

**PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO**  
**COMUNE DI CAMPITELLO DI FASSA**

STUDIO IDROLOGICO, SEDIMENTOLOGICO E IDRAULICO DEI FENOMENI TORRENTIZI SU AREE AD APPROFONDIRE APP DELLA CSP PER LA COMPATIBILITA' DELLA PROPOSTA DI VARIANTE URBANISTICA 2-2019 AL PIANO REGOLATORE GENERALE – VARIANTI PUNTUALI V33 E V41 IN LOC. "COL DE LIN"

**PROPONENTE: COMUNE DI CAMPITELLO**

Novembre 2021

IL TECNICO

**DOTT. SILVIO GRISOTTO**



Questo documento non potrà essere copiato, riprodotto o duplicato in tutto o in parte senza il consenso dell'autore (legge 22 aprile 1941, n. 633 art. 2575 e segg. C.C.). Tutti gli abusi saranno perseguiti a norma di legge.

## SOMMARIO

1. INTRODUZIONE.....	3
2. INQUADRAMENTO DEL BACINO DEL TOAL “COL DE LIN”: GEOLOGIA, USO DEL SUOLO, IDROGRAFIA E POTENZIALI SORGENTI DI SEDIMENTO.....	6
3. STIMA DELL’EVENTO DI RIFERIMENTO: IDROGRAMMA, SEDIMENTOGRAMMA E DEBRISGRAMMA.....	19
4. LA SIMULAZIONE PROPAGATORIA BIDIMENSIONALE CON IL CODICE FLO-2D SUL CONOIDE DEL TOAL COL DE LIN	26
5. PERICOLOSITA’ GLOBALE DELL’AREA .....	34
6. CONCLUSIONI E COMPATIBILITA’ DELLE VARIANTI.....	37

## 1. INTRODUZIONE

Il presente studio si inserisce nella valutazione delle pericolosità idrogeologiche potenzialmente attese su un piccolo conoide da debris flow edificato dal collettore effimero senza nome ufficiale in cartografia qui denominato per semplicità “toal Col de Lin”, in Loc. Fontanazzo - Comune di Campitello di Fassa, per la compatibilità delle proposte di variante puntuale al PRG codificate V33 e V41 per i cui dettagli si rimanda agli elaborati a firma dell'Arch. Remo Zulberti. Lo studio viene redatto secondo il documento *Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità* (art.10, comma 5, L.p. 1 luglio 2011, n. 9) approvato con deliberazione G.P. n. 1306 del 04 settembre 2020, secondo quanto disposto dall'Art. 18 delle Nda del PUP. Un inquadramento dell'area di variante, della cartografia relativa e del bacino afferente è visibile nelle immagini che seguono.



Fig. 1.1 – Area oggetto di varianti



Fig. 1.2-1.3 – Particolati cartografici delle due varianti puntuali

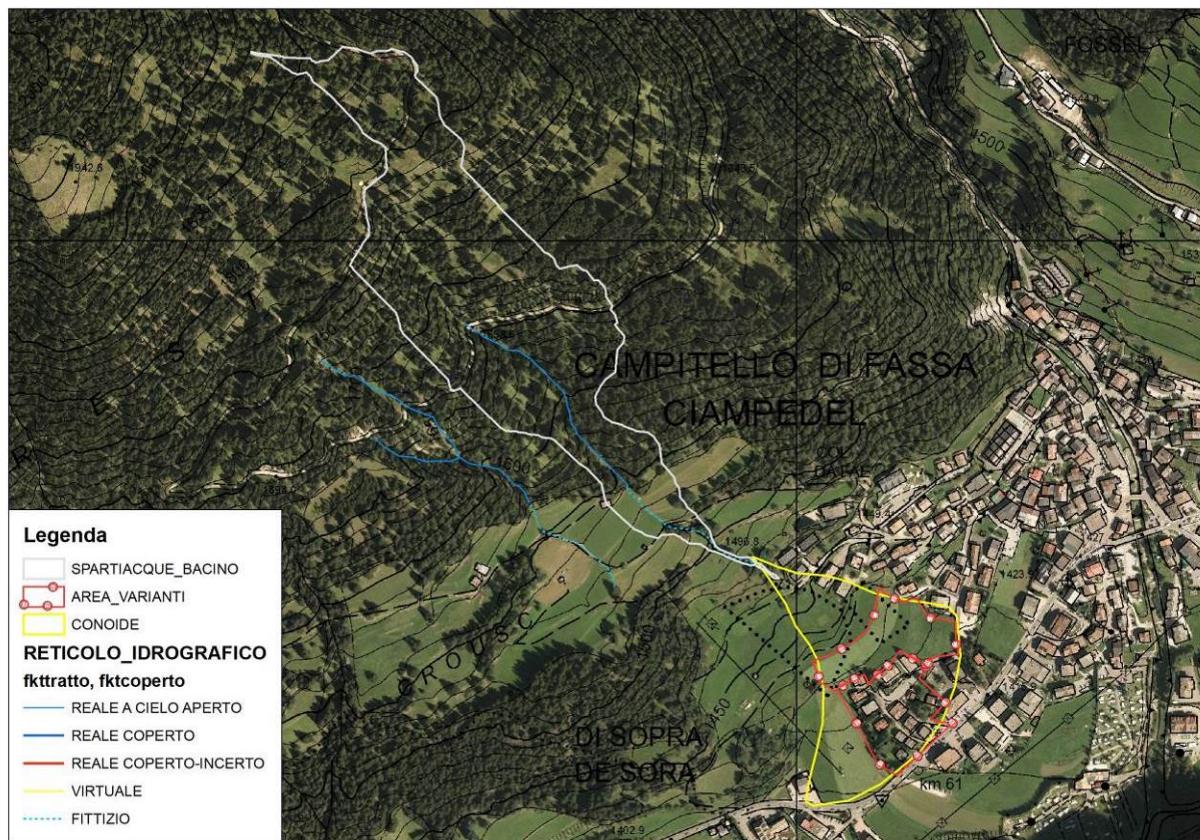


Fig. 1.4 – Inquadramento del bacino e dell'area in cui è prevista la variante su CTP e ortofoto

