nuova Carta della pericolosità idrogeologica per l'area in esame fenomeni torrentizi (H3-HR2) su sfondo CTP

Per la valutazione delle prima si farà riferimento ai dati di simulazione derivanti da un recente approfondimento idrologico-idraulico redatto dal Servizio Bacini montani per l'aggiornamento della nuova CSP (*Michelini T., SBM, 2022*), interpretandone criticamente i risultati sull'area.

Per la valutazione dello scenario di pericolosità residua, di analizzerà invece uno scenario di evento che consideri l'ostruzione parziale dell'attraversamento stradale su Via Nuova superiore.

Sul conoide in esame, classificato da debris flow sulla Cartografia geologica provinciale, sono potenzialmente attesi, in caso di evento critico, prevalentemente fenomeni di piena con trasporto solido molto intenso, anche di massa (colate di detrito); quest'ultima tipologia è più facilmente attesa prevalentemente lungo la parte medio-alta del bacino, data l'elevata pendenza dei versanti e la disponibilità di materiale certamente non trascurabile (nell'ordine delle decine di migliaia di metri cubi), cui si possono aggiungere fenomeni di franamento, erosione lineare, ripulitura e destabilizzazione spondale. Attraverso il conoide sono più facilmente da attendersi fenomeni di piena iperconcentrata, anche per l'azione di laminazione da parte delle sistemazioni presenti cui si dovrebbero associare importanti fenomeni deposizionali, con una probabile trasformazione del fenomeno nella sua propagazione lungo il corso dell'asta torrentizia, come già verificato in occasione dell'evento del luglio 2021.

2. INQUADRAMENTO GENERALE DEL BACINO IN STUDIO: GEOLOGIA, MORFOMETRIA, USO DEL SUOLO (parzialmente tratto da Sonda D., 2005)

Il Rio Cinaga è uno dei principali collettori che solcano il versante sinistro della Valsugana ed è uno degli affluenti principali del torrente Chieppena. Il bacino complessivo, chiuso in corrispondenza della piazza di deposito poco a monte di Via Nuova superiore, si sviluppa su una superficie complessiva di circa **1.88 km²**, raccogliendo le acque provenienti dalle ripide pendici della dorsale Monte Frattoni – Monte Cima – Monte Tauro.

Nella parte medio-bassa, a valle di Samone, la definizione dello spartiacque è incerta a causa delle sistemazioni agrarie che hanno alterato i deflussi superficiali.

Dal punto DI vista forestale, il bacino presenta un assetto vegetazionale fortemente condizionato da morfologia, fertilità dei suoli e pratiche silvo-pastorali e agricole, passate e recenti. Le aree di fondovalle, un tempo occupate da querce, pioppi, frassini, aceri e cenosi riparie ad ontani e salici, sono state quasi del tutto sostituite da coltivazioni e insediamenti. Le fasce riparie sono ridotte e semplificate, dominate dalla robinia, gestita a ceduo con turni brevi, con poche specie autoctone residue. Nella parte medio-bassa permangono solo relitti di castagneti, conservati per la produzione di castagne. Sui versanti basali più ripidi compaiono formazioni termofile di orno-ostrieti e ostrio-querzeti, spesso invasi dalla robinia, anche su ex coltivi ed ex castagneti. A est di Samone sono presenti pinete a pino silvestre naturale miste a rimboschimenti di pino nero. Sopra le zone urbanizzate (quindi entro il bacino indagato) prevale il bosco montano a abete rosso, con larice e un sottobosco di castagno, rovere, faggio e nocciolo. Alle quote maggiori dominano abeti rossi, pascoli d'alta quota e rupi, ma il larice sta invadendo le aree di alpeggio abbandonate, riducendo i pascoli. Anche se non direttamente colpito dalla tempesta "Vaia", la copertura del bacino ha subito l'attacco della successiva epidemia di bostrico (*Ips typographus*) che ha intaccato a macchia di leopardo entrambi i versanti della valle, richiedendo localmente importanti tagli a raso di sgombero. Nel complesso, comunque, la copertura rimane ancora percentualmente buona ed efficiente dal punto di vista idrologico, tranne nelle zone di testata ove prevalgono gli affioramenti rocciosi e le risposte sono controllate prevalentemente dalla morfologia più che dalla copertura.

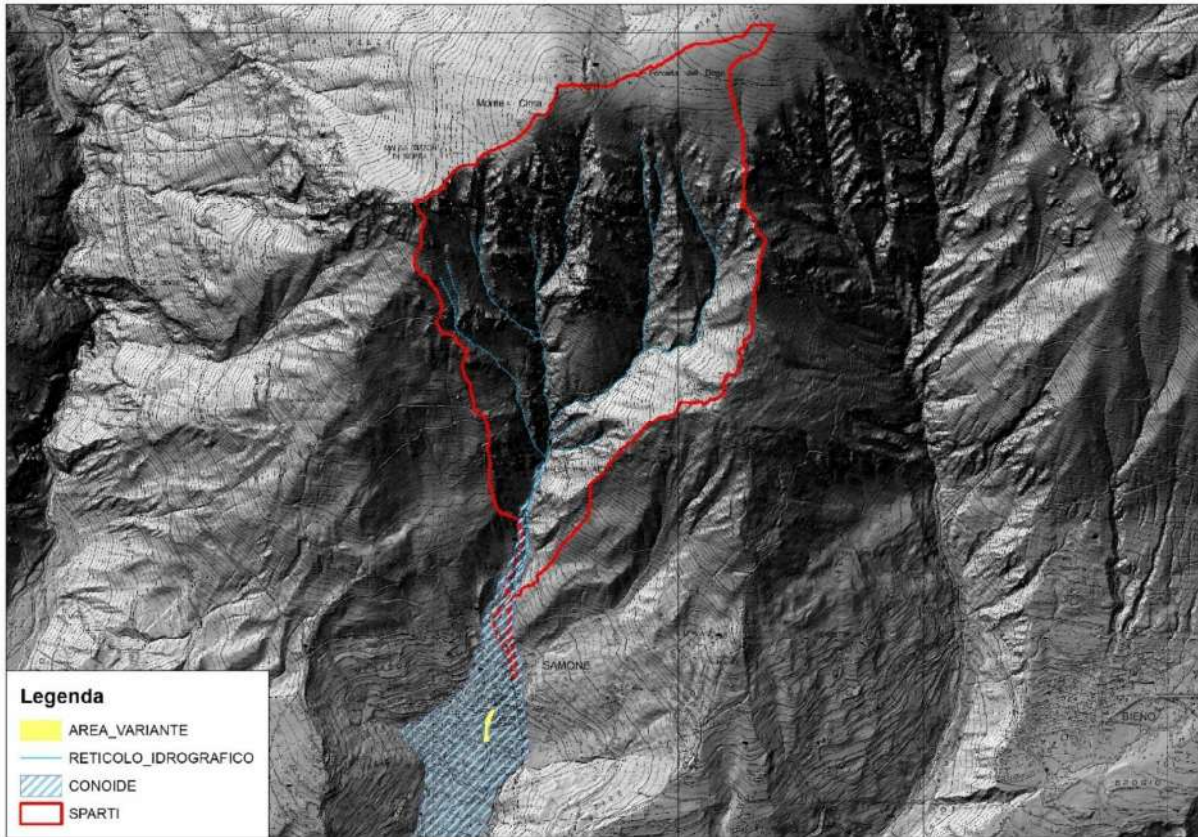


Fig. 2.1 – Inquadramento del bacino, del conoide e dell'area su cui è prevista la variante urbanistica su Hillshade LIDAR.

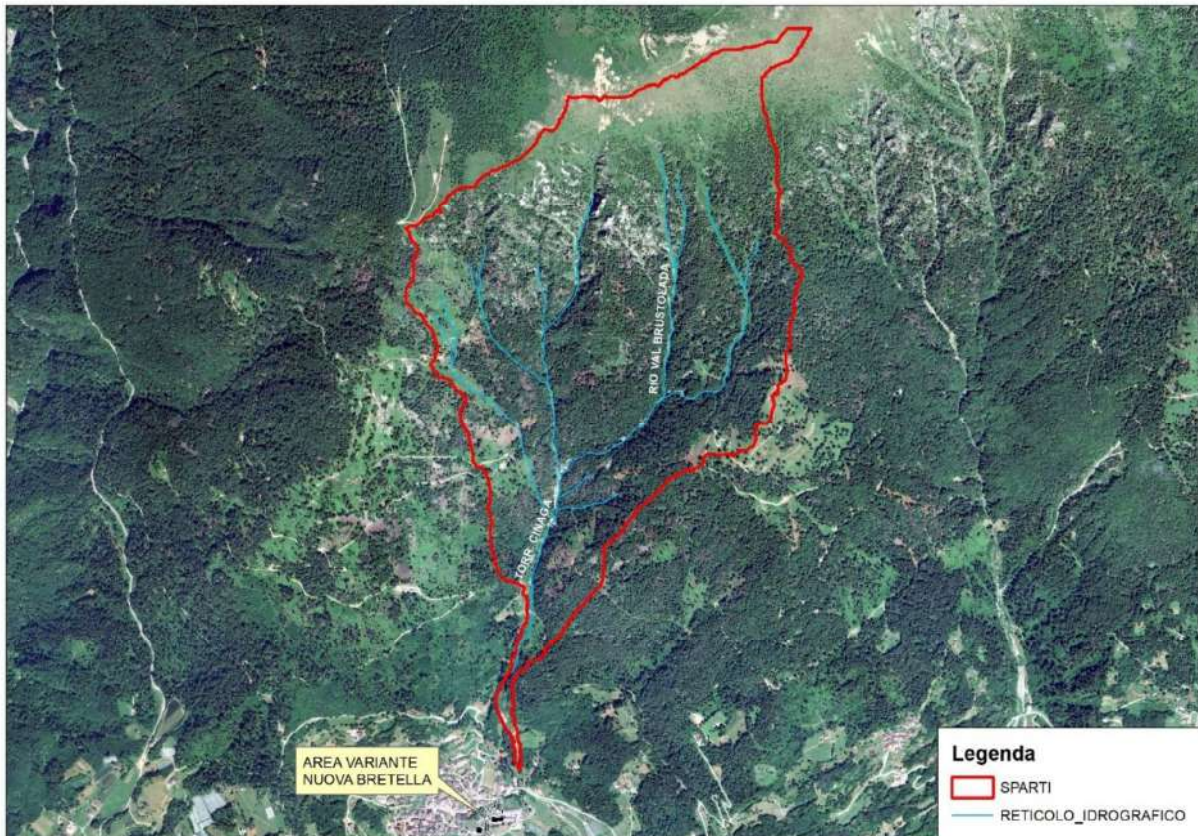


Fig. 2.2 – Inquadramento del bacino complessivo so ortofoto Google satellite 2025

Dal punto di vista geologico e geomorfologico, come evidenziato in Venzo e Largaiolli (1970) e in Sonda (2005), del bacino del torrente Cinaga è impostato su cornubianiti pre-permiane derivate da filladi quarzifere, sottoposte a metamorfismo di contatto legato all'intrusione granitica di Cima d'Asta.

Tali formazioni risultano compatte e dure in prossimità del contatto granitico, mentre verso sud la compattezza diminuisce, con forte fessurazione, milonitizzazione e suddivisione in blocchi e frammenti, con conseguente aumento locale dell'erodibilità.

Nella parte alta del versante affiorano graniti tardo ercinici di Cima d'Asta, a composizione quarzo-feldspatica con biotite, struttura per lo più porfirica e intenso frazionamento tettonico; l'alterazione spinta dei feldspati produce localmente sabbia granitica.

I depositi quaternari sono rappresentati prevalentemente da morene e depositi fluvio-glaciali würmiani sabbioso-ghiaiosi a bassa percentuale limoso-argillosa, da estesi detriti di falda cornubianitici (da ciottolosi a blocchi metrici su versanti 30–35°) e dalle alluvioni attuali del fondovalle, costituite da sabbie quarzose, ciottoli e massi cornubianitici e granitici, con granulometria decrescente da monte verso valle.

L'assetto tettonico comprende molte faglie minori e sistemi di fratture attribuiti alla fase tardo ercinica, su cui si sovrappone una grande faglia alpina E–O (prosecuzione della faglia di Lunazza), responsabile di contatti anomali e di marcata anisotropia strutturale.

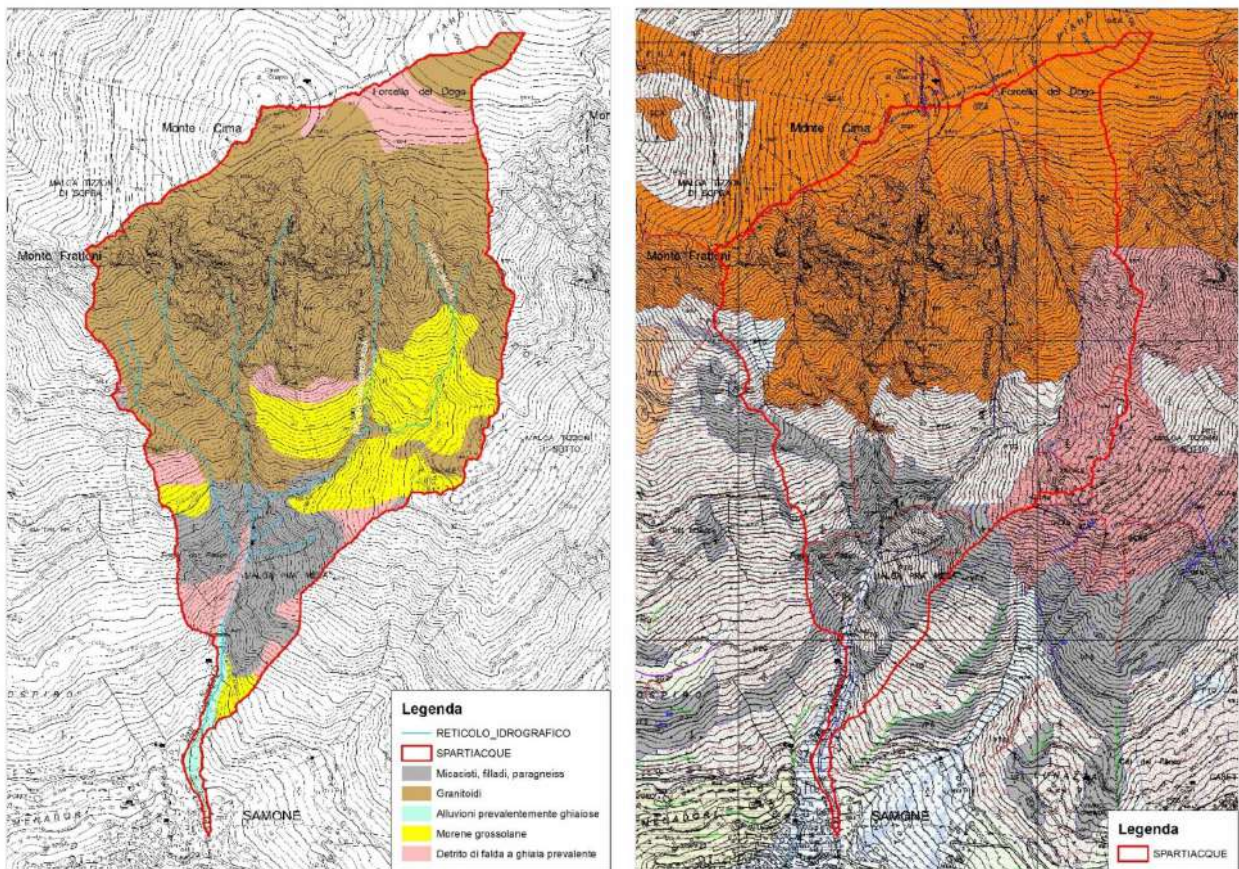


Fig. 2.3-2.4 – Carta geologica e dei lineamenti strutturali (Fonte Servizio Bacini montani e Servizio Geologico PAT - CARG Ispra)

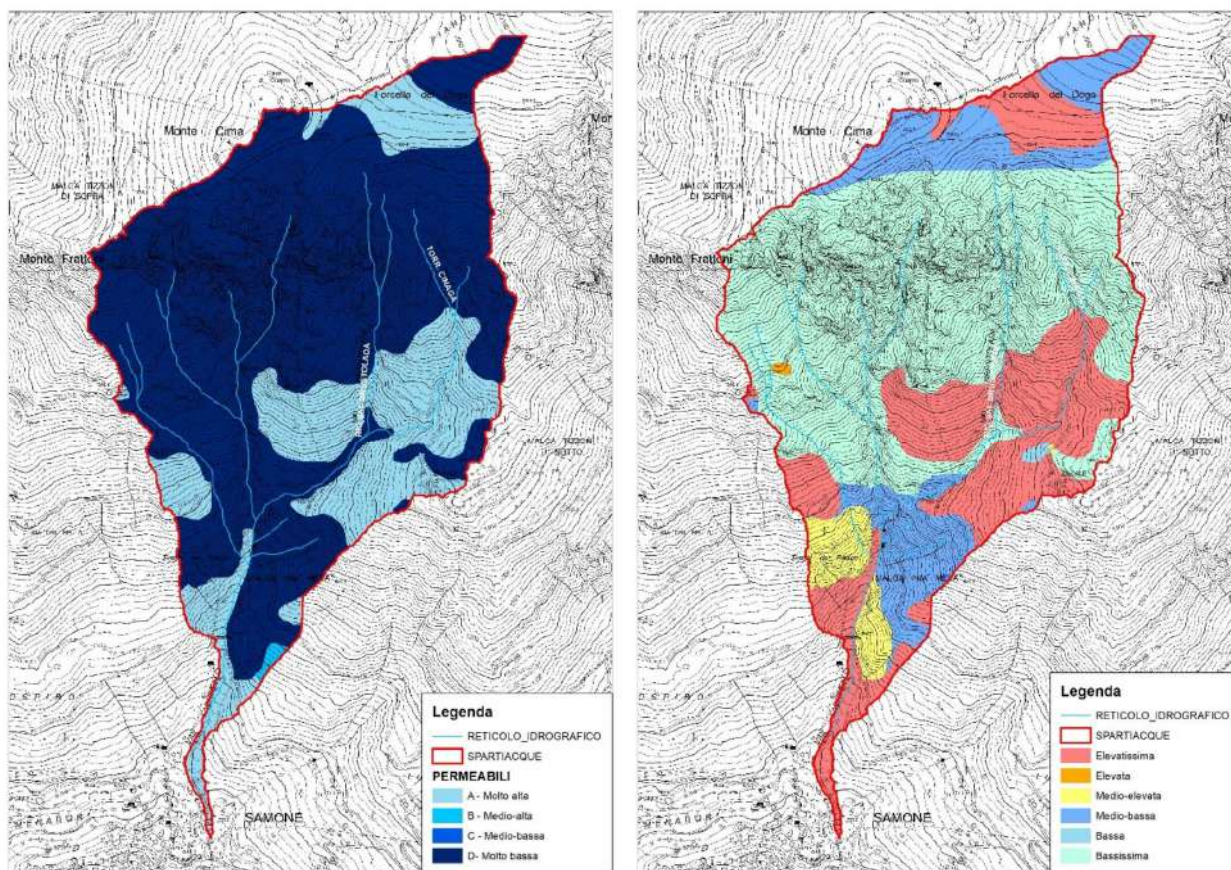


Fig. 2.5 – 2.6 – Carta della permeabilità Gruppi idrologici SCS ed erodibilità dei substrati – (Fonte Servizio Bacini montani)

La rete idrografica che solca il bacino è semplice, costituita da elementi prevalentemente del I° e II° ordine secondo Strahler e in fase di lenta ma progressiva incisione: nei tratti più in quota i profili presentano elevate pendenze di fondo (fino a oltre 40–50°) che impediscono di fatto il deposito di grandi quantità di materiale, favorendo di fatto soli fenomeni di erosione lineare per ripulitura; intorno alla quota 1085 m s.l.m. (zona Prese del Pisson) è invece presente un evidente cambio della pendenza che scende bruscamente a valori intorno ai 20°, che va via via riducendosi fino a 10° circa intorno alla quota 720 m slm, ove compaiono i primi depositi alluvionali significativi.