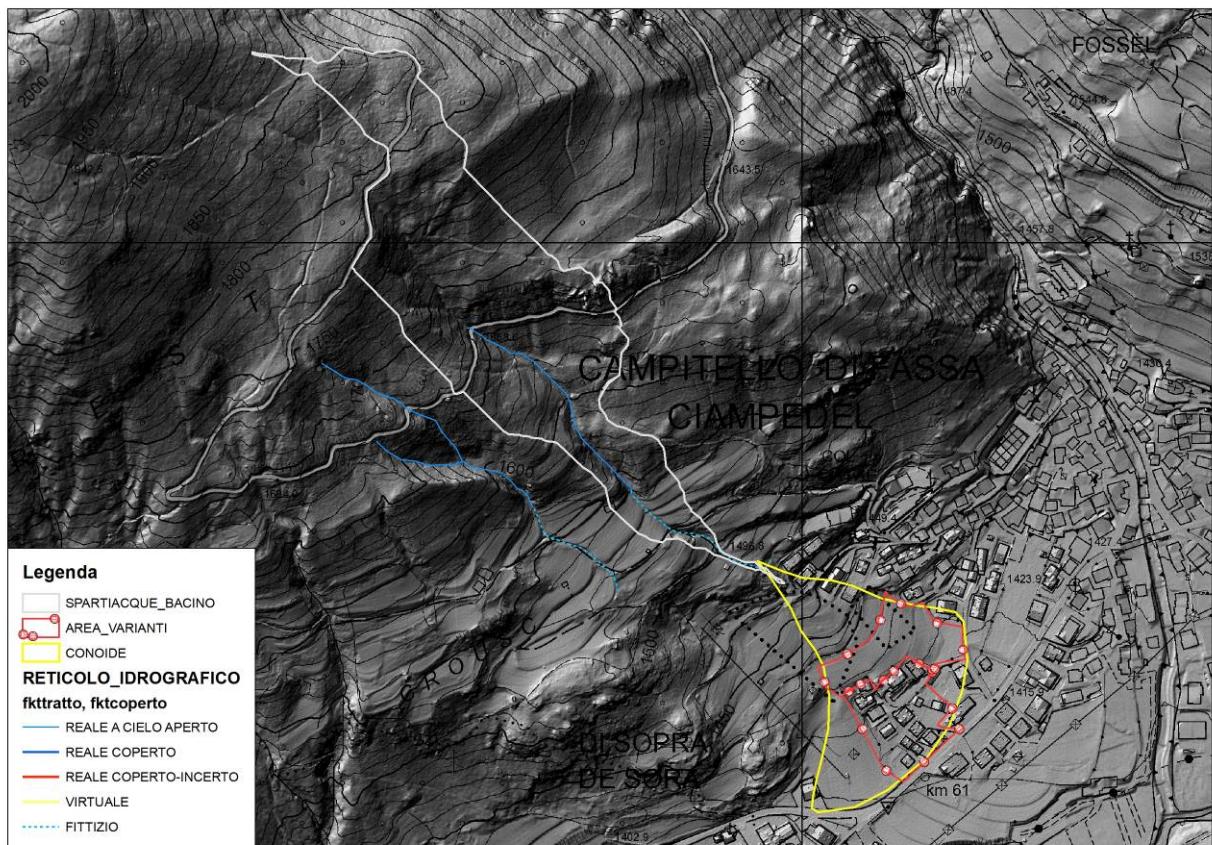


Fig. 1.5 – Inquadramento del bacino e dell'area in cui è prevista la variante su Hillshade LIDAR (1x1 m)

Scopo principale dello studio è quello di valutare la compatibilità dell'intervento nei confronti della pericolosità da fenomeni torrentizi, in particolare le piene con forte trasporto solido e colate di detrito potenzialmente provenienti dal piccolo collettore che scende dal versante in destra idrografica dell'Avisio, collettore senza nome ufficiale e non iscritto all'elenco delle acque pubbliche, qui denominato per semplicità "Toal Col del Lin": non si hanno notizie certe di eventi critici recenti originati in passato dal collettore. La mancanza di storicità, però, non deve trarre in inganno in quanto non rappresenta certamente l'unico elemento di valutazione della potenzialità di un collettore ad originare fenomeni di piena e trasporto solido: le caratteristiche intrinseche del versante interessate dal collettore, infatti, fanno propendere per una situazione relativamente stabile ma comunque da tenere d'occhio, proponendo eventuali misure di mitigazione allo scopo di compatibilizzare totalmente gli interventi alla pericolosità e penalità attuale che lo studio ha l'obiettivo di definire.

Un'analisi dettagliata delle potenzialità del bacino del Toal "Col del Lin" risulta certamente necessaria in quanto esso insiste su un'area abitata e fortemente infrastrutturata ove la vulnerabilità in caso di evento è molto alta, non presenta sostanzialmente opere di protezione/sistemazione in grado di contenere e gestire eventuali fenomeni di trasporto solido massivo (questo, per certi versi, può essere una conferma della bassa/nulla attività nel recente passato), presentando comunque segni di potenziale dissesto e fragilità idrogeologica sul versante, con possibilità di formazione di piccoli fenomeni di colata di detrito seppur di magnitudo valutabile di grado piuttosto basso.

Dal punto di vista normativo, a seguito della deliberazione n°1317 del 4 settembre 2020 con cui la Giunta Provinciale ha adottato in via definitiva le nuove CaP (Carte della pericolosità idrogeologica), l'area in esame risulta attualmente caratterizzata da un livello di pericolosità-penalità POTENZIALE (HP-AAP) da fenomeni torrentizi collegabili proprio al reticolto in questione come visibile nella figura che segue (Fig. 1.6). Per queste aree, la norma (Art. 18) prevede:

*Art. 18 **Arene con altri tipi di penalità.** Nel caso di nuove previsioni urbanistiche e di autorizzazione in deroga di opere pubbliche o di interesse pubblico nelle aree da approfondire, il piano o progetto sono supportati da un o studio che, con riferimento al contesto, assicuri l'approfondimento degli eventi attesi e la classificazione dell'area oggetto di modifica secondo la disciplina delle classi di penalità....*

Per una valutazione della reale compatibilità dell'intervento di variante quindi, risulta necessaria una valutazione puntuale sulla base delle risultanze del presente studio idrologico-idraulico nonché la valutazione delle eventuali opportune misure di mitigazione.

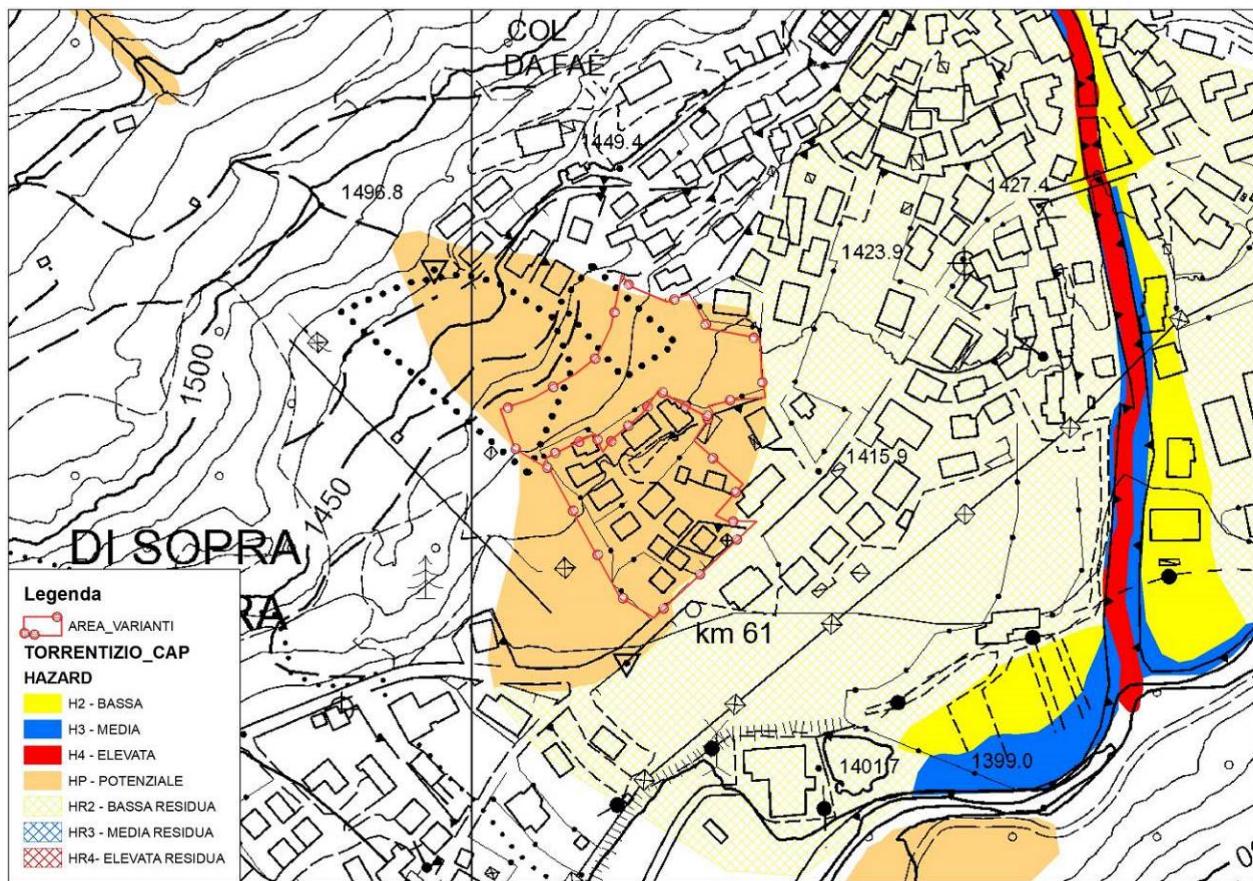


Fig. 1.6– Estratto nuova Carta della pericolosità idrogeologica per l'area in esame; fenomeni torrentizi HP-App – Art- 18)

## 2. INQUADRAMENTO DEL BACINO DEL TOAL “COL DE LIN”: GEOLOGIA, USO DEL SUOLO, IDROGRAFIA E POTENZIALI SORGENTI DI SEDIMENTO

Trattasi di un piccolissimo bacino ( $0.1 \text{ km}^2$ ) dalle caratteristiche torrentizie non così evidenti, tipiche un po' di tutti i collettori di questo ripido versante, impostato su un grande corpo di frana (paleofrana). Lo spartiacque si presenta molto stretto ed allungato che lo rende più un tovo che un vero e proprio corso d'acqua. In tutto il bacino le pendenze risultano piuttosto elevate influenzando conseguentemente anche il comportamento del piccolo collettore drenante che, comunque, non appare oggettivamente molto “aggressivo” presentando un'estensione visibile sul versante piuttosto ridotta (circa 200 m) andando poi a morire in un'ampia fascia di versante terrazzato a minore pendenza (Loc. Crousc), che funge in parte da conoide sospeso sopra la zona di fondovalle. Il bacino afferente al collettore è caratterizzato da una superficie 2D di  $0.1 \text{ km}^2$  con una forma molto stretta ed allungata ed andamento quasi rettilineo, con un indice di sinuosità praticamente pari a 1.

La conformazione del bacino è ben visibile anche dall'analisi morfometrica dello stesso ed in particolare dall'osservazione della curva ipsometrica e della distribuzione di frequenza delle classi di quota che evidenziano come il bacino si trovi in una condizione di sviluppo apparentemente abbastanza “matura”, secondo l'approccio proposto da *Scheidegger* (1987) e quindi ancora potenzialmente interessabile da attività erosiva seppur non così, intensa in grado di modellarne le forme.

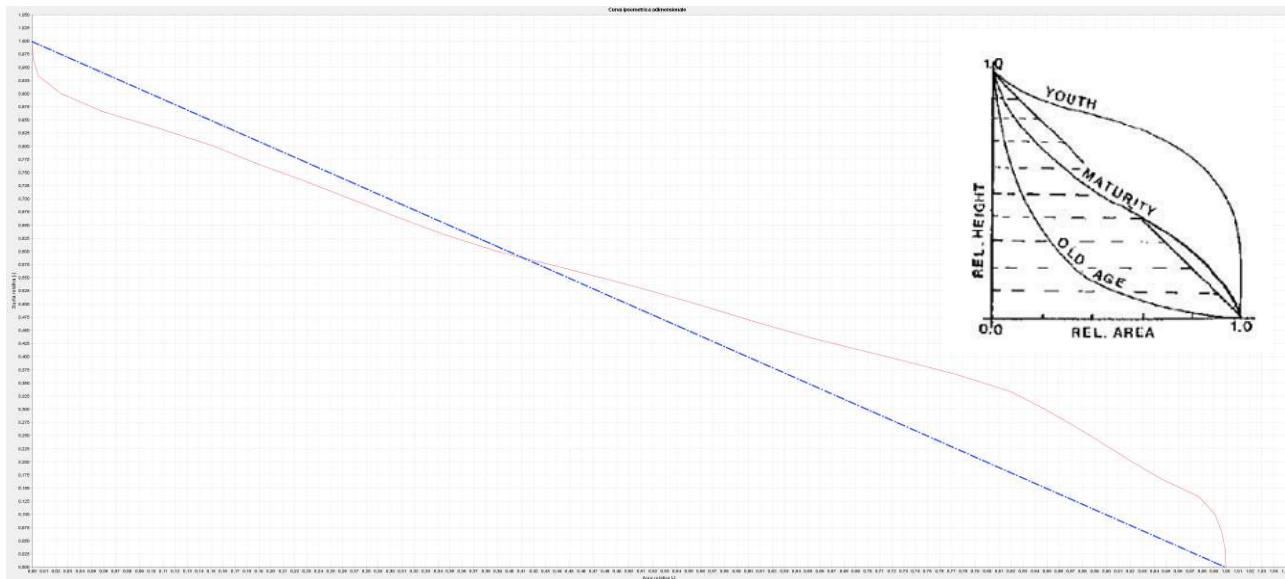


Fig. 2.1. Bacino del Toal Col de Lin: curva ipsometrica adimensionale (Scheidegger, 1987)

Partendo da un DTM 1x1 m dell'area, derivante dall'interpolazione del più preciso DTM LIDAR, si è estratti il bacino e se ne sono estrapolate le principali caratteristiche morfometriche ed idrografiche, di seguito riportate (Tab. 2.1)