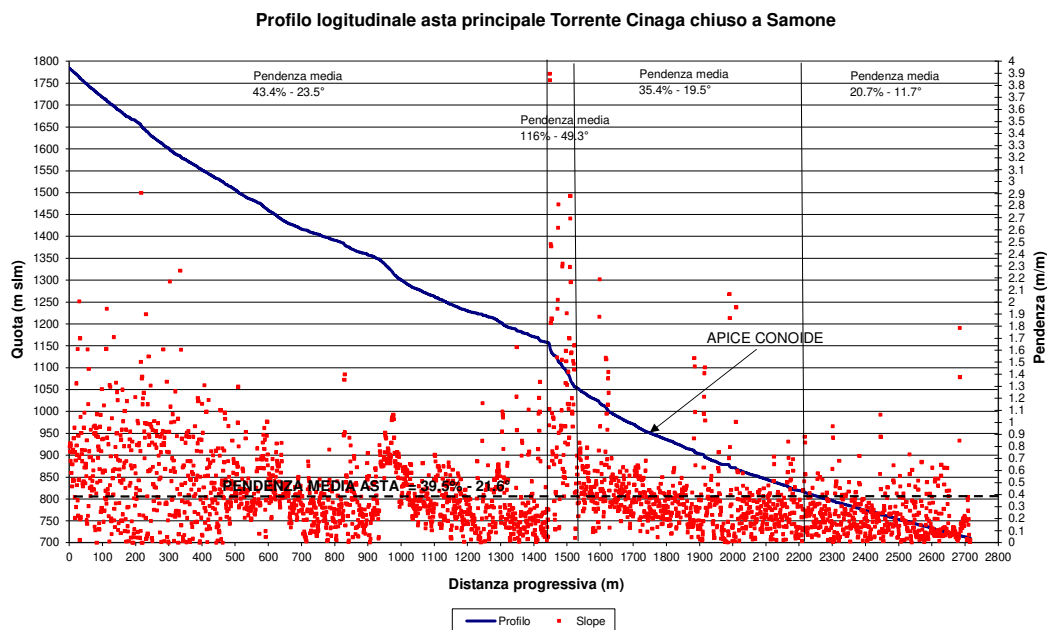


Fig. 2.7 – Profilo longitudinale dell’asta principale chiusa a Samone

Morfologicamente, il settore granitico è caratterizzato da versanti ripidi, vallecicole incise e pinnacoli separati lungo i piani di frattura; nelle cornubianiti le forme sono più accidentate vicino al contatto magmatico e via via più dolci verso sud, con erodibilità che passa da molto bassa a localmente altissima nelle zone intensamente tettonizzate e incoerenti. I litotipi incoerenti quaternari (morene, fluvioglaciale, detrito di falda e alluvioni attuali) sono da considerarsi a erodibilità sistematicamente molto elevata.

Partendo da un DTM 1x1 m dell’area, derivante dall’interpolazione del più preciso DTM LIDAR 0.5x0.5 m, si è estratto il bacino completo ed i due diversi sottobacini e se ne sono estrapolate le principali caratteristiche morfometriche ed idrografiche, di seguito riportate (Tab. 2.1)

	BACINO TORR. CINAGA	U.m.
Superficie totale del bacino (2D-3D)	1.88	km ²
Quota minima	720	m s.l.m.
Quota media	1544	m s.l.m.
Quota massima	2109	m s.l.m.
Pendenza media	95.6-43.7	%- °
Pendenza massima	2144-87.3	%- °
Lunghezza asta principale	2.71	km
Pendenza media dell’asta principale	39.5-21.6	%- °
Lunghezza complessiva reticolo drenaggio	7.46	Km
Densità di drenaggio complessiva	3.96	km/km ²
Tempo di propagazione (Ferro, 2003)	0.92	ore
Tempo di propagazione (metodo cinematico) Med-max	0.80 – 3.56	ore
N° di Melton	1.01	
Pendenza media del conoide	19.9-11.2	%-°

Tab. 2.1 – Principali dati morfometrici e idrografici del bacino indagato chiuso a quota 720 m

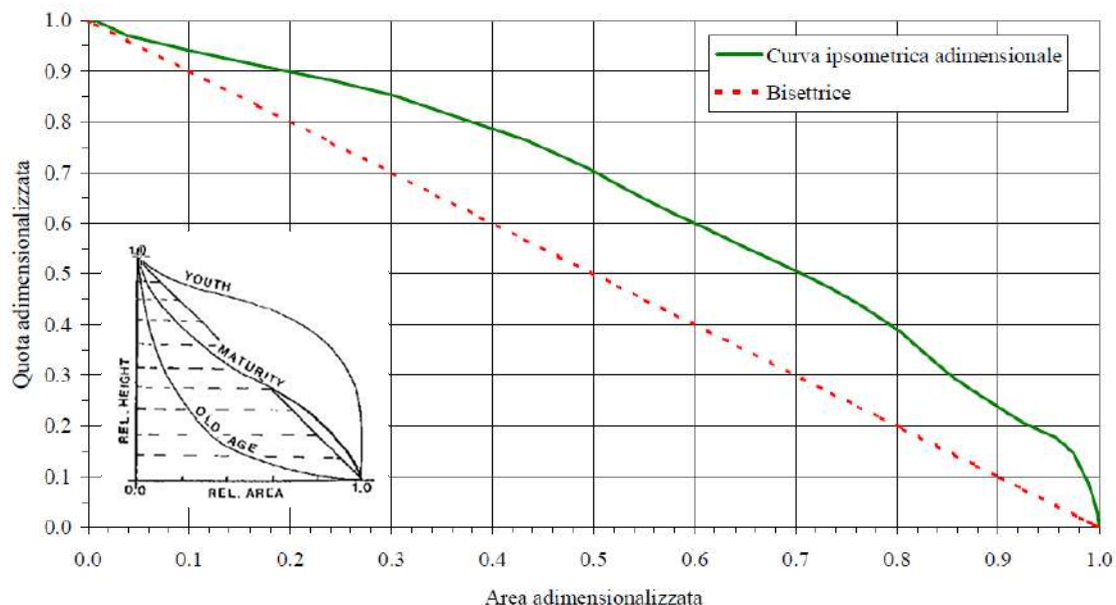


Fig. 2.8- Curva ipsometrica adimensionale del bacino e classificazione secondo Scheidegger.

Dal punto di vista prettamente morfometrico, come si evince dall'analisi delle curve ipsometriche adimensionali sopra riportate, si tratta di un bacino nel complesso ancora abbastanza giovane, sul quale è quindi da attendersi ancora un relativo disequilibrio tra fenomeni di erosione e deposizione con importanti fenomeni di rimodellazione, soprattutto in termini verticali (approfondimento dell'alveo).

La presenza di una importante testata a forte pendenza e ove la componente rocciosa superficiale o sub-affiorante diviene prevalente, favorisce risposte alla precipitazione più intense e rapide. Sugli affioramenti rocciosi, infatti, quando le intensità di precipitazione risultano molto alte superando la capacità di infiltrazione del suolo (prevalenza di meccanismi di formazione del deflusso di tipo *Hortoniano*), portano alla formazione di abbondante deflusso superficiale (*overland flow*) che si incanala facilmente lungo le crepe e le vallecole diventando in breve tempo flusso canalizzato (*channelized flow*). Esperimenti svolti da *Gregoretti et al.* (2016) su alcuni piccoli bacini dolomitici con testata in roccia hanno evidenziato come su questi il deflusso superficiale possa raggiungere valori di velocità anche molto elevati, compresi tra 0.1 e 0.7 m/s, e quindi di un ordine di grandezza superiore ai valori medi normali su aree del bacino caratterizzate da altre coperture del suolo e pendenza (valori medi 0.02-0.04 m/s), che si tramutano in risposte alla precipitazione assai rapide e "violente".

Si tratta, nel complesso, di un bacino dalle caratteristiche idrogeologiche e morfometriche che favoriscono la produzione di deflussi superficiali piuttosto importanti: la permeabilità dei substrati risulta infatti prevalentemente da bassa a molto bassa. Come detto, inoltre, le elevate pendenze e le vaste aree di roccia affiorante che caratterizzano i fianchi vallivi e la testata possono contribuire a favorire risposte alla precipitazione abbondanti e violente.

La formazione di deflussi abbondanti può inoltre essere in parte favorita da un regime climatico ed idrologico dell'area che certamente favorisce, generalmente, i fenomeni piuttosto intensi: siamo in una zona, tra le più piovose della Provincia di Trento, che subisce l'influenza delle correnti calde e umide provenienti dalla pianura e che, soprattutto nel periodo estivo, favoriscono anche la formazione di temporali molto brevi e violenti. Dall'analisi della documentazione rinvenibile negli archivi del Servizio Bacini montani degli eventi storici di cui si hanno notizie emerge comunque come il bacino si sia attivato con ingente trasporto solido in occasione, più che di scrosci isolati, di piogge intense all'interno di un periodo di elevata umidità antecedente.

La configurazione geomorfologica sopra descritta influenza fortemente anche la cosiddetta *Sediment Connectivity* all'interno del bacino (Fig. 2.9-2.10), ossia il grado di collegamento che controlla il flusso dei sedimenti tra le diverse aree sorgenti e la sezione di chiusura.

Applicando al bacino un recente approccio proposto da *Cavalli et al.* (2013) per il calcolo dell'indice di connettività tra i versanti e la sezione di chiusura del bacino, si nota in maniera piuttosto evidente come gran parte del bacino presenti valori di connettività sopra la media, tranne nella zona di testata in sinistra idrografica (Forcella del Dogo) ove l'indicatore risulta mediamente da basso a molto basso evidenziando di fatto l'impossibilità per il detrito ivi presente di raggiungere la sezione di chiusura; entro l'asta principale e i principali collettori effimeri secondari si registrano valori di connettività sopra la media quasi ovunque: trattasi quindi prevalentemente delle zone del bacino, che per pendenza e caratteri geomorfologici ed erodibilità (molto elevata), risultano anche quelle più facilmente capaci di rifornire il corso d'acqua con volumi solidi, anche non trascurabili. Scendendo verso valle, a partire dalla quota 950 m circa (apice conoide) si nota invece un deciso aumento delle zone a ridotta connettività, che corrispondono anche a zone ove è più facile la deposizione del materiale.

Interessante notare come in corrispondenza dei principali fenomeni franosi presenti nel bacino l'indicatore evidenzia valori di connettività sopra la media, confermando come eventuali fenomeni qui generati possano essere più o meno facilmente veicolati alla sezione di chiusura.

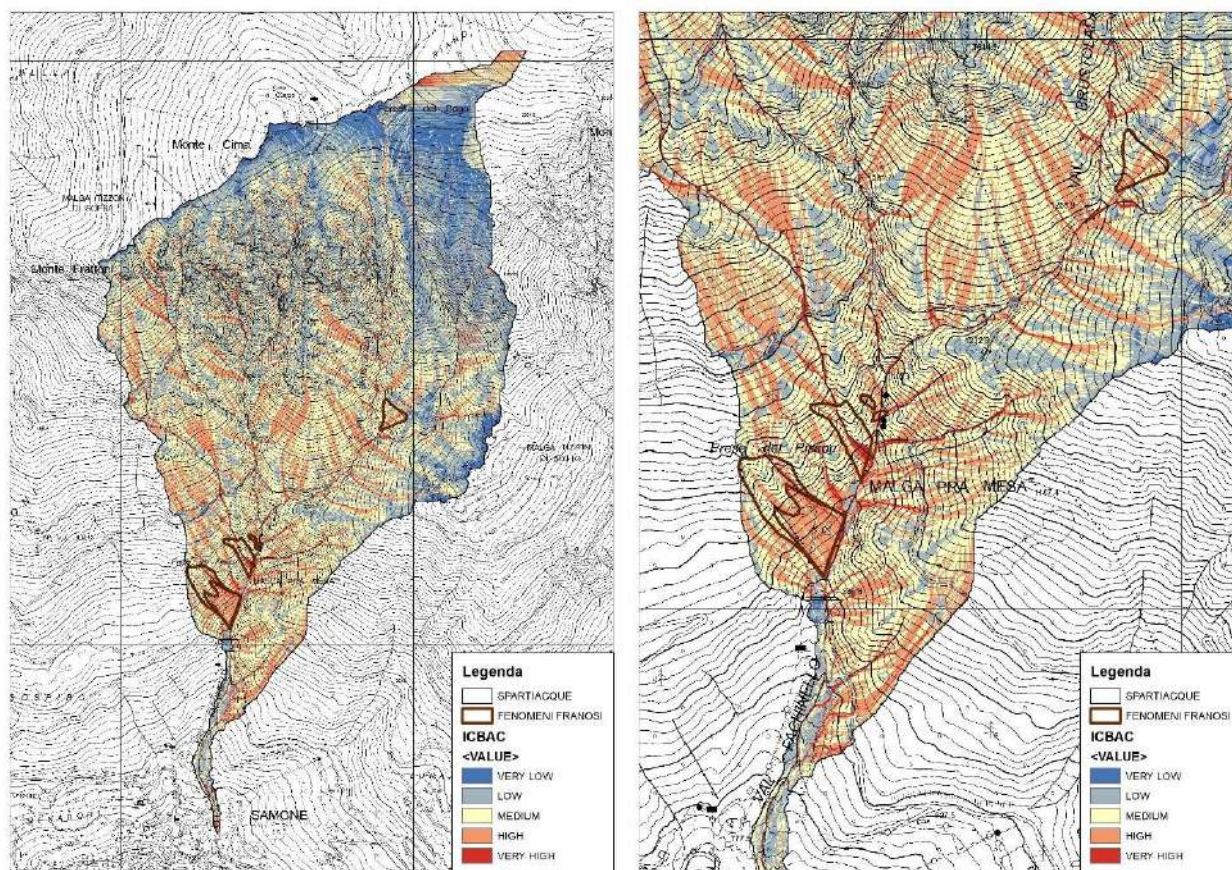


Fig. 2.9 -2.10 – Sediment connectivity index nel bacino ed in corrispondenza delle principali aree franose

Una conferma, seppur qualitativa, di quanto sopra riportato ci viene fornita anche dall'applicazione della metodologia per l'identificazione preliminare dei tratti d'alveo potenzialmente soggetti a colata detritica sviluppata per il Servizio Bacini montani dal CNR-IRPI di Padova (2006).

La metodologia consente di estrarre, dalla rete idrografica sintetica (estrazione con superficie di soglia pari a 2 ha) i possibili punti di innesco di colate detritiche, sulla base di una relazione tra pendenza locale e area drenata derivata empiricamente da Zimmermann et al. (1997) a partire da diversi eventi di colata in territorio svizzero (*Wichmann and Becht, 2005*):

$$S = 0.32A^{-0.2}$$

dove S è la pendenza locale (m/m) e A l'area contributiva a monte (km²).

Questo approccio trova il suo fondamento sul fatto che, ipotizzando non limitante la disponibilità di materiale movimentabile (ed in questo caso non lo è), l'innesco di una colata detritica canalizzata dipende dal superamento di valori critici di portata e pendenza. Per valori di pendenza > 38° si è invece assunto che la quantità di materiale mobilizzabile sia modesta o trascurabile. Tutti i pixel del reticolo sintetico che non risultano essere potenziali punti d'innesco sono stati classificati nelle categorie propagazione (>8°), rallentamento (3-8°) e deposito (< 3°) sulla base di semplici valori di soglia della pendenza locale reperiti in letteratura (*Vandre, 1985; Benda, 1985*). Un'ulteriore elaborazione che arricchisce l'informazione puntuale delle celle individuate come possibile innesco di colata può essere fornita da una mappa di densità dei punti d'innesco; tale elaborazione, incrociata con le zone di roccia affiorante o sub-affiorante ove non sono

attesi fenomeni di accumulo significativi, permette di individuare quali sono le zone all'interno del bacino in cui maggiore è la densità dei punti d'innesci (*kernel density*) dei fenomeni di colate per destabilizzazione progressiva dell'ammasso saturo o parzialmente saturo.

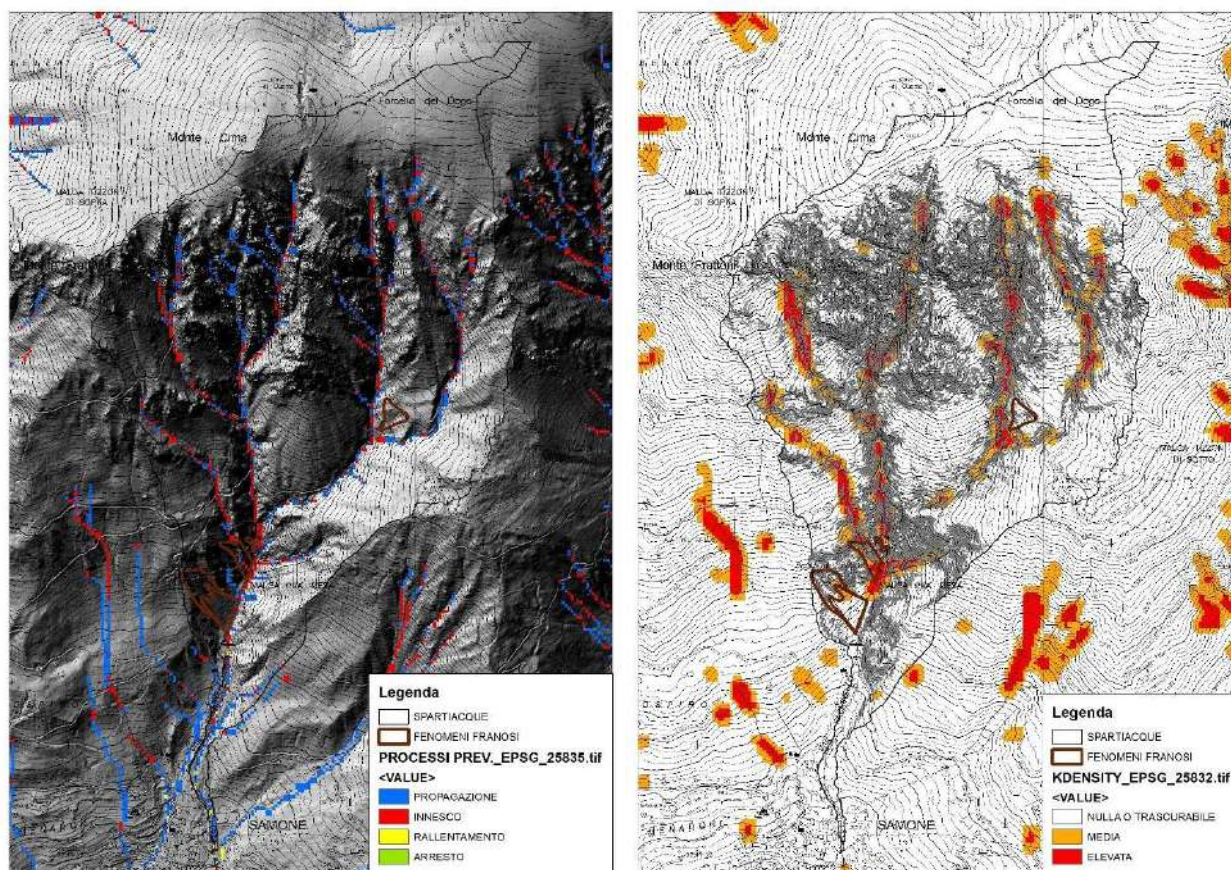


Fig. 2.11 -2.12 - Fenomeni prevalenti lungo il reticolo idrografico sintetico e Densità dei potenziali punti d'innesci di fenomeni di trasporto solido massivo

I raster dei fenomeni prevalenti e della densità d'innesci in Fig. 2.11-2.12 evidenziano in maniera piuttosto chiara come i fenomeni di innesci del trasporto solido di massa (colate di detrito), con meccanismi di innesci di tipo "idrologico" (destabilizzazione dell'ammasso saturo o parzialmente saturo per aumento del deflusso) si concentrino prevalentemente a monte di quota 950 m s.l.m. e della grande briglia in cls realizzata nel 1966 (nel tratto ove ora si stanno realizzando altre 3-4 nuove opere di consolidamento) nonché in tutti i canali della zona di testata. Tale informazione però è solo in parte corretta, in quanto il metodo considera zone non di innesci tutti i tratti sistemati: ciò ovviamente è vero finché le opere sono efficienti: come già visto, però, data la vetustà di molte opere presenti all'interno dell'asta, tale condizione non sembra poter essere del tutto garantita.

La struttura conoidale edificata dal torrente Cinaga nel corso dei secoli risulta ben identificabile dall'analisi morfologica su base LIDAR, anche se è stata parzialmente modificata dall'attività antropica edificatoria ed agricola. Sono comunque ben interpretabili le zone a maggiore deposizione di fenomeni di trasporto solido a maggior concentrazione ove i depositi presentano pendenze di arresto e deposizione nell'ordine dei 8-12° nella parte apicale del conoide e la zona caratterizzata da deposizione di fenomeni a minore concentrazione con pendenze di arresto tra 4-8°, che comunque

interessano gran parte dell'abitato di Samone. Solo nella parte distale del conoide, oltre Strigno, i valori di pendenza si attestano su un range tipico della deposizione di fenomeni a bassa e bassissima concentrazione.