	Valore	U.m.
Superficie totale del bacino 2d-3d	0.10-0.12	km <sup>2</sup>
Quota minima	1466	m s.l.m.
Quota media	1687	m s.l.m.
Quota massima	1877	m s.l.m.
Pendenza media	29.3-56.3	° - %
Pendenza massima	72.6-320	° - %
Eposizione prevalente	SE	-
Lunghezza asta principale	0.66	km
Lunghezza complessiva reticolo drenaggio	0.66	Km
Pendenza media dell'asta principale	41.3-22.4	% - °
Densità di drenaggio complessiva	6.6	km/km <sup>2</sup>
Tempo di propagazione (Ferro, 2003)	14	minuti
Tempo di propagazione (cinematico) Med-max	18-72	Minuti
Pendenza media conoide	16.2-9.2	% - °
N° di Melton bacino	1.29	-

Tab. 2.1 – Principali dati morfometrici e idrografici del bacino indagato chiuso all'apice del conoide

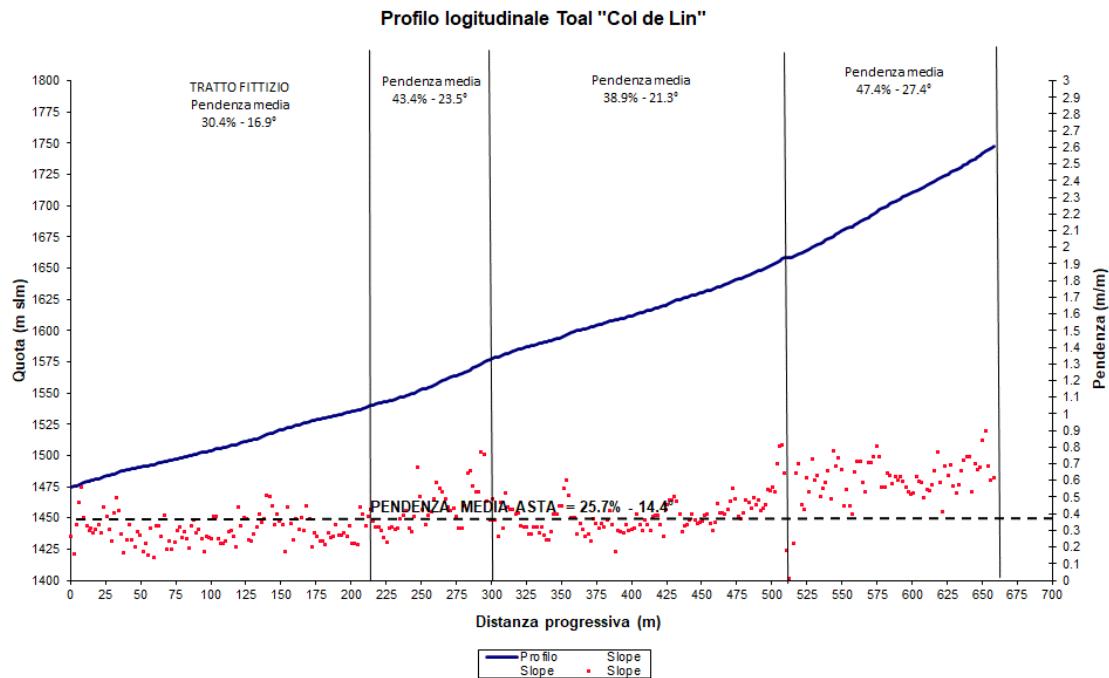


Fig. 2.2 – Profilo longitudinale dell'asta del Toal Col de Lin

Il profilo longitudinale del corso d'acqua fino all'apice del conoide (Fig. 2.2) evidenza sostanzialmente una livelletta a pendenza piuttosto costante e sostenuta. Il tratto torrentizio vero e proprio, fino a quota 1515 m, presenta una pendenza media del 46.6% circa quasi senza soluzione di continuità se non in corrispondenza dell'attraversamento stradale di quota 1650 (strada forestale). E' certamente in questo tratto che sono maggiormente da attendersi eventuali possibili inneschi dei fenomeni di trasporto solido massivo e franamento, favoriti anche dalle caratteristiche geotecniche dei materiali che costituiscono le rocce della formazione del Werfen che caratterizza il versante e dei materiali derivanti dalla loro disaggregazione che ricoprono il versante, seppur con spessori non molto elevati.

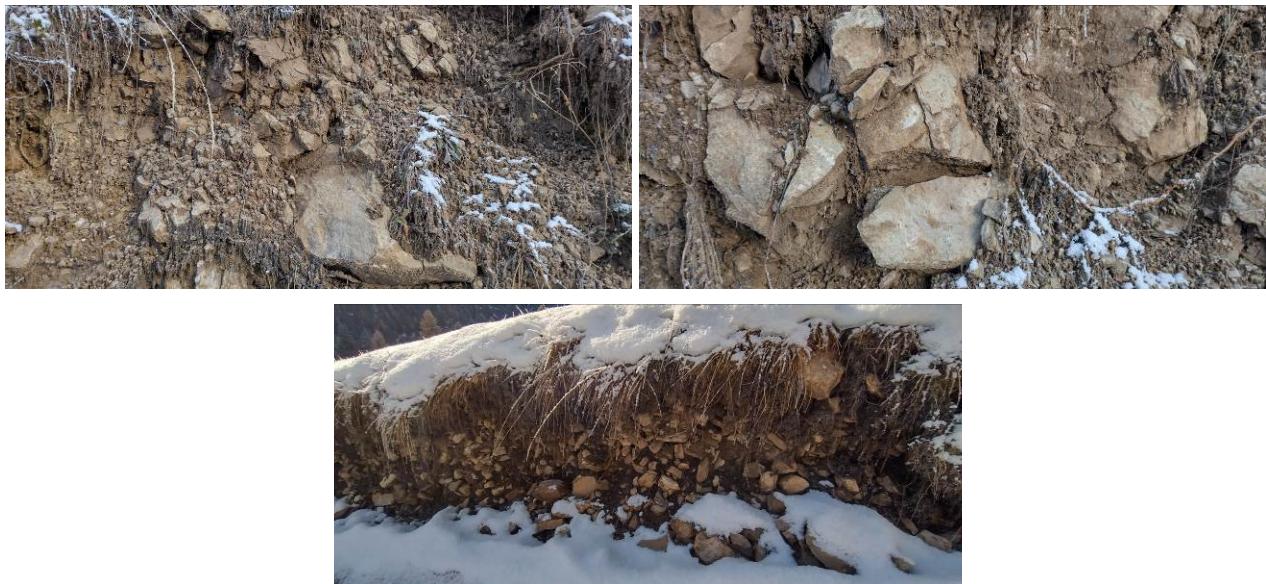


Fig. 2.3-2.5- Materiali costituenti i versanti, l'asta torrentizia e le zone di conoide: la permeabilità risulta medio-bassa per presenza di abbondante matrice fine.

Su queste pendenze piuttosto elevate sono da attendersi sostanzialmente potenziali fenomeni di innescio di piccole colate detritiche per erosione progressiva del letto, anche in condizioni di non saturazione degli ammassi, a patto che vi sia sufficiente motore idrologico per mobilizzare lo strato di detrito saturo.

Il sopralluogo lungo l'asta torrentizia non ha evidenziato la presenza di particolati zone già in erosione attiva, anche se alcune forme presenti appaiono caratterizzanti antichi fenomeni di trasporto massivo, seppur di magnitudo oggettivamente limitata (Fig. 2.16-2.19).

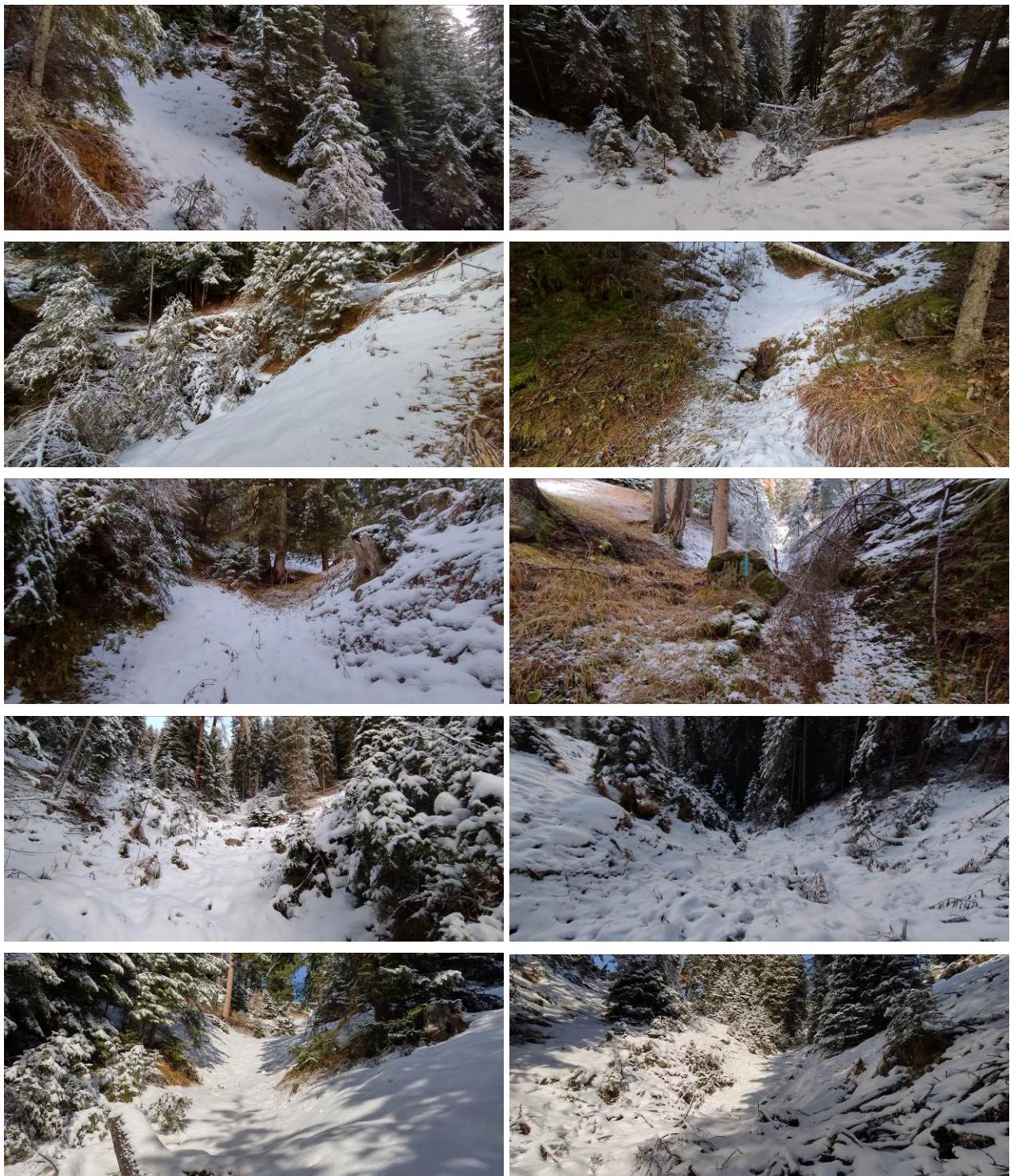


Fig. 2.6-2.15 – Caratteristiche del versante e dell'asta torrentizia



Fig. 2.16-2.19- Forme morfologiche deposizionali (levees) di passati fenomeni di trasporto rilevabili nella parte intermedia e alta dell'asta

Dal punto di vista vegetazionale (Fig. 2.22) il bacino abbastanza ben vegetato e ricoperto sostanzialmente da un bosco misto di abete rosso prevalente (pecceta altimontana xerica-PECCETA A erica con pino silvestre, pecceta subalpina), seppur su terreni abbastanza superficiali e con evidenti fasce di roccia affiorante. Si tratta di formazioni che evidenziano la xericità dei substrati. Dal punto di vista idrologico, si tratta quindi di una copertura relativamente efficiente nella laminazione dei deflussi diretti, almeno fino a quando le condizioni di saturazione e l'intensità di pioggia non diventano predominanti. La copertura naturale del versante ha però subito gravi danni a seguito della tempesta "Vaia" dell'ottobre 2018. Che ha ridotto fortemente il grado di copertura, cerando anche diverse zone in dissesto attivo a causa dello schianto delle piante (Fig. 2.20-2.21).