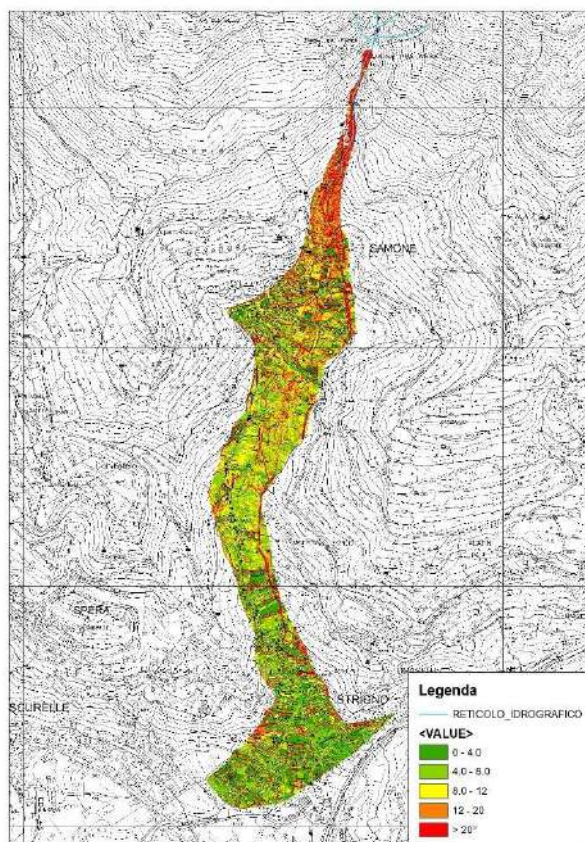


Fig. 2.13 – Conoide e pendenza locale

Incrociando il valore di pendenza media del conoide morfologico con quello del numero di Melton ($Me = \text{Dislivello bacino}/\text{Area bacino}^{0.5}$) del bacino (vedi Tab. 2.1), si può prevedere almeno qualitativamente quale può essere stata la forma di trasporto più probabile principale che ha generato il conoide stesso. Nel caso in esame (Fig. 2.14) il bacino presenta una combinazione dei valori tipica conoidi generati da prevalenti fenomeni di piena iperconcentrata, anche se tendenti alle colate di detrito. Da questo un'ulteriore conferma di quelli che potrebbero essere i fenomeni attesi con maggiore probabilità.

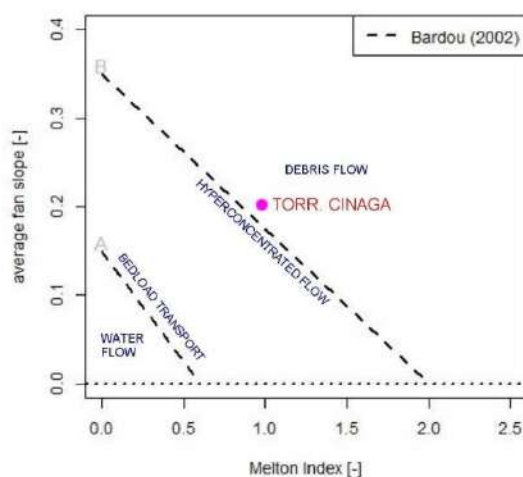


Fig. 2.14 - Previsione della forma di trasporto più probabile sulla base della pendenza del conoide e del n° di Melton del bacino (Bardou, 2002)

3. CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE E GEOTECNICHE DEI MATERIALI E LORO POSSIBILE INFLUENZA SULLA REOLOGIA DEI FENOMENI ATTESI.

Il materiale presente nel bacino e coinvolto nei fenomeni di colata detritica risulta abbastanza uniforme e costituito da una parte più grossolana rappresentata da una ghiaia grossa con massi, a cui si unisce un'abbondante matrice più fine a prevalente granulometria sabbioso-limosa. Non sembra invece esserci presenza di argilla. Per la definizione dei diametri caratteristici da utilizzarsi per le successive analisi di trasporto solido nel tratto terminale, ove una certa selezione granulometrica è già avvenuta, si fa riferimento a tre curve derivanti da un'analisi fotografica eseguita mediante l'applicativo BASEGRAIN.

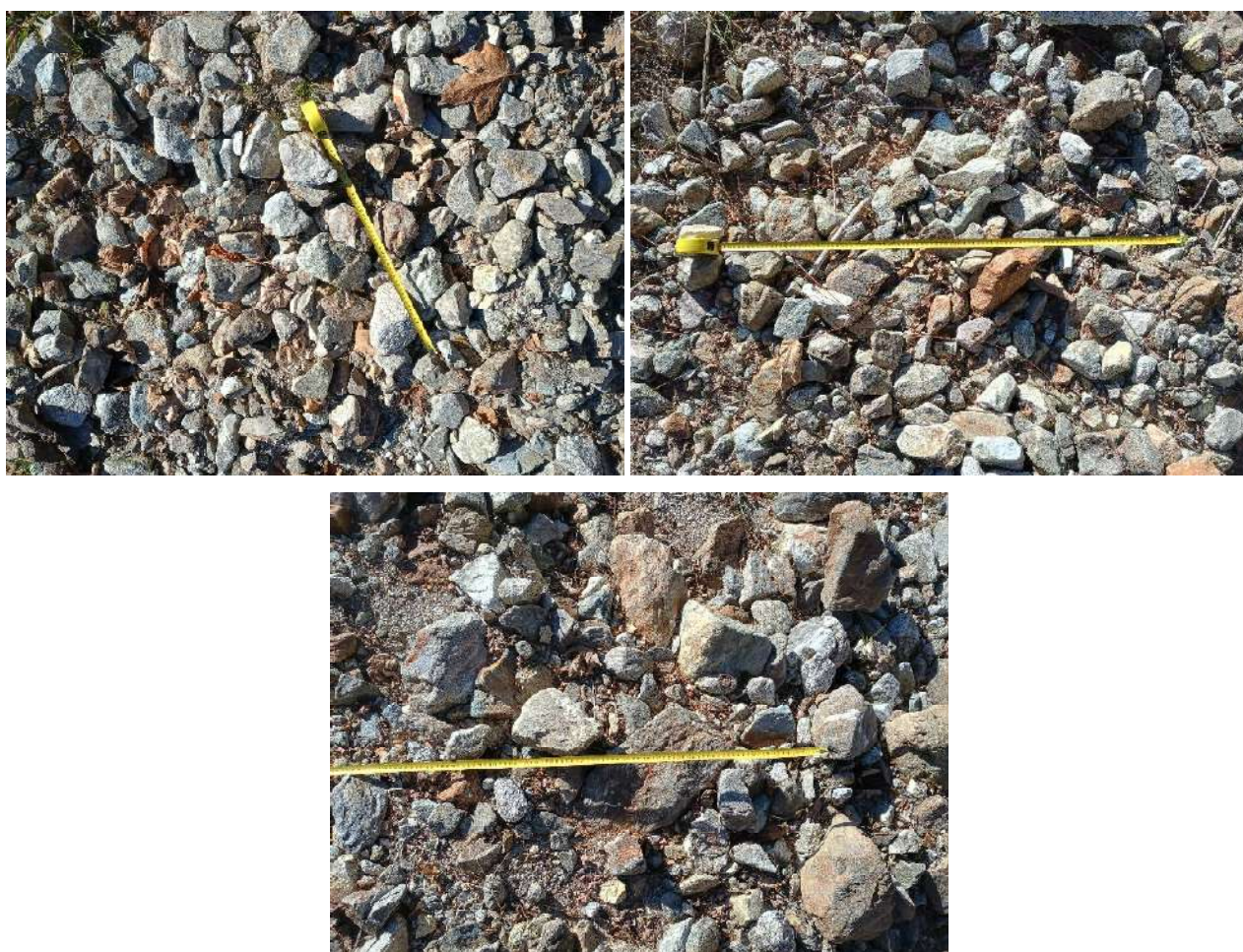


Fig. 3.1-3.3 – Campioni di deposito analizzati con BASEGRAIN

Unendo le tre curve, per l'analisi di complessivi 500 clasti, i diametri caratteristici della distribuzione granulometrica superficiale risultano i seguenti:

D10 (mm)	D30 (mm)	D50 (mm)	D90 (mm)	Dmedio (mm)	N_clasti
25.1	37.0	47.9	82.6	52.1	500

Tab. 3.1 – Diametri caratteristici della distribuzione granulometrica superficiale in corrispondenza della piazza di deposito al Parco Laresoti

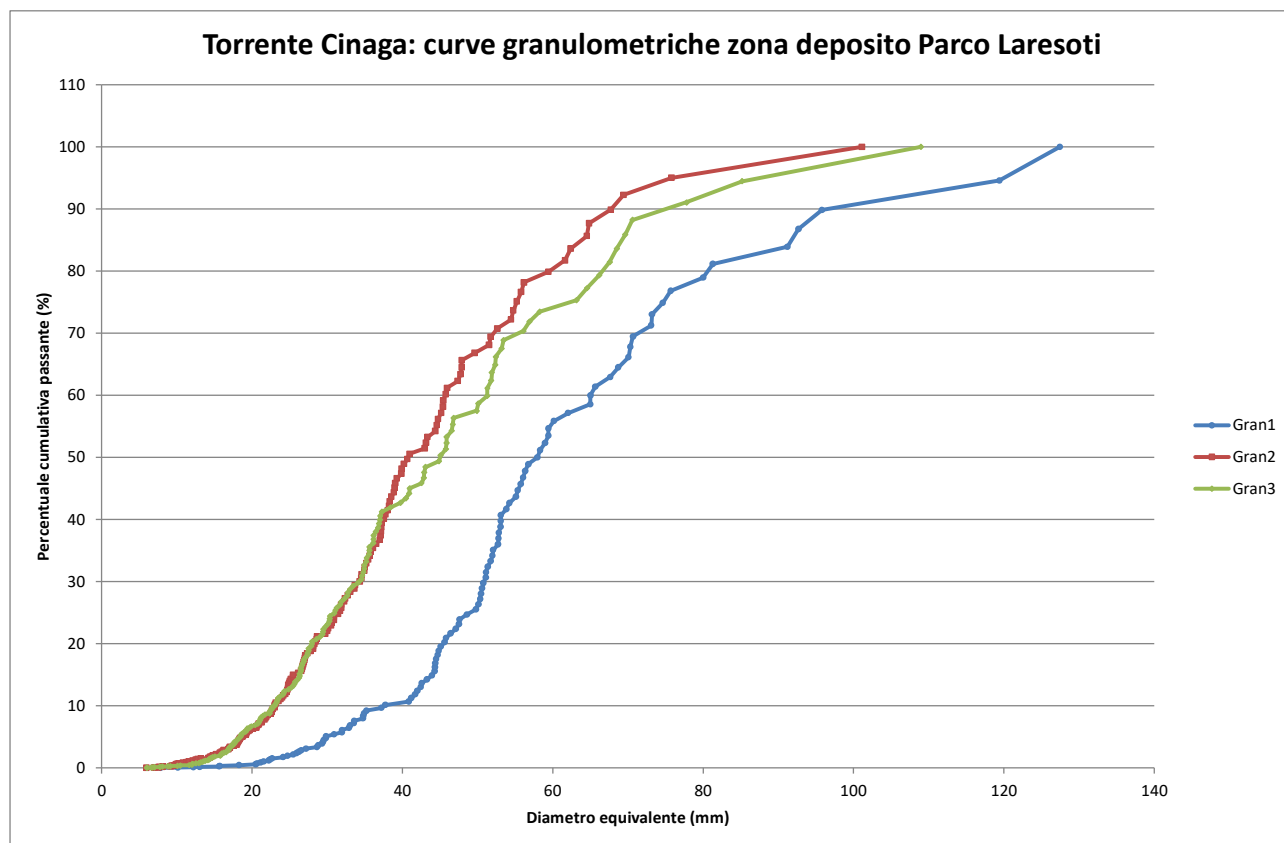


Fig. 3.4 – Curve granulometriche numerali sul torrente Cinaga al Parco Laresoti (Grisotto S., 2025)

Una così ridotta frazione fine limoso-argillosa (il fine è prevalentemente sabbioso) non sembra in grado di fornire al miscuglio un'elevata plasticità e viscosità in condizioni di saturazione, evidenziando come i fenomeni più probabili in arrivo sul conoide siano delle colate di detrito abbastanza granulari e poco fangose, anche con coinvolgimento di materiale di dimensioni più elevate (massi), come evidenziato dal rilievo effettuato, anche con dimensioni massime vicine al metro, almeno nella parte alta del conoide.

Un materiale di questo tipo, presentando una porosità piuttosto elevata (0.3-0.35) tende a drenare abbastanza rapidamente e iniziare a depositare già su pendenze abbastanza elevate (10-12°) ad arrestarsi su pendenze vicine a 6-8°.

4. RISPOSTA IDROLOGICA E STIMA DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO A SCALA DI BACINO

La stima dell'idrogramma di progetto per il bacino in oggetto (o evento idrologico di "riferimento") da utilizzarsi come input alla successiva simulazione propagatoria viene eseguita seguendo la procedura standardizzata di analisi sviluppata per il Servizio Bacini montani della PAT dal Dipartimento TESAF dell'Università degli Studi di Padova.

L'analisi del fenomeno di progetto nei bacini in studio inizia con la generazione dell'idrogramma di acqua chiara di riferimento, che nel nostro caso è l'idrogramma generato da una pioggia con TR 200 anni, trattandosi dello scenario probabilistico richiesto per il dimensionamento di opere di difesa idrogeologica.

Per la stima della precipitazione critica per il bacino sono state utilizzate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica ottenute da regolarizzazione statistica dei massimi di pioggia per 0.25, 0.5, 1, 3, 6, 12 e 24 ore della Provincia di Trento (AIDI, 2014) mediate sul bacino nel suo complesso.

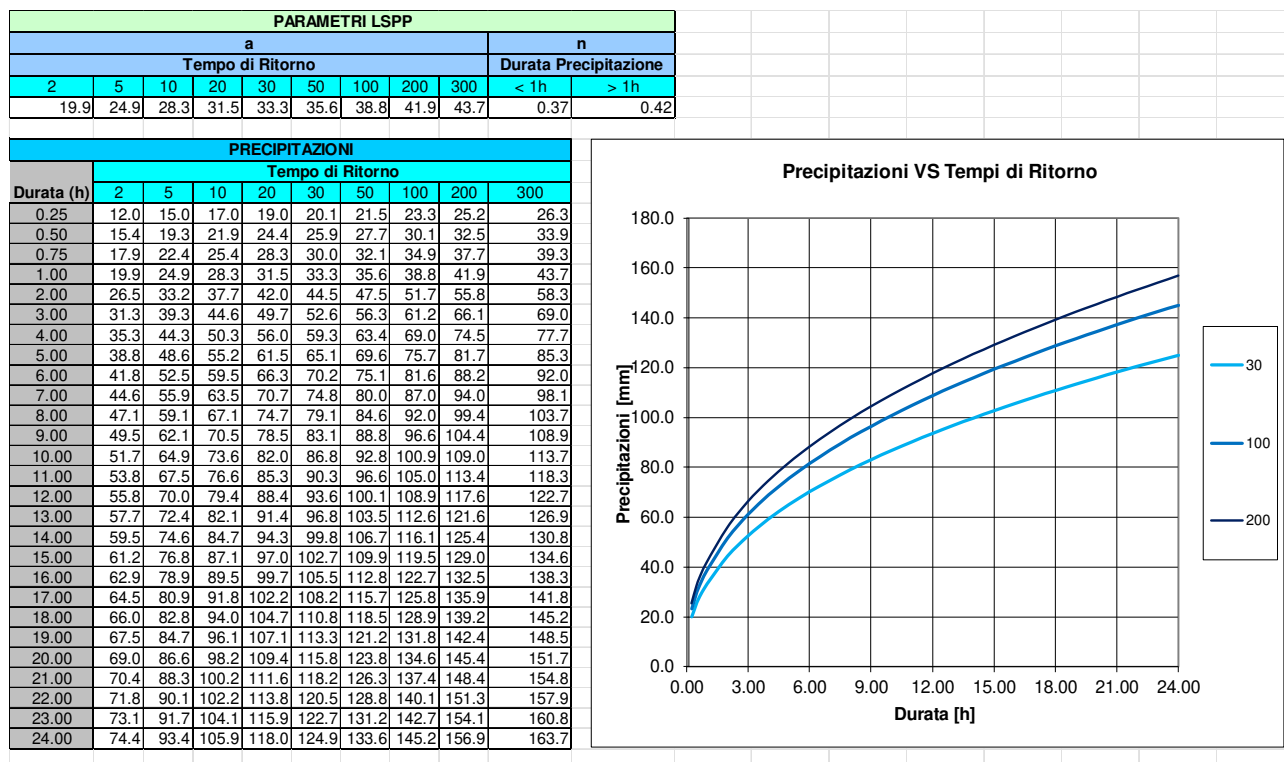


Fig. 4.1 – Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica TR30, 100 e 200 anni per il bacino in esame

La PORTATA LIQUIDA di progetto viene stimata mediante l'applicazione del modello afflussi-deflussi distribuito HYDROGRID (AIDI, 2002), ora inserito nel pacchetto AdB-Toolbox 1.8.

Il modello idrologico, utilizzando una serie di parametri cinematici ed idrologici, applica le equazioni del metodo SCS per la trasformazione degli afflussi totali in afflussi efficaci e di questi in deflussi superficiali diretti.

Tali parametri sono di seguito riportati:

- Velocità media di deflusso nella rete: 3.15 m/s (valore di letteratura per alvei a elevata pendenza e con fondo anche parzialmente in roccia); tale valore è compatibile con la seguente formula (D'Agostino, 2020):

$$V_{channel} = 5 \times i_{channel}^{0,5}$$

- Velocità media di deflusso sul versante sul bacino: 0.095 m/s dipendente dalla pendenza media dei versanti i_v dei singoli sottobacini indagati ottenuta mediante l'applicazione dell'equazione (D'Agostino, 2020):

$$V_{\text{versante}} = 0,1 \times i_{\text{versante}}^{0.5}$$

- Perdite iniziali: $la = 0.1S$ (Il parametro S è posto in funzione di un altro parametro, indicato come CN (Curve Number), secondo la relazione:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) 254$$

dove:

S (massimo contenuto idrico del suolo) è espresso in mm;

- Parametro deflusso di base: 3 s^{-1} (tale valore è ritenuto sufficientemente elevato per simulare la risposta sottosuperficiale del bacino, anche con caratteristiche di bassa permeabilità);

- AMC (*Antecedent Moisture Conditions*): 3.0-3.257 – condizioni di umidità dei terreni elevata al momento della precipitazione;

Si ottiene così un raster dei tempi di propagazione (fig. 4.2) che controlla la risposta temporale alla sezione di chiusura di ogni singolo output di deflusso generato alla cella. Il tempo medio di propagazione stimato per il bacino del rio Cinaga è pari a 0.80 ore mentre quello massimo a 3.56 ore; trattasi quindi di una risposta piuttosto rapida.

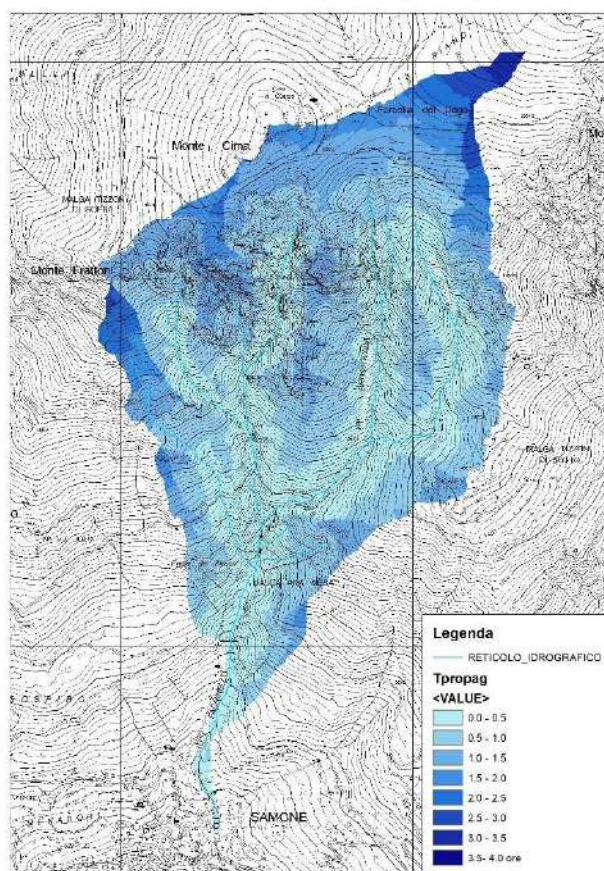


Fig. 4.2 – Raster dei tempi di propagazione del bacino

Ai parametri idrografici, morfometrici e cinematici si aggiungono quindi i parametri idrologici propriamente detti, ossia quelli in grado di fornire una descrizione della capacità delle diverse parti del bacino alla produzione di deflusso superficiale. Tra questi, quello fondamentale del metodo è rappresentato dal Curve Number o CN (Fig. 7.3), che con un valore variabile da 0 a 100 fornisce la capacità di produzione di deflusso delle diverse combinazioni suolo-soprassuolo presenti nel bacino. Per poter fare questo è stata ottenuta inizialmente una carta raster dei gruppi idrologici (fig. 2.5) che rappresenta la classe di permeabilità a saturazione, assegnando ad ogni litotipo presente nel bacino ad un gruppo idrologico (A-D) a seconda della permeabilità di questo. Si ricorda inoltre come per la sua elaborazione sia stato fatto riferimento a perdite iniziali pari al 10% del contenuto idrico massimo del suolo ($IA = 0.1S$) anziché 20% come proposto nella formulazione classica del metodo. Tale riduzione delle perdite iniziali è giustificata da diversi studi eseguiti in vari bacini alpini di piccole dimensioni reperibili in letteratura tecnica. Dall'incrocio della carta dell'uso del suolo con quella dei gruppi idrologici si ottiene la carta del CN o Curve Number (fig. 4.3), che indica la propensione delle diverse combinazioni suolo-soprassuolo a generare deflusso superficiale.

Per il bacino indagato, nel suo complesso, si è ottenuto un valore del CN medio in condizioni di umidità normale (AMC 2) pari a 54.2. Il valore di CN così stimato, in condizioni di umidità normale AMCII, è stato corretto sulla base della pendenza locale: questa infatti rappresenta un importante fattore che condiziona la formazione del deflusso come definito da diversi autori (*El-Hassanin et al.*, 1993; *Barros et al.*, 1999; *Haggard et al.*, 2002; *Chaplot and Bissonais*, 2003; *Huang et al.*, 2006). Per tener conto di ciò, Sharpley e Williams (1990) hanno proposto alcuni aggiustamenti del CNII standard come segue:

$$CN_{2\alpha} = \frac{1}{3}(CN_3 - CN_2)(1 - 2e^{-13.86\alpha}) + CN_2$$

dove CN_2 e CN_3 sono i valori standard calcolati in condizioni rispettivamente di AMC II e AMC III e α la pendenza (adim). Per il calcolo di CN_3 si è utilizzata la formulazione proposta da Hawkins et al. (1985) o Neitsch et al. (2002), che sembrano quelle in grado di fornire i risultati di conversione più attendibili come riportato in Mishra et al. (2008)

$$CN_3 = \frac{CN_2}{0.427 + 0.00573CN_2} \quad CN_3 = CN_2 \exp\{0.00673(100 - CN_2)\}$$

Tale metodologia è stata utilizzata per la stima del CN_2 , ottenendo un valore medio corretto del CNII pari a 59.4, quindi più alto dell'9.6% rispetto a quello calcolato con il metodo standard, valore che in fase di simulazione subisce un innalzamento dovuto all'utilizzo di condizioni di AMC più critiche (3.0-3.257).

Provincia Autonoma di Trento – Comune di Samone

STUDIO IDROLOGICO, SEDIMENTOLOGICO ED IDRAULICO DEL BACINO DEL RIO CINAGA PER LA VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITA' ALLA CSP DEL PROGETTO DI VARIANTE PER OO.PP. AL PRG DEL COMUNE DI SAMONE PER REALIZZAZIONE DI NUOVO RACCORDO STRADALE TRA LA S.P.39 E VIA NUOVA SUPERIORE

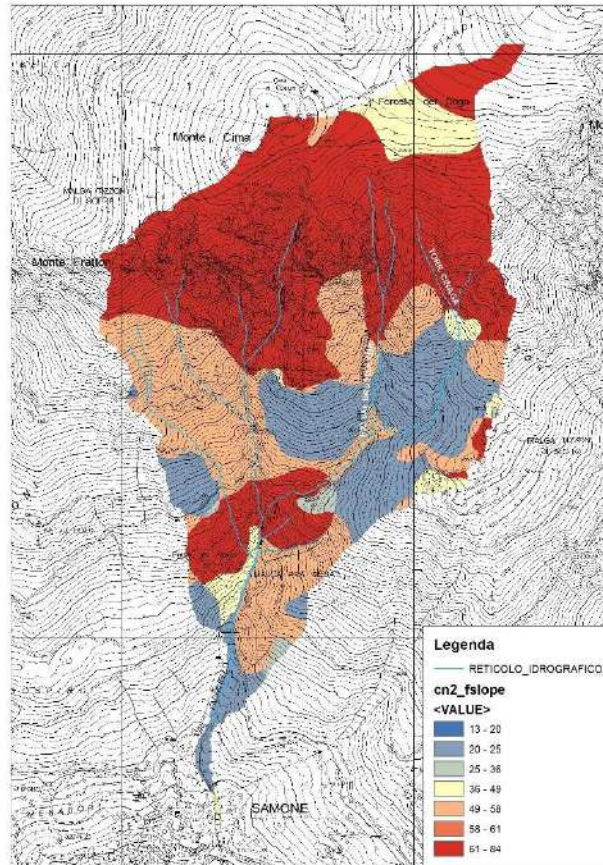


Fig. 4.3 – Mappa del CN corretto con la pendenza ottenuta per l'applicazione del modello HYDROGRID.

Lo scenario temporale di riferimento è caratterizzato da uno scroscio di durata pari al 95% della durata di pioggia critica per il singolo bacino stimata i mediante simulazioni successive con piogge ad intensità costante e timestep 5'.

Determinata in questo modo la durata critica della precipitazione si è quindi costruito lo ietogramma di progetto con la medesima durata ma con una distribuzione temporale della precipitazione tipo "Wallingford", caratterizzato da un picco centrale di forte intensità e distribuzione simmetrica del resto dello ietogramma rispetto a questo. Di seguito si riportano i risultati della simulazione idrologica ad evento ed a scala di bacino, per la sezione di chiusura indagata.

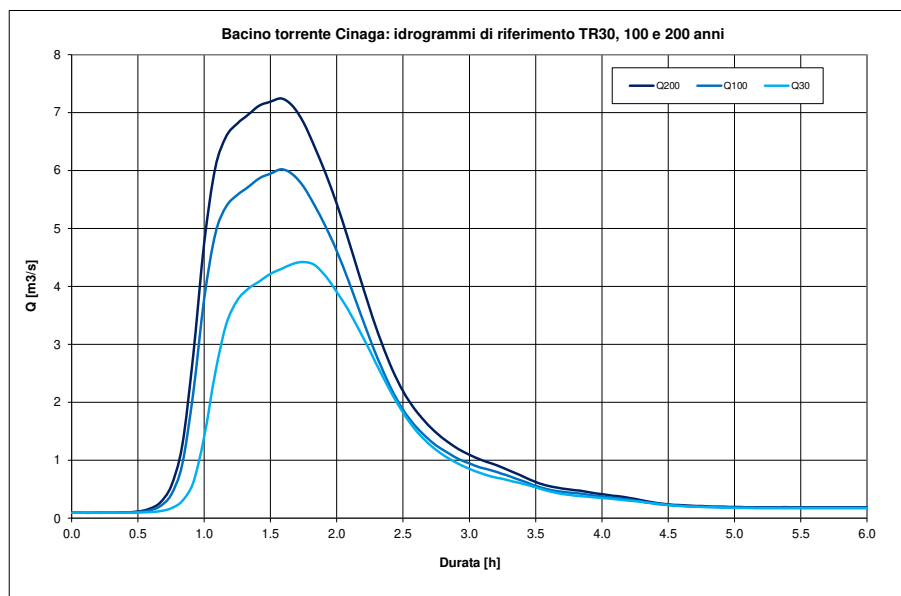


Fig. 4.4 – Idrogrammi di riferimento TR 30, 100 e 200 anni simulati per il bacino nello scenario di precipitazione “Wallingford”

I risultati delle simulazioni evidenziano una portata massima variabile tra 4.42 e $7.24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (portata unitaria 2.35 - $3.85 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$) – Durata precipitazione critica 1.33 - 1.5 ore.

Trattasi di portate e contributi unitari abbastanza elevati, soprattutto per il TR200, ma non estremi comunque in linea rispetto alla media dei bacini delle medesime dimensioni e caratteristiche geomorfologiche in Provincia, dovuti sia all’input probabilistico di pioggia che ad una reale capacità del bacino dare origine a deflussi abbondanti.

Gli idrogrammi di cui sopra sono stati confrontati, per correttezza di approccio, anche con quelli utilizzati nello studio condotto dal Servizio Bacini montani (2022) di cui già si è detto, di seguito riportati (fig. 4.5).

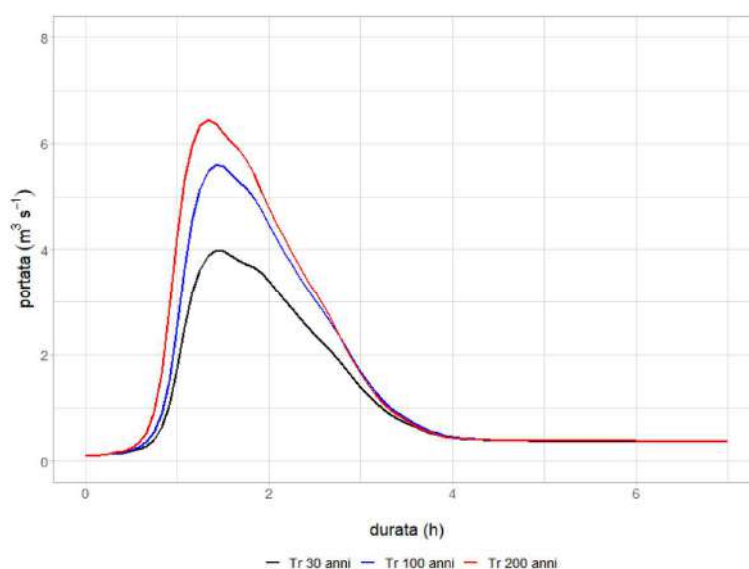


Fig. 4.5 – Idrogrammi di riferimento TR 30, 100 e 200 anni simulati per il bacino del Cinaga e riportati inello studio del 2022 (Michellini T., - Servizio Bacini montani, 2022)

Come si nota i tempi di risposta risultano quasi coincidenti, mentre le portate di picco calcolate nel presente studio risultano leggermente superiori (quindi, più cautelative) seppur assolutamente comparabili.

5. STIMA DEL “DEBRISGRAMMA” DI RIFERIMENTO

Per la stima della **PORTATA SOLIDA** di riferimento come emerso dall’analisi geomorfologica ed idrologica sopra esposta, lo scenario d’evento straordinario più probabile da considerarsi è rappresentato da un fenomeno colata di detriti in arrivo dall’asta del rio Cinaga che si innesca più probabilmente nella parte medio-alta del bacino, a seguito di fenomeni di erosione lineare e destabilizzazione spondale ove le pendenze e l’elevata presenza di materiale sciolto nelle vallecole e sui versanti più prossimi a queste in condizioni di parziale saturazione possono risultare maggiormente predisponenti i fenomeni di innesco.

Ovviamente, trattandosi di eventi critici ad elevato TR non sono da escludersi fenomeni di attivazione delle grandi frane in detrito, anche combinati a fenomeni di cedimento di alcune delle opere trasversali presenti (almeno quelle più antiche) che, come già descritto, risultano nel complesso abbastanza obsolete seppur, ad oggi, non in stato di degrado evidente.

Il fenomeno, una volta innescato, potrà quindi propagarsi verso valle subendo però, molto probabilmente, una trasformazione nel tratto a valle della quota 886 m, grazie alla presenza della grande opera trasversale realizzata nel post 1966 e grazie anche alla riduzione progressiva delle pendenze, non più elevatissime, che nel complesso possono dar luogo a potenziali fenomeni di rallentamento e deposizione, con riduzione della concentrazione volumetrica massima del fenomeno, che può divenire più facilmente un flusso più vicino all’iperconcentrato. Partendo da queste considerazioni si è eseguita la stima del cosiddetto debrisgramma di riferimento, associato ai diversi idrogrammi come sopra definiti, da utilizzare in input al codice bidimensionale.

In ogni bacino, soprattutto se di ridotta estensione come quello in esame, l’attività torrentizia impulsiva è intrinsecamente connessa alla capacità di trasporto solido dell’onda liquida generata dalla precipitazione. Per la stima della portata solida da associare ad una forma di trasporto da colata detritica è largamente utilizzata la procedura che prevede preliminarmente il calcolo della concentrazione volumetrica di equilibrio della colata in movimento (C_{eq}) per poi passare alla stima della portata solido-liquida totale (Q_d) del debris flow mediante l’approccio volumetrico proposto da Takahashi (1991) e verificato successivamente anche da Tubino e Lanzoni (1992); secondo questo metodo la stima di Q_d risulta:

$$Q_d = \left(\frac{C^*}{C^* - C_{eq}} \right) \cdot Q_l$$

essendo C^* la concentrazione di massimo impaccamento dei sedimenti a riposo, prima che essi vengano interessati dall’innesco della colata, variabile tra 0.55 e 0.75 (Armanini, 1999). Nel caso in esame si è utilizzato un valore variabile tra 0.65 viste le caratteristiche granulometriche dei materiali costituenti letto e versanti.

Tale equazione è ottenuta nell’ipotesi che il letto di sedimenti dal quale si genera la colata abbia un grado di saturazione pari all’unità (letto completamente saturo). La concentrazione di equilibrio viene calcolata sulla base della pendenza del canale, dell’angolo di attrito statico o quasi statico del materiale. L’equazione di Takahashi (1991)

$$C_{eq} = \frac{\rho_m \cdot \tan \beta}{(\rho_s - \rho_m) \cdot (\tan \phi - \tan \beta)}$$

fornisce valori di C_{eq} più elevati ed è relativa al fronte del debris flow. Inoltre presenta un punto di discontinuità al crescere della pendenza, ossia raggiunge il valore massimo ($0.9 C^*$) per pendenze uguali e superiori a $19-20^\circ$. Nel caso in esame la pendenza media del tratto di canale simulato su cui si propaga la colata, è pari a circa 28.8% (36.7% per la zona di innesco) mentre l'angolo d'attrito del materiale si attesta sui 38° (si utilizza questo dato per coerenza con le simulazioni condotte dal Servizio Bacini montani). L'equazione sopra riportata è quindi applicabile e fornisce un valore di C_{veq} variabile rispettivamente tra **0.536** con un fattore di amplificazione della portata liquida di 5.7.

L'ipotesi è quindi quella di far iniziare l'onda da debris flow in corrispondenza al transito di una portata liquida pari alla portata unitaria d'innesco dei debris flow per instabilizzazione del letto del torrente per erosione progressiva (q_{cr}) stimata mediante il metodo proposto da *Tognacca et al.* (1999):

$$q_{cr} = \left(\frac{\rho_m}{\rho_s} - 1 \right)^{0.5} \cdot g^{0.5} \cdot \frac{d_m^{1.5}}{(\tan \beta)^{1.17}}$$

Nel caso in esame, assunti un diametro medio (d_m) della distribuzione granulometrica pari a circa 0.052 m stimato dalle curve granulometriche riportate in cap. 5 e da osservazioni in campo sui depositi superficiali presenti, si giunge ad una portata critica d'innesco Q_{cr} di circa **1.23 m³/s** (con $B_{med} = 8.0$ m), valore che viene abbondantemente superato da tutti gli idrogrammi simulati e che viene utilizzato per discriminare la parte di questi che genera il fenomeno di colata di detrito. Ovviamente, la parte restante, è probabile generi fenomeni di trasporto solido al fondo a partire dalla portata critica di innesco di questo, valutabile secondo l'approccio di *Schoklitsch* (1962)

$$Q_{cr} = \left\{ 0.26 \left[\frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{5/3} D_{30}^{3/2} i^{-7/6} k_2 \right\}^{1/(1-\gamma)}$$

a valori intorno a $0.20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, molto simili a quelli calcolati mediante approccio di Shields modificato per tener conto della pendenza e della bassa sommergezza. Ciò non significa che eventi di trasporto con magnitudo inferiore non possono formarsi ma che, probabilmente, possano assumere più facilmente tipologie di trasporto solido al fondo o piene di detrito con concentrazioni volumetriche al picco inferiori.

I risultati dell'applicazione, per i diversi idrogrammi calcolati e per scenari a C_{vmax} costante (condizione più cautelativa) sull'intero idrogramma sono di seguito riportati.

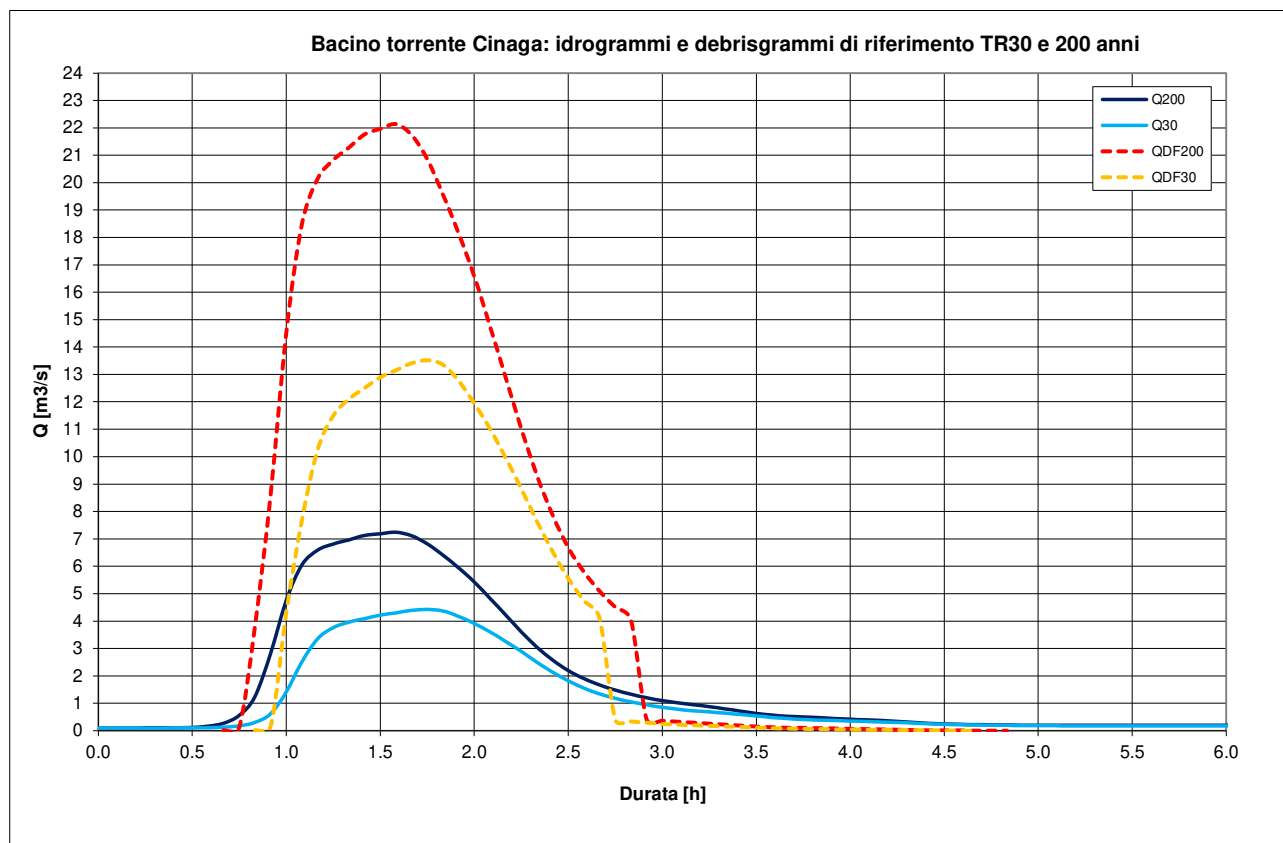


Fig. 5.1 – Debrisgrammi stimati per il bacino del rio Cinaga nei diversi scenari di risposta idrologica 30-200 anni e Cv_{max} costante

6. LA SIMULAZIONE NUMERICA BIDIMENSIONALE CON IL CODICE TRENT-2D®: ANALISI DEI RISULTATI DELLO STUDIO DEL SERVIZIO BACINI MONTANI (2022)

Si analizzano di seguito i risultati delle simulazioni propagatorie eseguite dal Servizio Bacini montani per l'aggiornamento dell'attuale Carta di pericolosità torrentizia per l'area in esame, contestualizzandoli sulla zona di variante. Lo studio affronta diversi scenari d'evento: per gli scenari di pericolosità ordinaria il fenomeno atteso e simulato è quello di un trasporto solido intenso di assegnato tempo di ritorno (30, 100 e 200 anni), mentre lo scenario di pericolosità residua prende in considerazione un fenomeno di colata detritica di elevata magnitudo nell'ipotesi del verificarsi di instabilità diffuse all'interno del bacino idrografico (tempo di ritorno pari a 200 anni). In entrambi i casi la quantità di materiale movimentato dipende dalla capacità di trasporto della corrente andando, per il TR200 da 24.000 mc per il fenomeno di trasporto solido ordinario a circa 74.000 mc per quello residuo di colata di detrito.