Fig. 2.20-2.21 – Esempi di zone schiantate all'interno del bacino

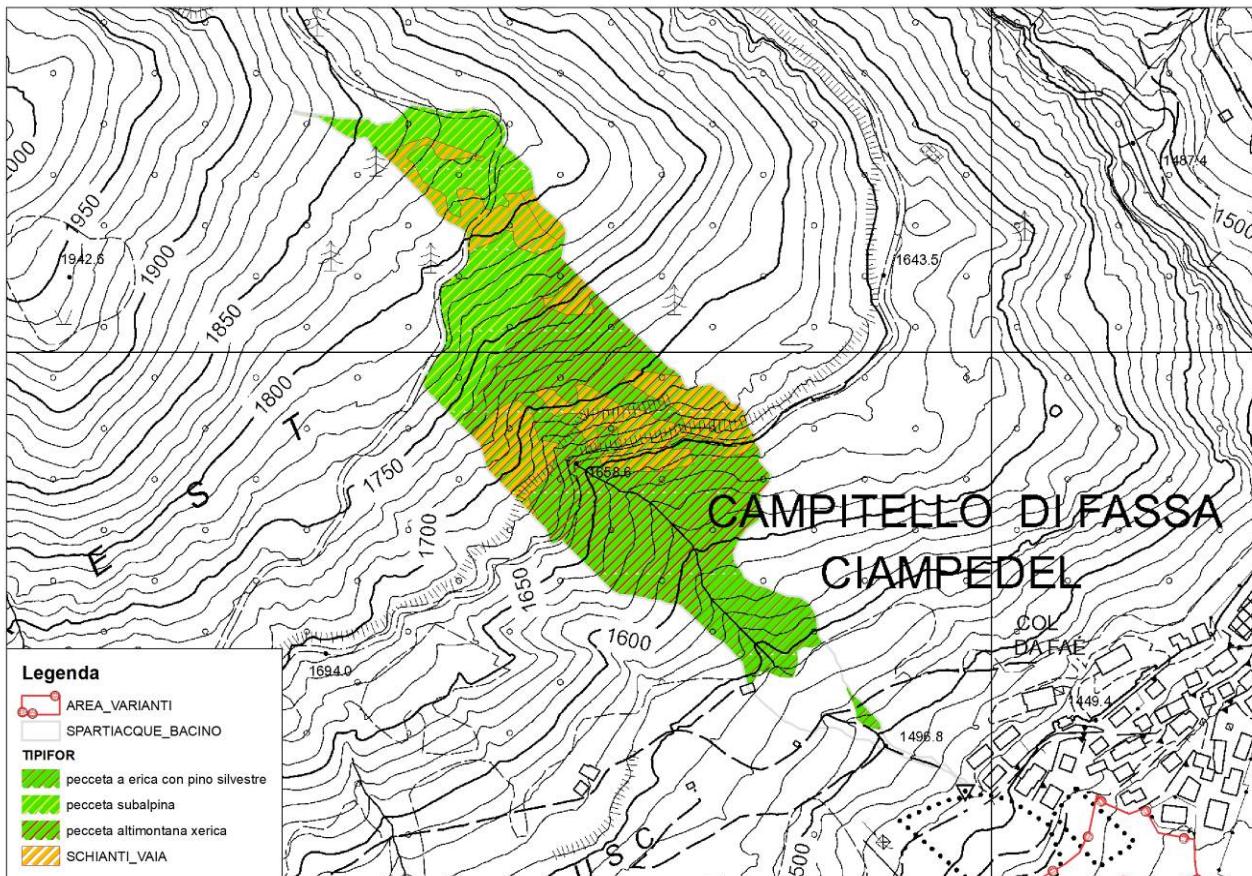
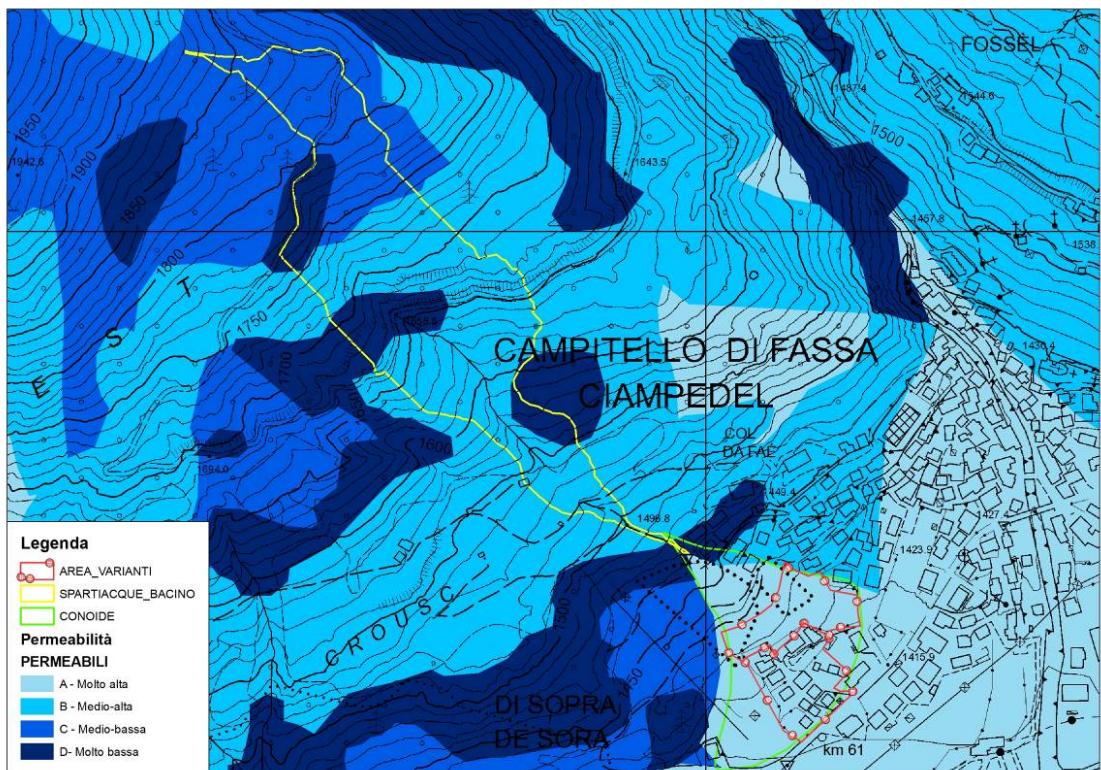
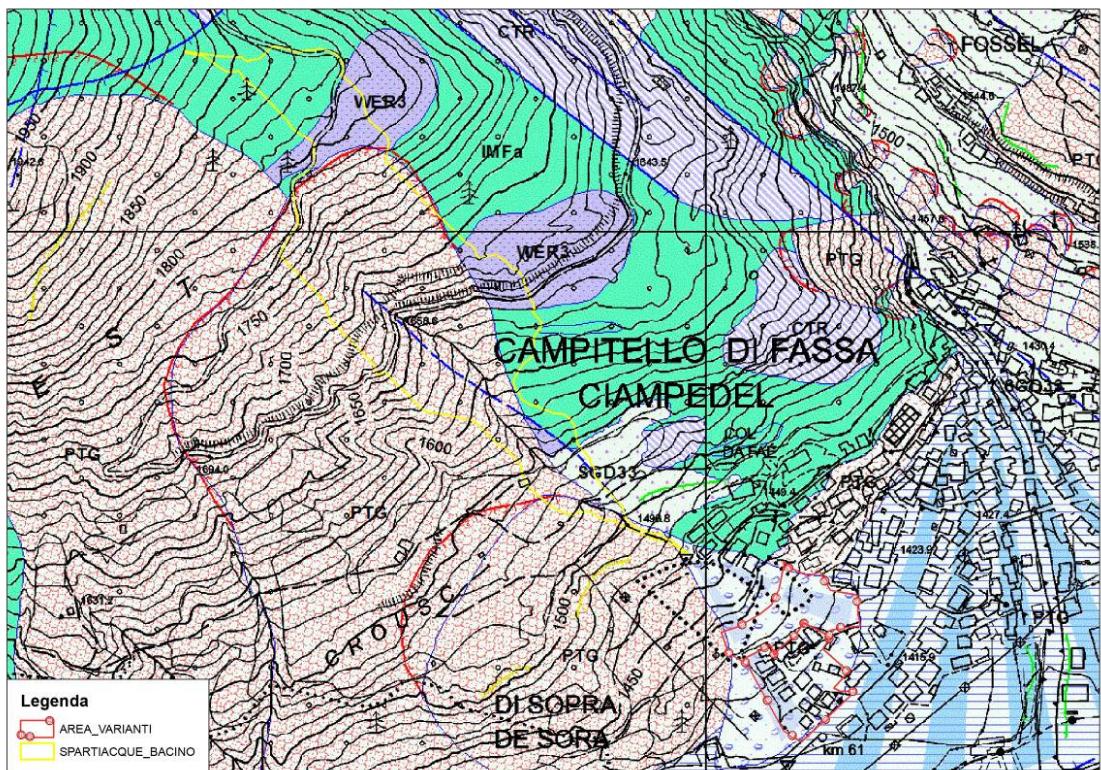


Fig. 2.22 – Copertura forestale nel bacino in studio e zone schiantate da Vaia

Dal punto di vista geolitologico e strutturale (Fig. 2.23), come parzialmente tratto da una relazione geologica del dott. geol. Simone Dalla Pozza redatta per un intervento nelle vicinanze e gentilmente connessa in consultazione, il bacino si trova nell'unità strutturale del Sudalpino ed ha un'ossatura costituita dalla Formazione di Werfen con le classiche facies siltoso-calcareo marnose fittamente stratificate. Si tratta prevalentemente di areniti, siltiti, argilliti, marne e calcari, tutti ben stratificati. Localmente la Formazione di Werfen è sormontata da brecce vulcaniche, brecce di esplosione, lave a pillow e vulcaniti compatte di colata, di età Triassica (Ladinico superiore) in cui compaiono litotipi carbonatici compatti, riferibili alla Dolomia del Serla. Generalmente questo tipo di depositi sono caratterizzati da una buona coesione della matrice fine, fatto attribuibile alla buona cementazione del deposito. Nell'area non sono evidenti emergenze idriche né temporanee né perenni. L'erodibilità dei depositi (Fig. 2.25), comunque, rimane molto elevata in caso di deflussi superficiali in grado di dare inizio al moto delle particelle, che su queste pendenze molto sostenute richiedono tiranti d'innesto anche molto bassi.



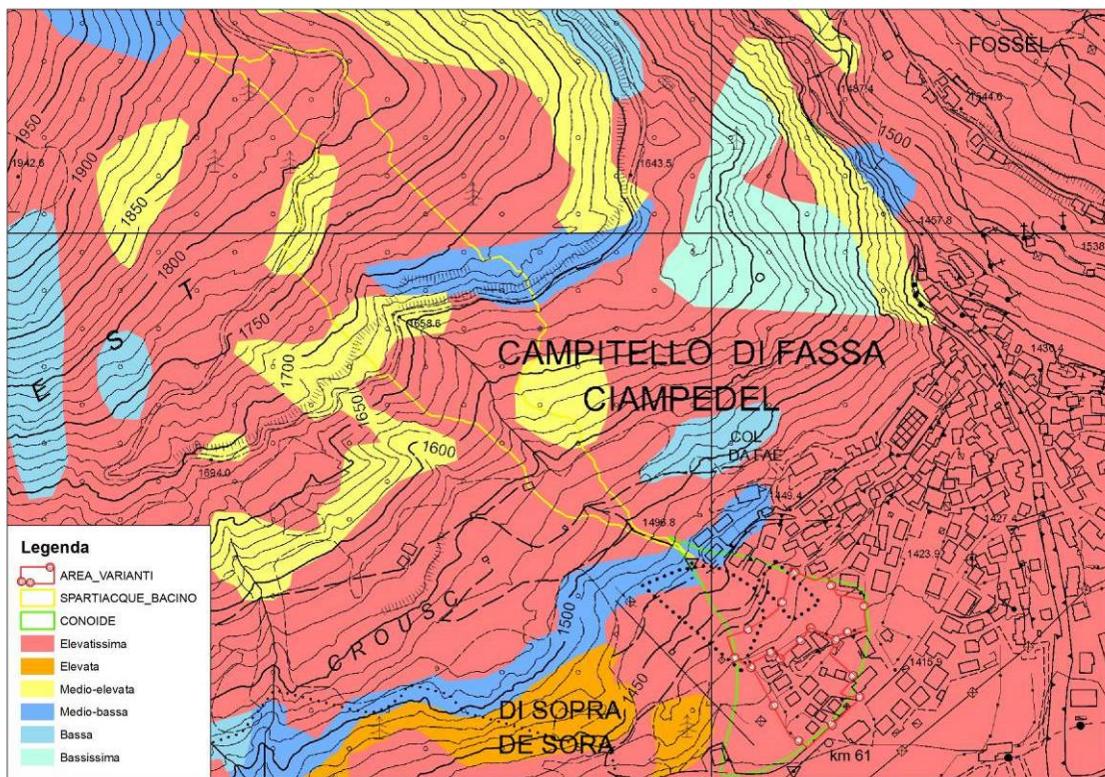


Fig. 2.23-2.25 – Carta geolitologica e dei lineamenti strutturali, della permeabilità ed erodibilità dei substrati del Toal Col de Lin

Si tratta di un corpo acquifero abbastanza impermeabile, ad eccezione dello strato (1-2 m) più superficiale fessurato e alterato, talvolta anche in senso argilloso, molto fratturato e trasformato in un ammasso di scaglie ad elevata erodibilità e scarse caratteristiche geotecniche.

Su tale substrato si appoggiano varie formazioni continentali quaternarie, tra cui prevalgono i depositi detritici di versante, che traggono origine dal disfacimento sia fisico che chimico del substrato roccioso sottostante, sono molto diffusi nel bacino in esame e sono rappresentati da tipico detrito di alterazione chimica e disaggregazione fisica prodotto dalle formazioni di Werfen. La zona in questione risulta così caratterizzata dal punto di vista stratigrafico: la porzione superficiale del terreno in oggetto (fino a circa 0,5 m da p.c.), contiene un'abbondante componente organica mista a sabbia e limo con ciottoli. Più in profondità il terreno è rappresentato da orizzonti di materiale detritico – di versante, prevalentemente sabbioso e ghiaioso, con spessori maggiori di 10 - 15 m, con clasti centimetrici e decimetrici perlopiù spigolosi, immersi in una matrice limosa e sabbiosa. Come osservato in scavi limitrofi, si tratta di un sedimento grossolano sciolto, caratterizzato prevalentemente da clasti di dimensioni da centimetriche a decimetriche e di tipo poligenico (calcareo/marnoso), immersi in una abbondante matrice, perlopiù limo-sabbiosa. Spesso in questi tipi di terreni sono presenti lenti, o veri e propri strati, di materiale limoso, che testimoniamo le stasi della deposizione locale.