Di seguito si riportano i risultati del solo TR200 in quanto per il TR30 (minimo previsto dalla normativa) il fenomeno simulato viene completamente contenuto entro l'alveo senza alcuna fuoriuscita. Queste iniziano invece a verificarsi con il TR200 sia nello scenario ordinario, che, ancor più, in quello residuo.

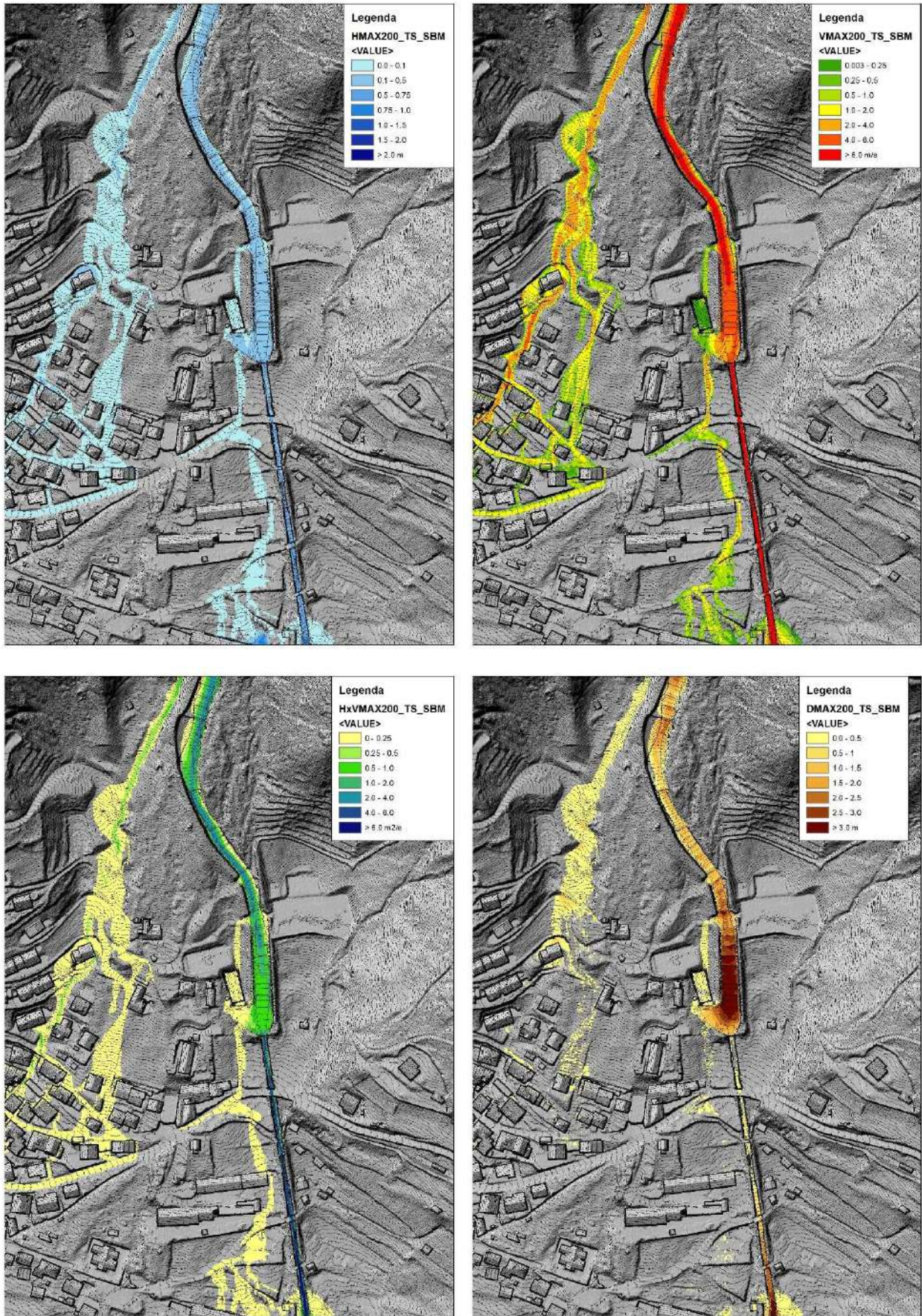


Fig. 6.1 – 6.4- Simulazione TR200 scenario ordinario – Trasporto solido al fondo: massimi valori delle grandezze caratteristiche H, V, HxV e D.

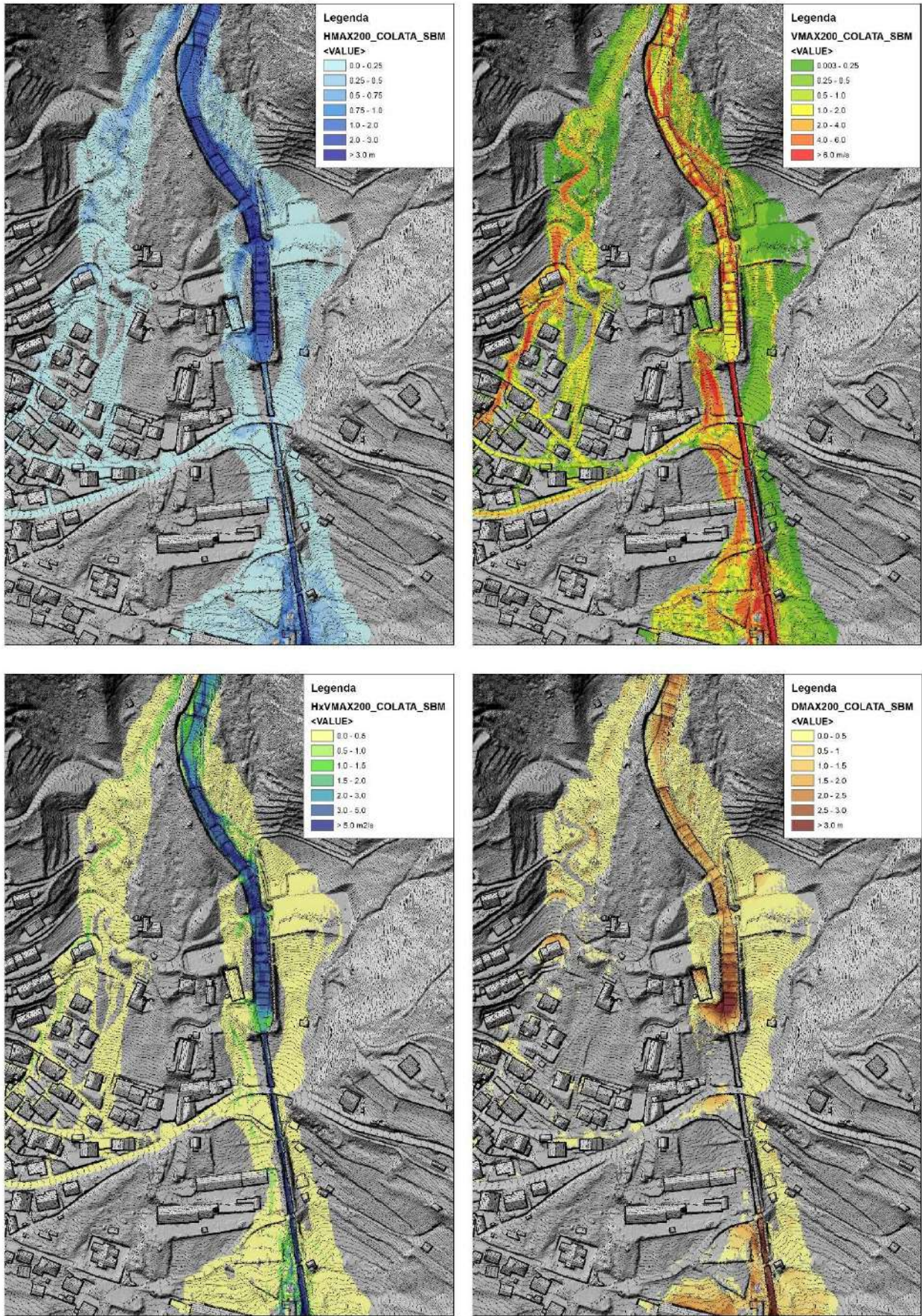


Fig.6.5 -6.8 - Simulazione TR200 scenario residuo – colata di detrito: massimi valori delle grandezze caratteristiche H, V, HxV e D.

Dall'analisi dei risultati delle simulazioni appare evidente come nello scenario probabilistico meno frequente ma a maggior magnitudo (TR200) non venga completamente contenuto entro l'alveo ma dia origine a fenomeni di esondazione e sovralluvionamento che iniziano già all'apice conoidale in destra idrografica seguendo la strada forestale che dalla quota 860 m slm (guado attraversamento) scende praticamente rettilinea lungo la massima pendenza verso l'abitato di Samone. Questa direttrice porta a diffuso alluvionamento dell'abitato, seppur con valori di tirante e deposito non elevatissimi, a differenza del parametro velocità che, grazie alle basse scabrezze della viabilità e delle aree edificate, si mantiene sempre su valori piuttosto importanti.

Scendendo le fuoriuscite principali vengono invece simulate, sia in destra che sinistra idrografica, a partire dai punti di interruzione dell'argine (guadi) ed in corrispondenza della piazza di deposito terminale al Parco Laresoti. In particolare, le fuoriuscite dai guadi e dalla piazza vanno ad interessare il parco stesso e la strada asfaltata che da questo conduce verso Via Nuova superiore. Raggiunta Via Nuova superiore, il flusso si concentra maggiormente sui piazzali a monte della segheria Perèr, in destra idrografica del cunettone, andando però a propagarsi inevitabilmente lungo Via Nuova, che in questo tratto ha una pendenza longitudinale piuttosto evidente (circa 9%). I fenomeni che si propagano lungo Via Nuova sono caratterizzati da flussi con bassa concentrazione di sedimento, tiranti abbastanza contenuti (entro i 25 cm) ma da velocità piuttosto sostenute di oltre 1.0 m/s (localmente anche maggiori) a causa della bassa scabrezza delle superfici in asfalto. La sezione trasversale della viabilità leggermente pendente verso monte, così come la microtopografia (muretti, cordoli, ecc.) sembrano favorire il mantenimento del flusso sulla carreggiata senza propagazione verso l'area oggetto di variante, che in questi scenari appare non interessabile dei fenomeni. Tale comportamento appare non del tutto cautelativo in quanto, dal pedonamento della strada appare difficile come un flusso in propagazione su tutta la carreggiata difficilmente potrebbe non interessare, seppur in maniera indiretta, anche la strada asfaltata privata di accesso alla segheria Perèr e la piazzola a verde subito a valle, da cui dovrebbe partire la nuova bretella.



Fig. 6.9 – Imbocco strada privata segheria "Perèr" e piazzola di sosta subito a valle.

Partendo da queste evidenze si è simulato, con i dati idrologico-idraulici come definiti ai capitoli presenti, un ulteriore scenario di **pericolosità residua** caratterizzato da una colata di detrito generata dall'idrogramma TR200, ipotizzando cautelativamente una parzializzazione dell'attraversamento di Via Nuova superiore (di fatto, restringendone la sezione a 1 m), con una configurazione geometrica pre e post come di seguito visibile. Trattasi di una condizione molto gravosa ed a favore di sicurezza, dato che l'attraversamento non ha mai, nel recente passato, dato evidenze di criticità manifesta, anche durante gli eventi più intensi. Lo stato di dissesto ed attività del bacino, però, richiede la valutazione anche di ipotesi d'evento con comportamenti anomali delle opere ed interferenze presenti.

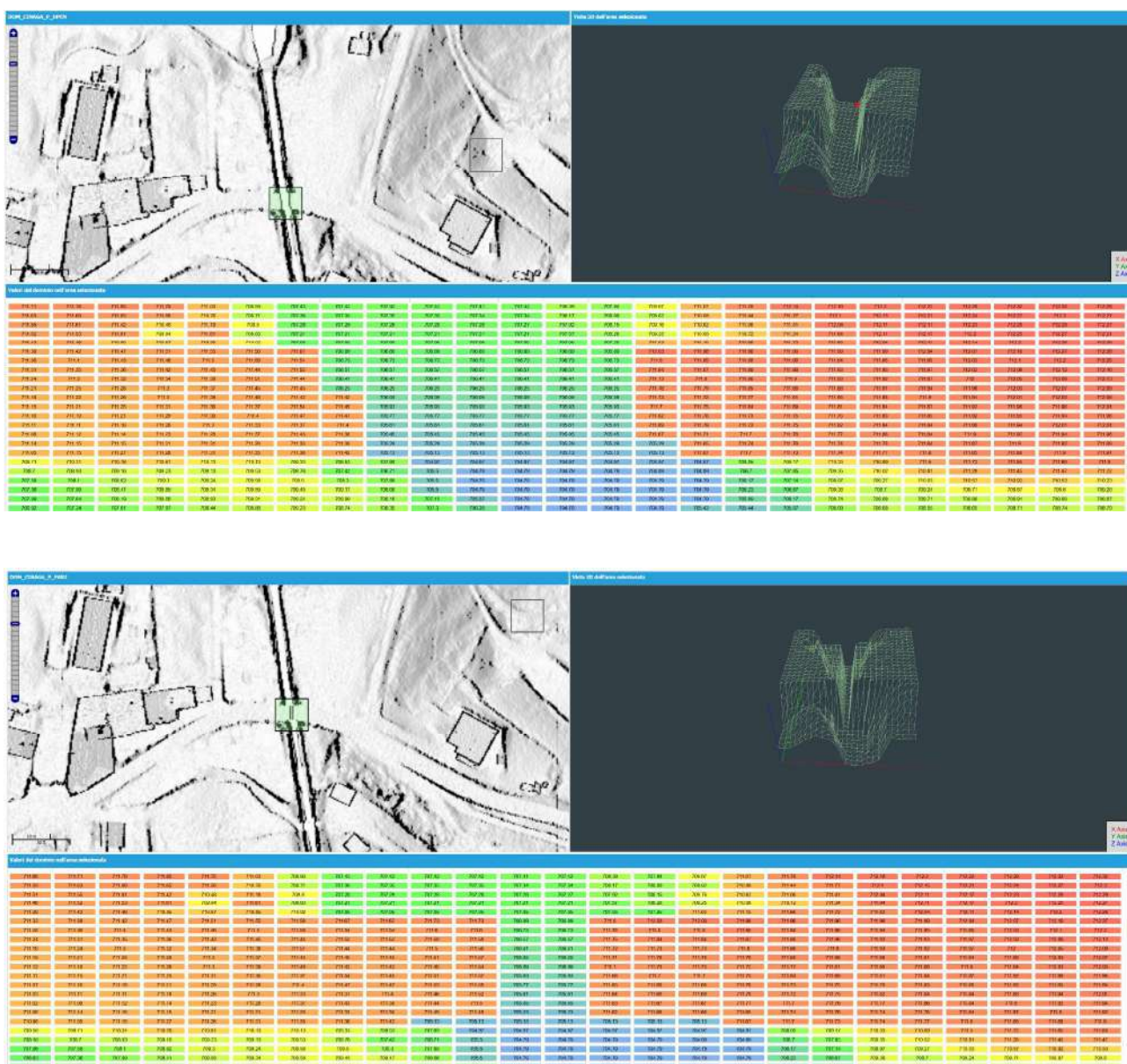


Fig. 6.10 - 6.11- Configurazione morfologica attraversamento Via Nuova superiore: normale e parzializzata

Il DTM è stato inoltre modificato, rispetto alle simulazioni eseguite dal Servizio Bacini monti, inserendo la nuova previsione di bretella e le due aree a parcheggio previste (partendo dai punti di progetto) come di seguito visibile.



Fig. 6.12 – 6.13 - Configurazione morfologica attuale e con la previsione di progetto utilizzata nelle simulazioni

7. LA SIMULAZIONE NUMERICA BIDIMENSIONALE CON IL CODICE TRENT-2D®: SCENARIO RESIDUO DI COLATA DI DETRITO CON PONTE VIA NUOVA SUPERIORE PARZIALIZZATO

L'applicazione del codice TRENT_{2D} (Weezard vers. 3.1.0) al conoide del rio Cinaga a Samone è stata eseguita preparando la topografia del campo di moto, partendo dal DTM raster LIDAR 0.5x0.5 m della PAT ed eseguendone l'interpolazione ad un raster ASCII con celle sempre 0.5x0.5 m, dimensione ritenuta ottimale compromesso tra precisione del dato topografico, durata delle simulazioni e precisione dei risultati. È stato corretto manualmente il DTM in alcuni punti che non venivano correttamente evidenziato dal DTM Lidar, in particolare in corrispondenza della piazza di deposito al Parco del Laresoti, ove il DTM Lidar della PAT evidenziava (probabilmente per una imprecisione nella ripulitura della nuvola di punti) un abbassamento puntuale dell'argine in destra (fino a -1.20 m) che nella realtà non esiste (Fig. 7.1). Tra l'altro, tale errore potrebbe probabilmente aver inciso anche sui risultati delle simulazioni condotte dal Servizio Bacini montani nello studio del 2022, nel quale si evidenziavano tracimazioni, seppur ridotte in tirante, proprio in corrispondenza di tale abbassamento non esistente (Fig. 7.2)

Per correttezza procedurale, quindi, si è corretta la quota della testa dell'argine come nella realtà.

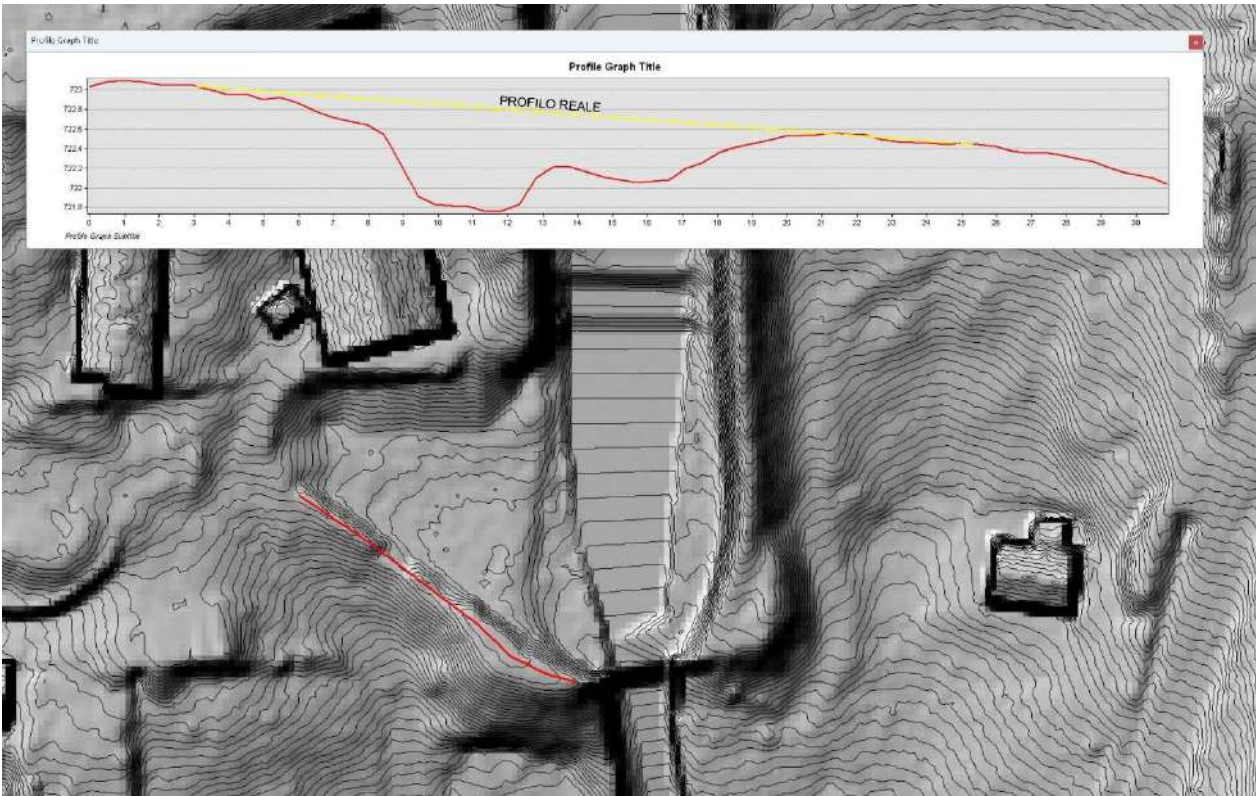


Fig. 7.1 – Imprecisione nel DTM Lidar della PAT in corrispondenza dell'argine destro della piazza di deposito al Parco Laresoti

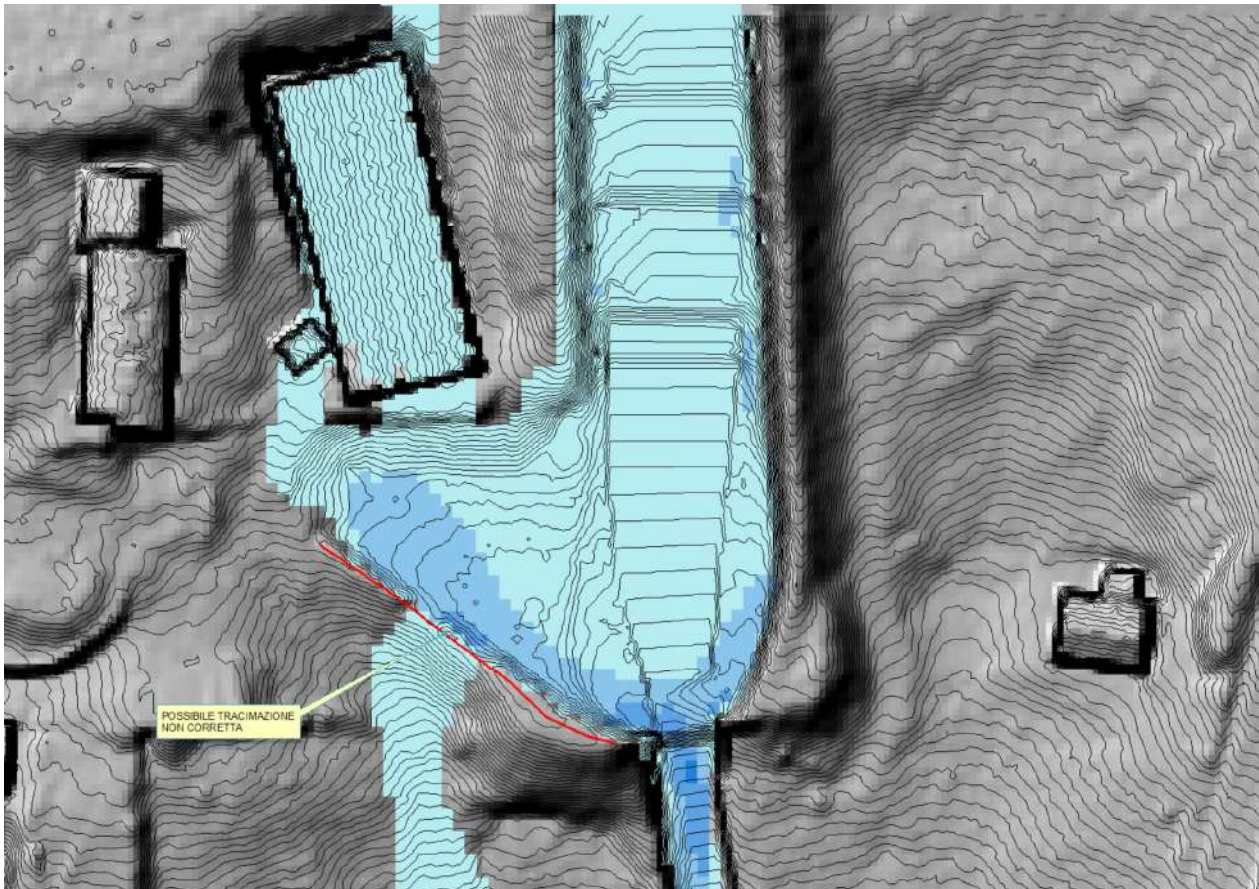


Fig. 7.2 – Effetto dell'imprecisione nel DTM Lidar della PAT sulle simulazioni

Mediante apposito tool si sono inserite le celle considerate inderodibili dal codice, in corrispondenza delle infrastrutture principali, delle opere di sistemazione (opere spondali e opere trasversali) e delle zone edificate.

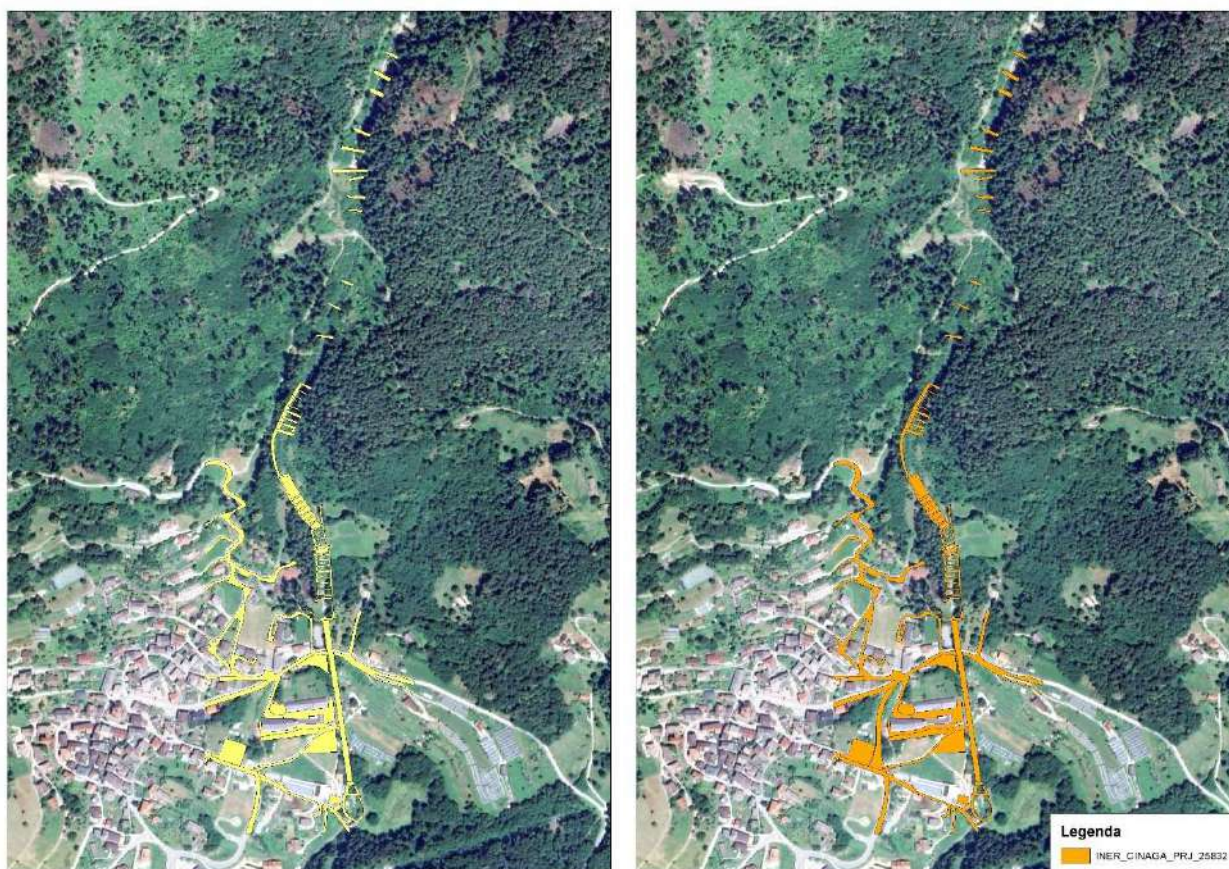


Fig. 7.3 -7.4 – Zone inderodibili inserite nel dominio di calcolo stato attuale e di variante

Il codice di calcolo utilizzato è appositamente prodotto per la propagazione di onde solido-liquide su un campo di moto (floodplain) rappresentato da una griglia quotata a maglie quadrate di dimensione variabile, derivata da una base topografica di dettaglio e caratterizzata da valori di resistenza al moto variabili a seconda delle caratteristiche granulometriche ed idrauliche del campo di moto. Il codice numerico descrive il moto bidimensionale della colata ipotizzandola come un fluido bifase in cui non vi è sfasamento (modello accoppiato) tra i vettori velocità sia della fase solida che si quella liquida. Le equazioni del modello si ottengono on bilanci di conservazione della massa della mistura, della massa della sola fase solide e della quantità di moto della mistura nell'ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni. In definitiva questo modello considera in modo accoppiato la dinamica della colata e l'evoluzione morfologica dell'alveo. Per la descrizione teorica delle equazioni alla base del codice si rimanda alla specifica bibliografia (Rosatti & Fraccarollo, 2002, Rosatti & Fraccarollo, 2006).

Per ciò che riguarda la stima dei parametri generali in input alla simulazione, la stima è stata eseguita utilizzando ove possibile i dati derivanti dalle analisi geologico-geotecniche riportate nella relazione di Zambotti (2023) e su analisi di laboratorio su materiali analizzati in altri bacini dalle caratteristiche geologiche del tutto simili, in particolare per ciò che riguarda i parametri Δ e ϕ_d .

Per ciò che riguarda la scelta del parametro Y (sommergenza relativa in condizioni di moto uniforme $Y = h/dx a^{0.5}$, con $a = \text{cost} = 0.35$), si è deciso di utilizzare per la sezione di entrata al dominio un valore costante pari a 10 per coerenza con lo studio eseguito dal Servizio Bacini montani.

Riassumendo, i parametri utilizzati nelle simulazioni sono stati:

$$\Delta = 1.65$$

$$\phi d = 38^\circ$$

$Y = 10$ costante per sezione di ingresso al campo di moto.

$\beta = 8.993$ stimato in automatico dal software sulla base dell'idraulica di moto uniforme calcolata nella sezione media di entrata del campo di moto e della Cv_{max} del fenomeno.

$$if = 0.367$$

Come detto, si è deciso di simulare una condizione critica con parzializzazione della sezione dell'attraversamento stradale in corrispondenza ad Via Nuova superiore.

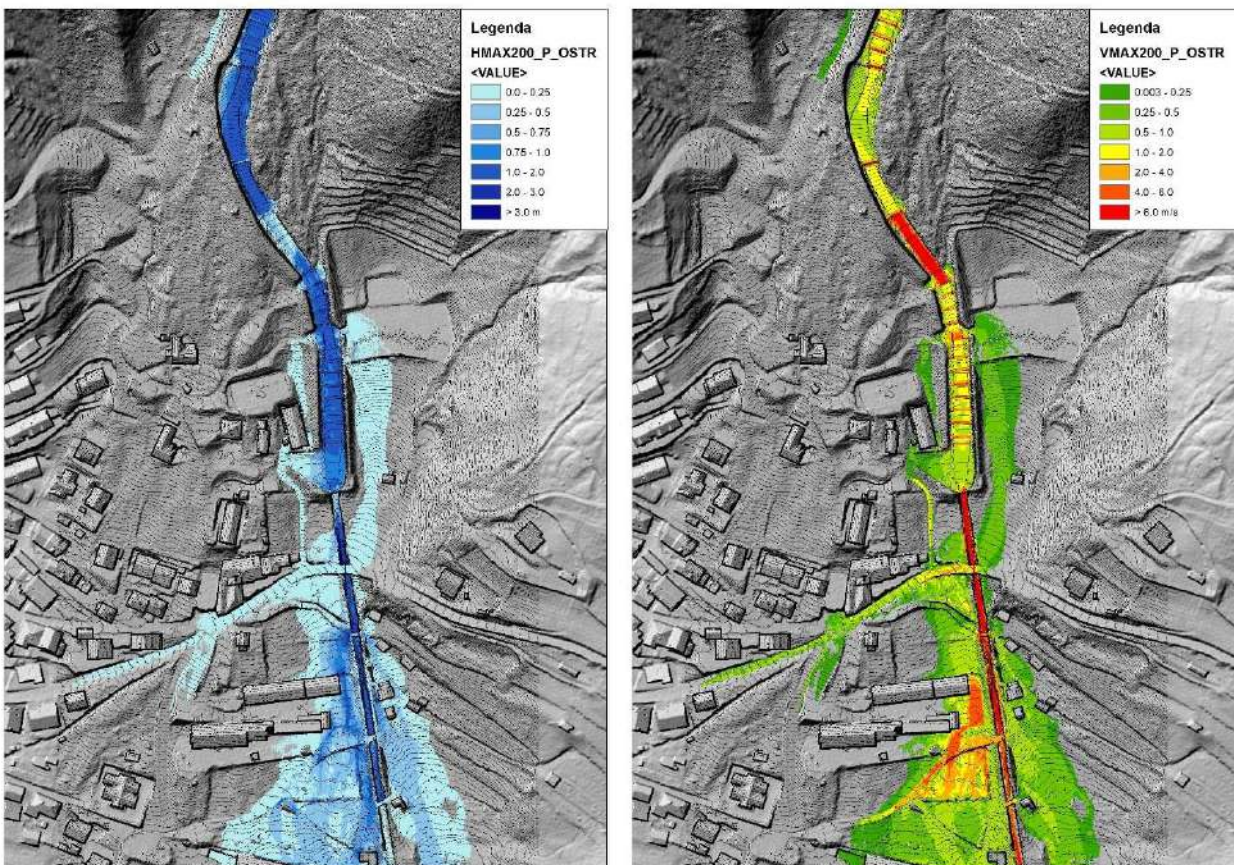


Fig. 7.5 – 7.6 - Simulazione TR200 scenario residuo – colata di detrito, con ponte Via Nuova superiore parzializzato: massimi valori delle grandezze caratteristiche H, V

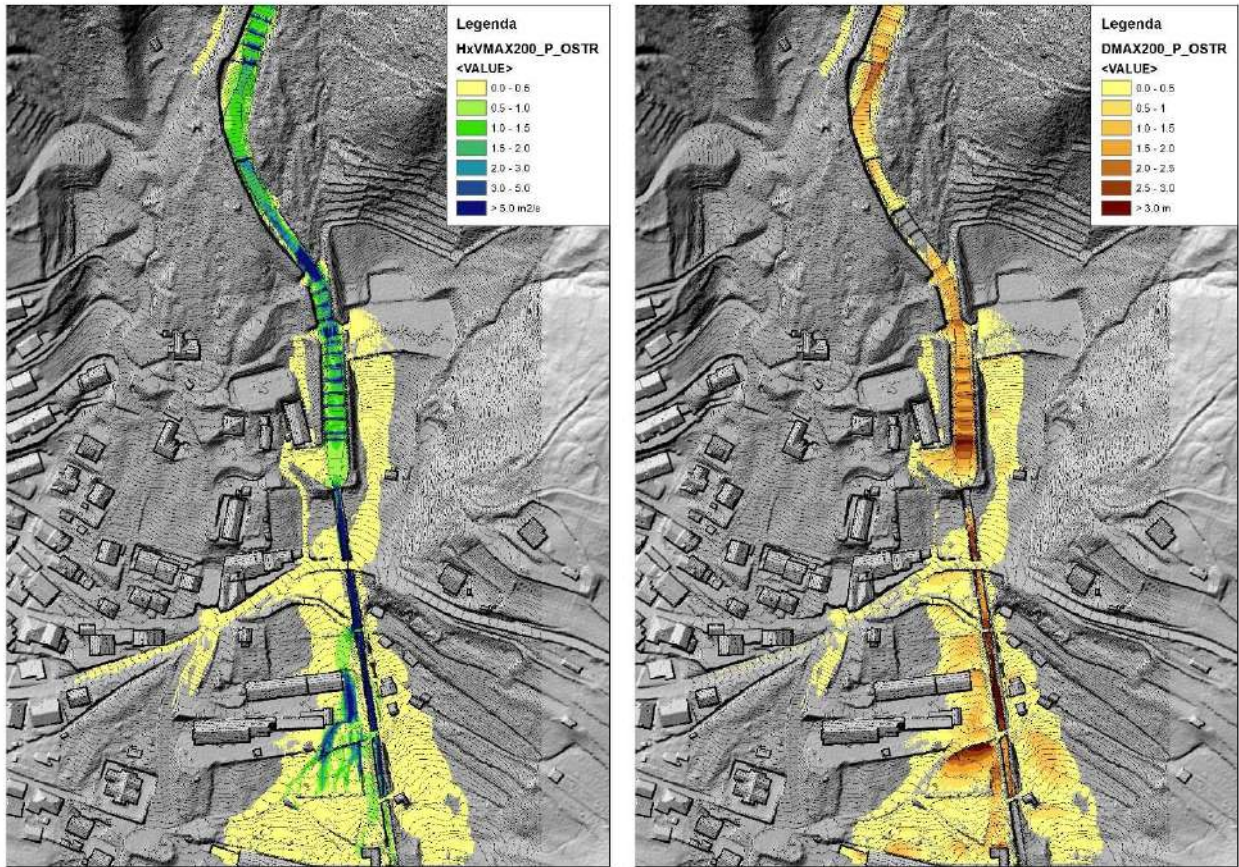


Fig. 7.7 -7.8 - Simulazione TR200 scenario residuo – colata di detrito, con ponte Via Nuova superiore parzializzato: massimi valori delle grandezze caratteristiche HxV e D.

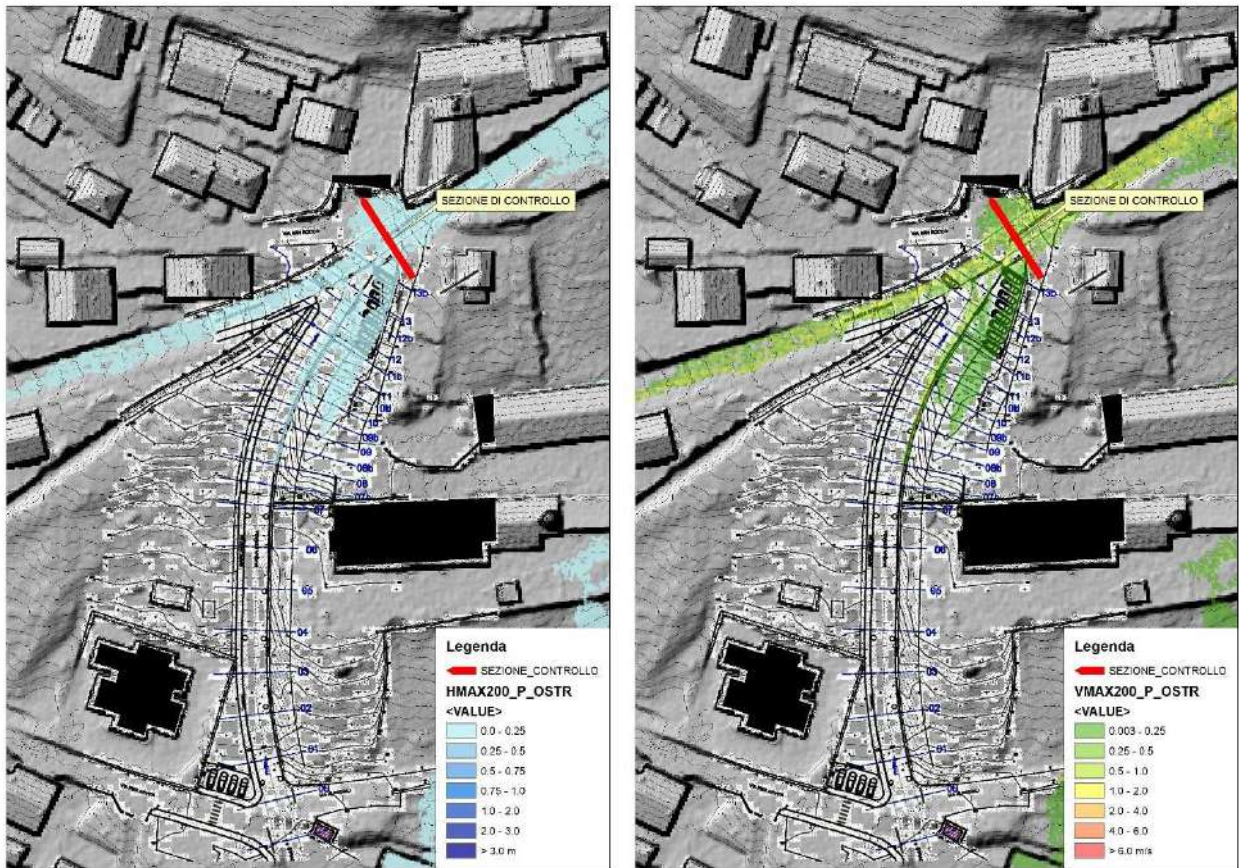


Fig. 7.9 – 7.10- Simulazione TR200 scenario residuo – colata di detrito, con ponte Via Nuova superiore parzializzato: massimi valori delle grandezze caratteristiche H e V sull'area di variante

In corrispondenza dell'imbocco della nuova bretella lungo Via Nuova superiore è stata posta una sezione di controllo allo scopo di disporre delle portate solido-liquide in arrivo, come visibile in Fig. 7.11. La simulazione di colata con ponte parzializzato ha fornito i seguenti sedimentogrammi in arrivo, caratterizzati da un picco solido-liquido di $0.37 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. La portata solida, tra l'altro, non elevatissima ma non trascurabile e pari a $0.13 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

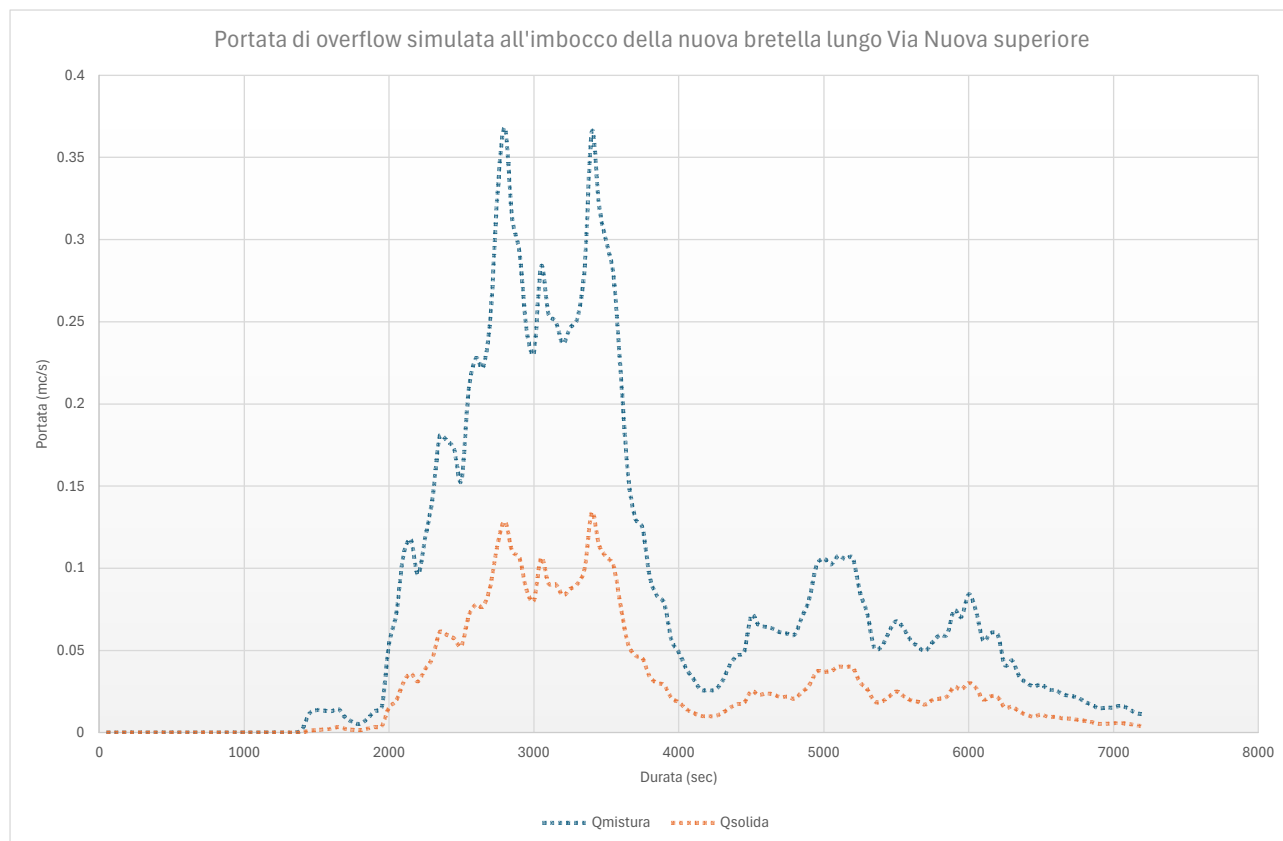


Fig. 7.11 - Sedimentogramma di overflow simulato in arrivo all'imbocco della nuova bretella

8. CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI E INDIVIDUAZIONE DELLE POTENZIALI CRITICITA' IN CORRISPONDENZA DELL'AREA DI VARIANTE.

Analizzando i risultati delle simulazioni propagatorie, sia negli scenari ordinari a minor probabilità di accadimento (minore frequenza) ma maggior magnitudo (TR200) che, ancor più in quelli di pericolosità residua, emerge in maniera piuttosto oggettiva come l'area oggetto di variante possa, in maniera più o meno evidente ma solo in scenari di pericolosità RESIDUA, possa ancora essere raggiunta da fenomeni di propagazione dovuta a tracimazioni in corrispondenza di alcune sezioni particolarmente critiche presenti nel tratto a monte, identificate prevalentemente nei guadi (interruzioni dell'argine destro), nell'argine destro in corrispondenza della piazza di deposito al Parco Laresoti e da un eventuale parzializzazione della sezione del ponte su Via Nuova superiore (condizione possibile, ma molto cautelativa, in caso di arrivo da monte di materiale di grosse dimensioni o di materiale fluitato non trattenuti dalla piazza di deposito Laresoti). Si tratta in tutti i casi di fenomeni propagatori di natura secondaria in quanto il fenomeno principale sembra concentrarsi lungo l'Oasta del torrente Cinaga.

I valori delle grandezze del fenomeno simulato in arrivo alla 'area di variante risultano di intensità abbastanza ridotta, con tiranti di mistura mai superiori a 25 cm (media 7-10 cm) e velocità del flusso medie nell'ordine di 0.25 m/s ma localmente fino 1.27 m/s. Si tratta nel complesso di valori che ricadono nell' intensità da BASSA (per ciò che riguarda i tiranti) a MEDIO-ELEVATA per ciò che riguarda le velocità di propagazione, che possono influire in vario modo sugli effetti dei fenomeni sulla futura bretella stradale e sulle aree di sosta in progetto. Come vediamo dalla simulazione dello stato di progetto, infatti, parte del flusso secondario imbecca prima l'area di sosta prevista sulla sinistra della strada (scendendo) per poi imboccare la bretella stessa mantenendosi, prevalentemente in sinistra per la pendenza trasversale della carreggiata (2% circa). La simulazione non evidenzia la propagazione sull'intera bretella, ma ciò è dovuto probabilmente ai limiti del modello più che a una reale interruzione del flusso, che in condizioni reali si propagherebbe (almeno la componente più liquida) lungo l'intera bretella fino a raggiungere l'incrocio con la SP 39, in quanto favorito sia dalla ridotta scabrezza della pavimentazione in asfalto ($n = 0.02$ in condizioni di flusso con depositi di detrito) e all'elevata pendenza media della strada che nel tratto centrale si attesta sul 18.5%.

PROFILO - Q.R. 675.00

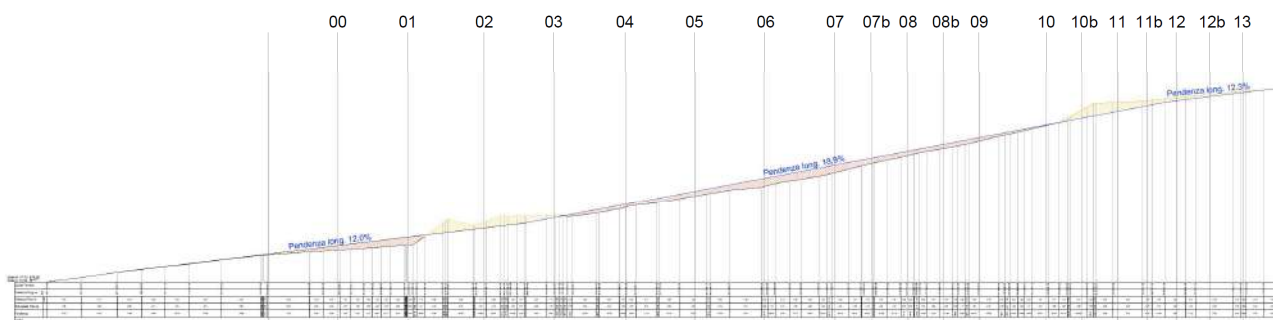


Fig. 8.1 – Profilo longitudinale di progetto della nuova bretella: le pendenze vanno dal 12 al 18.5%.

Ipotizzando cautelativamente che tutta la portata in arrivo si riversi lungo la nuova bretella (ipotesi alquanto improbabile ma cautelativa nella valutazione), è possibile stimare le caratteristiche idrauliche che il flusso potrebbe avere lungo la carreggiata verso valle, ipotizzando che si concentri su 1/3 della stessa (larghezza idraulicamente attiva circa 2 m) data la pendenza trasversale. La portata unitaria del fenomeno sarà quindi di $0.18 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Per canale molto largo e flussi bassi si assume $R_h \approx h$ per l'applicazione della Formula di Manning per portata unitaria

$$q = \frac{1}{n} h^{5/3} S^{1/2} \Rightarrow h = (q n S^{-1/2})^{3/5}$$

si calcola un **tirante** $h \approx 0,057 \text{ m}$ (~5.7 cm) e una **velocità media v** di circa 3.15 m/s. Con tali caratteristiche il regime del moto (Fr) è assolutamente turbolento e supercritico.

Questi valori ci consentiranno, nel capitolo successivo, di eseguire delle valutazioni analitiche più precise sulla pericolosità del fenomeno e sulla vulnerabilità degli utenti della bretella (automobili e pedoni).

Certamente, la posizione della nuova bretella entro l'antico tracciato dell'alveo del torrente Cinaga non è una condizione del tutto rassicurante in quanto la sistemazione a monte, seppur importante e caratterizzata da una sua buona efficienza (come dimostrato anche in occasione dell'evento di luglio 2021), non può garantire al 100% che, in caso di

eventi estremi e con comportamenti anomali, anche a seguito di cedimenti di alcune opere di consolidamento lungo l'asta (si ricorda come delle 43 briglie presenti a monte di Samone, 40 di queste siano realizzate in pietra ed alcune di queste abbiano ormai quasi 100 anni ed abbiano quindi, nonostante le condizioni di manutenzione apparentemente buone, quasi certamente superato la loro durata tecnica), si possano anche verificare tracimazioni in destra idrografica come quelle simulate. Anche la presenza di una direttrice di propagazione lungo la massima pendenza come è la strada forestale che corre in sponda destra a partire dal guado di quota 860 m slm, può rappresentare una problematica in caso di eventi estremi: un suo interessamento da parte del flusso risulterebbe assai critico in quanto, una volta imboccata tale direttrice, diventa impossibile il rientro dello stesso in alveo, come ben visibile nei risultati delle simulazioni riportate nello studio del 2022.

9. VULNERABILITA' DELL'AREA DI VARIANTE E POSSIBILI MISURE DI MITIGAZIONE

9.1. Vulnerabilità dell'area di variante

L'analisi delle simulazioni evidenzia come l'area lungo la strada (Via Nuova superiore), ove è previsto l'imbocco della nuova bretella e l'area di sosta, le grandezze simulate risultino potenzialmente vulnerabili sia per quel che riguarda la presenza umana (pedoni) che il transito veicoli. Nel caso in esame, la forza di trascinamento HxV (m^2s^{-1}) simulata sull'area di variante (compresa l'area di sosta) varia da $0.013 m^2s^{-1}$ (valore maggiore localizzato in corrispondenza dell'imbocco della nuova bretella) con un valore medio però di $0.44 m^2s^{-1}$. Riportando tali dati sulle curve di probabilità di instabilità delle persone in base alla loro altezza e peso derivanti da due studi sperimentali (Abt et al., 1989; Karvonen et al., 2000)

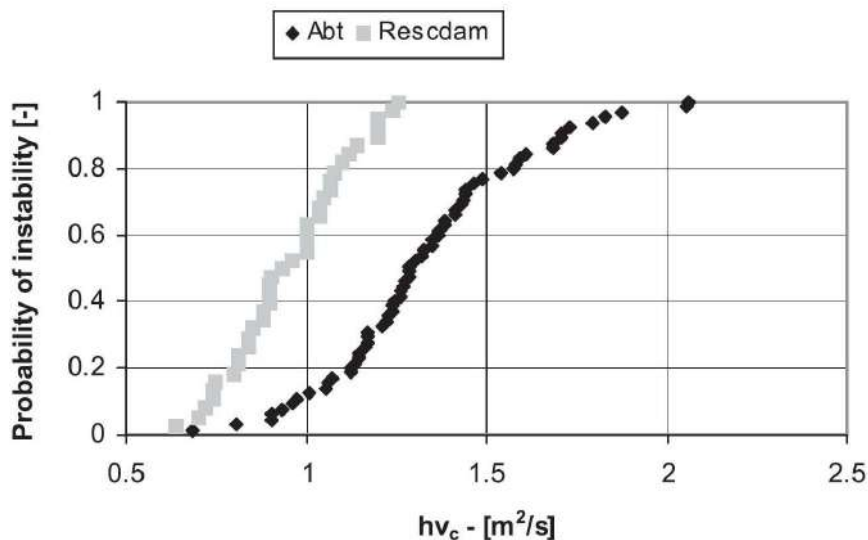


Fig. 9.1 – Distribuzione del Prodotto Critico Profondità-Velocità (Abt et al., 1989; Karvonen et al., 2000)

si nota come per un valore di trascinamento medio come quello simulato, la probabilità di instabilità delle persone arriva di fatto a 0% m. Tali curve ovviamente si alzano al diminuire dell'altezza e peso dei soggetti (es. bambini).

Utilizzando un lavoro svolto da Ramsbottom et al. (2004) e Penning-Rowssellet al.(2005), i quali propongono un indice di pericolosità HR per le persone basato sulla profondità del flusso, sulla velocità e sulla quantità di sedimento trasportato (con un debris factor DF variabile tra 0 e 1), utilizzando il valore medio calcolato lungo la strada sull'area pari a 0.057 m per il tirante, 3.15 m/s per la velocità e un DF qui valutato pari a 1.0 dato il tipo di fenomeno di trasporto solido atteso, anche con trasporto di ghiaia grossa (dm 5 mm), si ottiene un indicatore di pericolosità per le persone pari a 1.21, che corrisponde ad una classe di pericolo MODERATO solo per alcune persone (nella fattispecie, i bambini), come di seguito riportato.

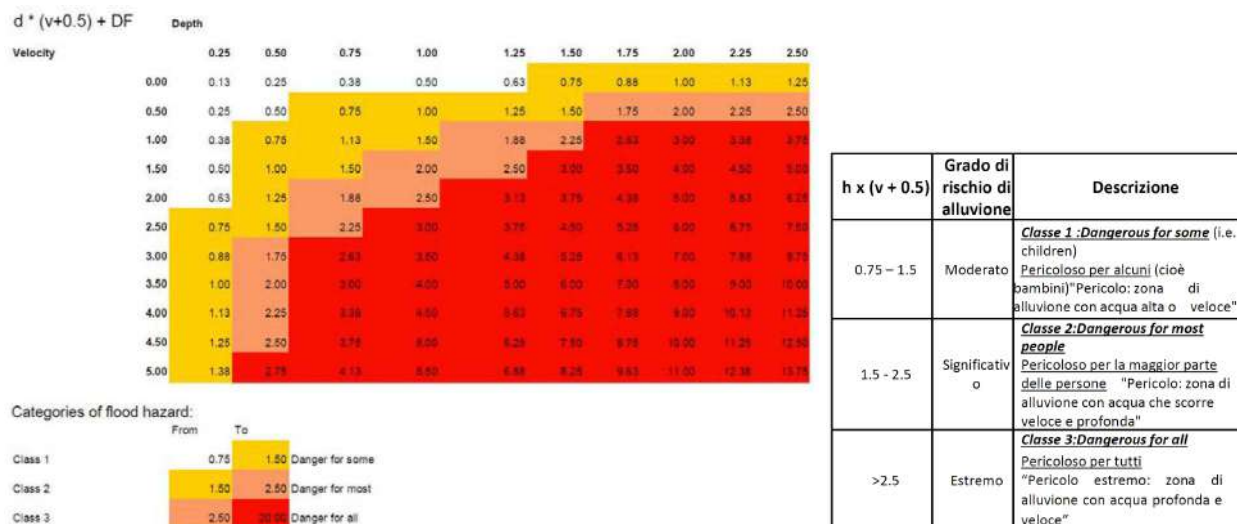


Fig. 9.2 – Classi di pericolo per le persone secondo Ramsbottom et al. (2004) e Penning-Rowssellet al. (2005)

Con un HR ≈ 1,21 siamo però quindi quasi al limite superiore della fascia moderata: ciò significa che per un adulto sano, la situazione può essere ancora gestibile ma critica; per bambini, anziani, persone fragili il rischio di caduta/scivolamento è elevato.

Se calcoliamo ora la potenziale forza idrodinamica generata da una corrente di questi tipo su un pedone, ipotizzando una situazione "tipo" con

- Massa pedone = 75 kg → peso ≈ 735 N
- area "bagnata" alle gambe ≈ h · larghezza ≈ 0,057·0,4 ≈ 0,023 m²
- CD ≈ 1 (coefficiente di resistenza o di drag)

$$F_D \approx \frac{1}{2} \rho_m C_D A v^2 \approx 0,5 \cdot 1700 \cdot 0,023 \cdot 3,15^2 \approx 190 \text{ N}$$

Calcoliamo ora la forza di attrito (tra piedi e suolo), in Newton (N)

$$F_f \approx \mu N, \text{ con } \mu \approx 0,3 \text{ e } N \approx 735 \text{ N (piede non sommerso)}$$

$$\rightarrow F_f \approx 220 \text{ N.}$$

Vediamo che è molto vicina alla forza idrodinamica esercitata dalla corrente. Quindi su una strada con pendenza 18%, superfici bagnate + ghiaia mobile trasportata dalla corrente μ effettivo è probabilmente < 0,3, quindi la forza di trascinamento può superare la resistenza all'attrito. Si può quindi concludere che un adulto sano si possa trovare vicino

alla soglia di perdita di equilibrio/scivolamento; non è garantito che resti in piedi se la corrente colpisce lateralmente o se inciampa sui detriti; le categorie vulnerabili (anziani, bambini, disabili, ecc.) risultano invece fortemente a rischio.

Per quel che riguarda la stabilità di veicoli interessate dal flusso eventualmente parcheggiate o in transito nell'area, vari approcci di letteratura (EMA, Kramer, Martínez-Gomariz, etc.) indicano che:

- piccole auto perdono stabilità o vengono trascinate tipicamente per profondità $h \geq 0,3$ m, con $v \gtrsim 1-2$ m/s, oppure prodotti $hV \gtrsim 0,4-0,6$ m²/s;
- veicoli più alti ("SUV") resistono leggermente di più in termini di profondità, ma la forza idrodinamica cresce con v^2 e la stabilità decresce se la corrente colpisce di lato (orientazione sfavorevole).

Nel caso in esame, prendendo a riferimento un'auto tipo (segmento C) con massa media 1300 kg e luce a terra $\approx 0,15$ m:

- il tirante del flusso calcolato $\approx 0,057$ m $<$ luce a terra: l'acqua (miscela) non investe il fronte alto della carrozzeria, ma resta principalmente attorno alle ruote;
- la spinta forza idrodinamica sulle ruote cresce con ρ_m (densità della miscela acqua + sedimenti) rispetto all'acqua pura, ma il prodotto $HV = 0,18$ m²/s è ancora ridotto rispetto alle soglie sperimentali (tipicamente $h > 0,3$ m con $v > 1-2$ m/s per instabilità serie).

Quindi con le condizioni di flusso simulate non sembra esservi rischio di galleggiamento né rischio realistico di trascinamento dell'auto. Possono comunque esservi condizioni di aderenza molto ridotta (miscela densa + ghiaia possono favorire facilmente lo "skid"), possibilità di urto con cumuli di sedimento che possono deviare la traiettoria o bloccare il veicolo. Il rischio invece risulta altissimo per moto e biciclette.

Nel complesso quindi, per le automobili: siamo ancora in una condizione di relativa stabilità rispetto alla spinta idraulica; la sicurezza di marcia può invece essere considerata piuttosto scadente, rendendo quindi la strada da considerare piuttosto critica durante l'evento.

9.2 Interventi di mitigazione

Queste condizioni di vulnerabilità richiedono certamente l'implementazione di adeguati interventi di mitigazione che, seppur non in grado di evitare i fenomeni più critici, dovrebbero quantomeno riuscire a ridurre entro limiti accettabili il rischio per persone, veicoli e per l'infrastruttura stessa in caso di evento. Ovviamente, per situazioni di questo tipo, a parte l'opzione "zero" ossia la non realizzazione dell'intervento o la sua delocalizzazione in zone meno problematiche, non esiste una misura unica, migliore rispetto alle altre: è quindi necessario un approccio integrato di più misure, sia di tipo diretto (prevalentemente attivo) che di tipo indiretto (gestionale).

Tra le misure di tipo diretto **ATTIVO** rientrano tutti quegli interventi che mirano a contenere la vulnerabilità e ridurre potenziali danni nel caso in cui l'area e l'infrastruttura vengano raggiunte dai fenomeni. Nel caso in esame trattasi sostanzialmente di misure strutturali sulla piattaforma stradale e di gestione del drenaggio superficiale sulla piattaforma.

In particolare, per il caso in esame, si ritengono fondamentali

- valutare la possibilità di dare all'imbocco della nuova bretella una leggera contropendenza verso Via Nuova superiore;
- realizzazione di fossi di guardia a lato strada correttamente dimensionati per eventi molto intensi, con rivestimenti anti-erosione (geosintetici, pietrame, calcestruzzo magro) nei tratti a maggior pendenza, debitamente collegati con la rete delle acque bianche.
- drenaggi trasversali (cross-drain) frequenti per impedire la concentrazione di grandi portate lungo la carreggiata e la banchina. Nel caso in esame la prima griglia drenante appare necessaria già all'imbocco della bretella di monte in corrispondenza dello Stop;



Fig. 9.3-9.4 – Sistemi di drenaggio stradale (solo di riferimento)

- Pavimentazioni e banchine con buona capacità di smaltimento (pendenze laterali corrette, griglie, pozzetti facilmente accessibili e manutenibili).
- Valutare, se tecnicamente possibile, l'innalzamento di quota (almeno 50 cm) dell'area di sosta di monte a servizio delle Caserma VVFF, in quanto come ora prevista, sembra favorire l'indirizzamento del flusso verso la bretella.
- Si preveda la protezione dello spigolo del muro di cinta dell'edificio p.ed. 322 (centro polifunzionale Comunale – Fig. 9.5-9.7) ed il suo innalzamento ad almeno 1.0 m fuori terra per evitare che eventuali flussi in discesa lungo la viabilità ed a lato di questa possano tracimare ed interessare lo stesso (riferimenti sezioni 2-3 di progetto).

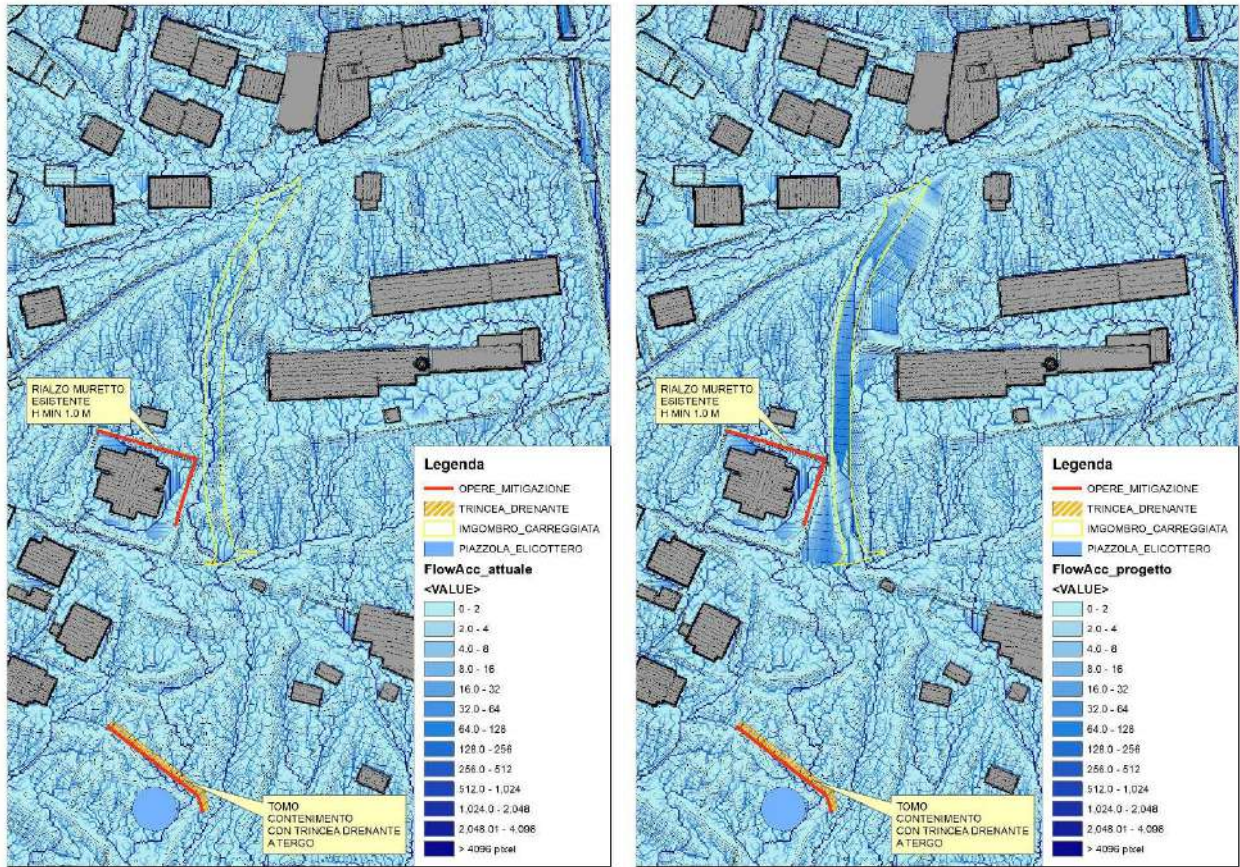


Fig. 9.8-9.9 – Mappa dell’area drenata attuale e con la realizzazione della bretella.

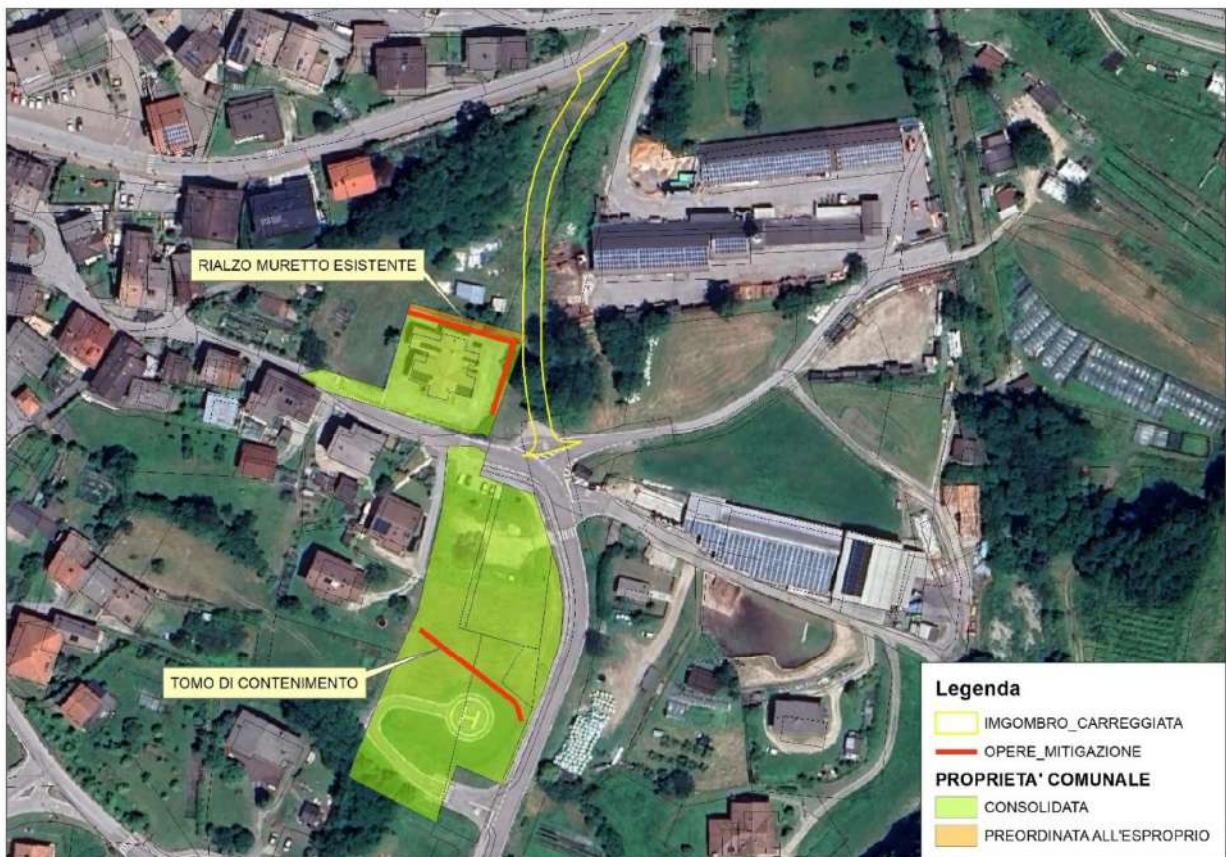


Fig. 9.10 - Posizione indicativa delle opere di protezione per la p.ed. 322 e per la piazzola dell’elisoccorso

Tra le misure di tipo indiretto **GESTIONALE**, da recepire a livello di Piano di protezione Civile comunale, sembra fondamentale la definizione di un protocollo di gestione dell’infrastruttura in caso di allerte meteo ufficiali da parte del Sistema provinciale di protezione civile. La gestione dell’infrastruttura appare possibile anche per la vicinanza alla caserma dei VVFF volontari di Samone, che consente di fatto il presidio continuo in caso di allerta (oltre che in corso d’evento) e la predisposizione di eventuali chiusure temporanee preventive al traffico pedonale e veicolare, che sembrano poter essere opportune in caso di allerta MODERATA (arancione) ed ELEVATA (rossa) per fenomeni idrogeologici, idraulici e temporaleschi. Chiaramente trattasi di misura gestionale non esaustiva per tutte le tipologie di fenomeno, in particolare per quelle caratterizzate da ridotto preavviso (es. temporali estivi), che possono comunque generare fenomeni intensi sul bacino come accaduto nel luglio 2021, evento la quale non era associato alcun bollettino di allerta.



Fig. 9.10 - Esempio di bollettino di allerta MODERATA (arancione) per fenomeni idraulici, idrogeologici e temporaleschi

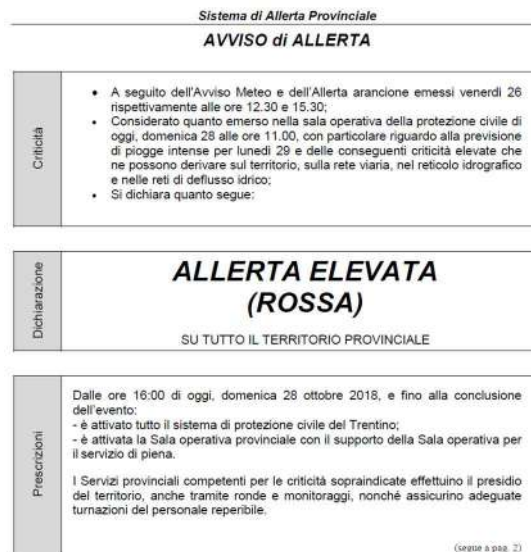


Fig. 9.11 - Esempio di bollettino di allerta ELEVATA (rossa) per fenomeni idraulici, idrogeologici e temporaleschi

10. COMPATIBILITA' DELLA VARIANTE

Lo studio idrologico, sedimentologico ed idraulico presentato nei capitoli precedenti, che ha in parte ripreso i risultati dello studio del Servizio Bacini montani per la redazione della CSP (Serv. Bacini montani - *Michelini T.*, 2022), ha esplicitato come sul conoide edificato dal torrente Cinaga, nella zona dell’abitato di Samone, siano potenzialmente da attendersi, con frequenza da media a bassa, prevalentemente fenomeni di trasporto solido torrentizio in forma prevalente di piena di detrito (o flussi iperconcentrati), ma, nei casi più critici ed a bassa-bassissima probabilità di accadimento, anche di colate di detrito (debris flow) con caratteri di elevata intensità per movimentazione ed erosione

progressiva sia di materiale presente in alveo che per localizzati franamenti superficiali di versante. Non sono prevedibili ad oggi fenomeni potenzialmente amplificabili dal cedimento improvviso, parziale o totale, di alcune delle opere presenti nella parte medio-alta del bacino, che comunque non possono essere esclusi a priori a causa della vetustà di alcune opere di consolidamento che, come detto, hanno ormai superato la loro durata tecnica.

L'analisi idrologica e sedimentologica condotta ha evidenziato come, viste le caratteristiche geomorfologiche del bacino, siano da attendersi fenomeni di magnitudo caratterizzati da volumi e picchi di portata assolutamente non trascurabili, con volumi massimi nell'ordine di 70-80.000 mc per l'evento di colata estremo simulato con TR 200 anni.

Trattandosi di fenomeni torrentizi assai energetici, come confermato dall'analisi morfologica (energia del rilievo molto importante) e sedimentologica nonché dalle testimonianze relative agli eventi storici registrati negli ultimi 150 anni e dai testimoni muti presenti sull'intero corso d'acqua e sul conoide, non si può mai veramente parlare di pericolosità nulla o trascurabile essendo questi caratterizzati da elevata imprevedibilità di innesco, impulsività e grado di parossismo, anche e soprattutto alla luce dei cambiamenti climatici in atto. Tra l'altro, come già ricordato, dopo un periodo di apparente quiescenza del bacino dopo l'alluvione del 1966, lo stesso ha avuto una evidente riattivazione a seguito dell'evento Vaia dell'ottobre 2018 e ancor più di quello del luglio 2021: quest'ultimo ha portato al riempimento quasi completo di molte delle opere che, dopo il 1966, sono rimaste vuote per decenni.

Le evidenze dello studio mostrano come, allo stato attuale, l'area su cui è prevista la variante urbanistica per opere pubbliche e su cui dovrebbe essere realizzata nel futuro la nuova bretella stradale di collegamento tra Via Nuova superiore e a SP 39, possa ad oggi essere ancora potenzialmente interessata da fenomeni propagatori **solo nel caso di eventi di colata a bassa/bassissima probabilità di accadimento, rientranti negli scenari di pericolosità RESIDUA**, seppur con intensità e valori delle grandezze simulate prevalentemente di grado da BASSO (per quel che riguarda i tiranti) fino a MEDIO (per quel che riguarda le velocità). Tali fenomeni non appaiono in grado di dar luogo ad effetti potenzialmente distruttivi, ma certamente problematiche in termini di funzionalità dell'infrastruttura e potenziale pericolo per le persone che si trovino su di esso in corso di evento, in particolare le utenze più deboli.

Non si dimentichi inoltre la posizione dell'infrastruttura proprio sul sedime dell'antico alveo del Cinaga: se ad oggi non appare prevedibile e comunque molto difficile il ritorno del corso d'acqua su tale direttrice, ciò non esclude la possibilità che eventuali fuoriuscite, anche parziali, nel tratto a monte in concomitanza di eventi estremi, possano interessare nuovamente con flussi di natura secondaria tali aree.

Appare quindi più che opportuno che la compatibilità della variante urbanistica sia legata alla messa in atto di misure di mitigazione di tipo attivo e gestionale descritte al capitolo precedente. Al riguardo, con riferimento alla Nota 1 del Cap. 8.3 dell'Allegato C alla DGP 1361 del 12 settembre 2025, si attesta che le misure di tipo attivo di cui al cap. 11 ricadranno completamente entro aree già di proprietà del Comune di Samone, aree già preordinate all'esproprio (p.f. 1024/4), aree da espropriare per pubblica utilità una volta approvata la variante in questione (vedi pp. ff. 1024/1 (porzione), 1025/2 riportate in Fig. 10.1) nonché, per l'imbocco di valle della nuova bretella entro aree di Proprietà PAT (Demanio Strade – p.f. 1025/4) le cui modalità verranno definite da apposita convenzione in fase di progetto definitivo.

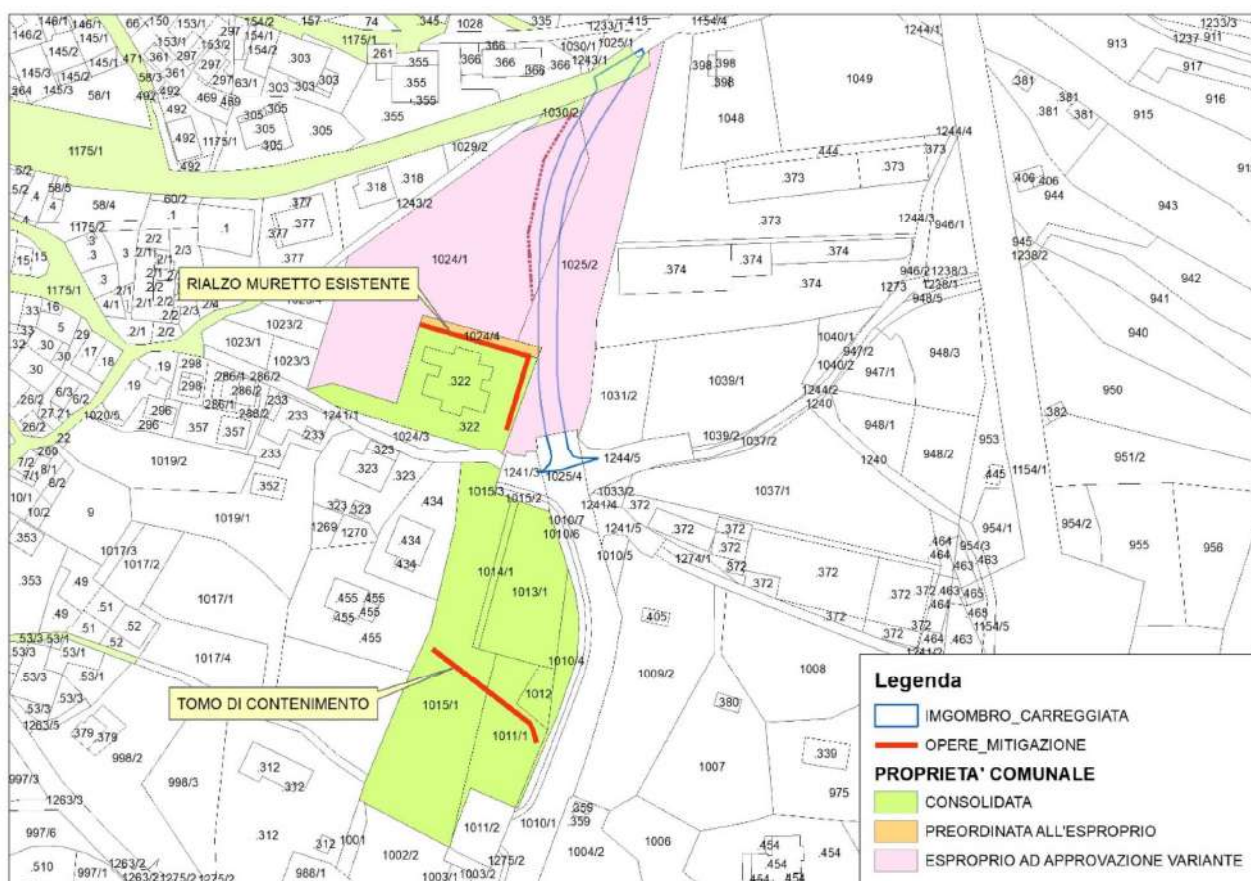


Fig. 12.1 – Posizione su mappa catastale delle misure di mitigazione previste

Con la realizzazione degli interventi di mitigazione di cui sopra che, vista la situazione ed i risultati delle simulazioni propagatorie, appaiono conditio sine qua non per mitigare la vulnerabilità dell'infrastruttura e gli effetti di questa sulle aree limitrofe, anche alla luce di possibili fenomeni estremi ed anomali che lo stato di dissesto del bacino combinato alla crisi climatica in atto potrebbe far diventare sempre più frequenti ed intensi, si ritiene ragionevole che il progetto di variante possa risultare ragionevolmente COMPATIBILE con l'attuale livello di penalità P3 (Art. 16).

I contenuti e le considerazioni riportate nel presente studio hanno validità per i fenomeni i tipo torrentizio attesi sul torrente Cinaga nella configurazione geomorfologica, vegetazionale, edificatoria e sistematoria attuale.

Eventuali future modifiche sostanziali dello stato dei luoghi e della configurazione di cui sopra, ad oggi non prevedibili, potranno portare alla perdita di validità parziale o totale delle considerazioni ivi riportate.

Samone, li febbraio 2026

Il tecnico

Dott. for. Silvio Grisotto