Fig.2.26-2.27 – Principali affioramenti nel bacino

Nel complesso si tratta di un bacino dalla permeabilità piuttosto bassa (Fig. 2.24) sia superficiale che profonda, con caratteristiche idrogeologiche che favoriscono particolarmente l'infiltrazione e l'immagazzinamento di acqua solo superficialmente ma che possono risultare anche in fenomeni localizzati di saturazione del detrito più superficiale e la formazione di deflussi superficiali. Le acque meteoriche, dopo essersi infiltrate entro i depositi di copertura, vengono a perlopiù contatto con il predetto substrato, per poi scorrere parallelamente ad esso; non si può, però, escludere a priori che avvenga circolazione idrica anche all'interno della copertura quaternaria.

Dalla descrizione sopra riportata si traggono importanti elementi di valutazione dei quali che può essere la risposta idrologica e sedimentologica del bacino agli eventi di pioggia più gravosi, che per il bacino in esame, vista la sua dimensione molto ridotta (0.12 kmq - 3D), sono rappresentati da fenomeni di pioggia di durata molto breve (da poche decine di minuti a 1-2 ore) si isolati (es. scrosci estivi) che inseriti all'interno di periodi di pioggia più prolungati che portino ad un elevato grado di saturazione dei versanti e ad un indebolimento delle zone di versante caratterizzate da detrito di alterazione delle rocce siltose e calcareo-marnose. La configurazione geomorfologica sopra descritta influenza fortemente anche la cosiddetta *Sediment Connectivity* all'interno del bacino (Fig. 2.28), 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 solo l'impluvio principale presenti valori di connettività sopra la media, evidenziando come solo eventuali fenomeni di trasporto solido originati in questa zona possano più facilmente raggiungere la sezione di

chiusura. Le altre parti del bacino, invece, presentano valori piuttosto bassi di tale indice, evidenziando perciò una minor connessione con il resto del reticolo e con la sezione di chiusura. Ciò ci fornisce già un'utile indicazione su quali possano realmente essere le zone del bacino che possano contribuire in maniera prevalente alla formazione di eventuali contributi solidi. Trattasi quindi prevalentemente delle zone del bacino, che per pendenza, area drenata e caratteri geomorfologici ed erodibilità (molto elevata), risultano anche quelle più facilmente capaci di rifornire il corso d'acqua con volumi solidi, seppur oggettivamente non elevati.

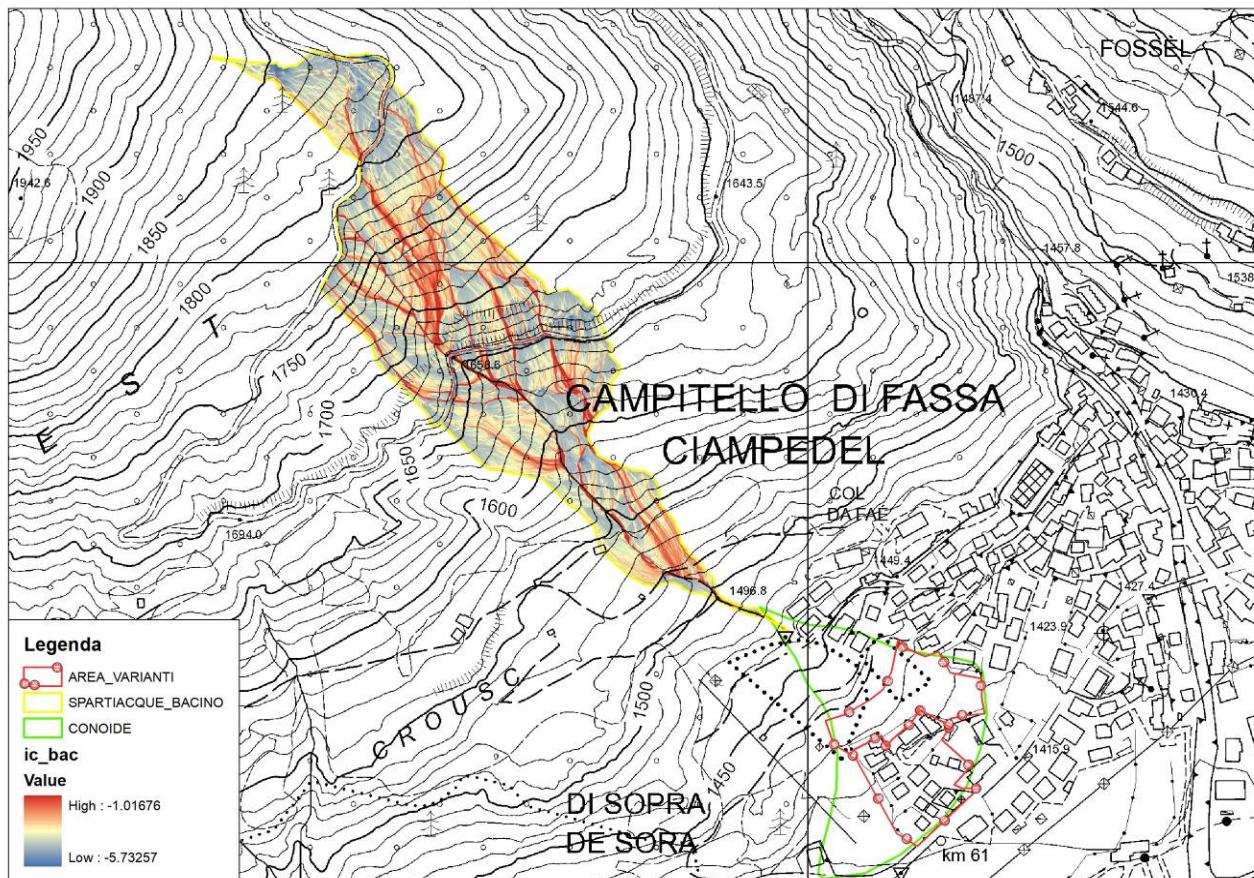


Fig. 2.28 – Sediment connectivity index del bacino in studio

Una conferma, seppur parziale, delle impressioni avute in sede di sopralluogo, ci viene fornita 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 contribuente a monte (km<sup>2</sup>).

Questo approccio trova il suo fondamento sul fatto che, ipotizzando non limitante la disponibilità di materiale movimentabile, l'innesto di una colata detritica canalizzata dipende dal superamento di valori critici di portata e pendenza. Per valori di pendenza  $> 38^\circ$  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'innesto sono stati classificati nelle categorie propagazione ( $>8^\circ$ ), rallentamento ( $3-8^\circ$ ) e deposito ( $< 3^\circ$ ) 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'innesto; tale elaborazione permette di individuare, almeno qualitativamente, quali sono le zone all'interno del bacino in cui maggiore è la densità dei punti d'innesto (*kernel density*) e quindi la suscettività a dare origine a fenomeni di trasporto solido massivo (Fig. 2.29-2.30).

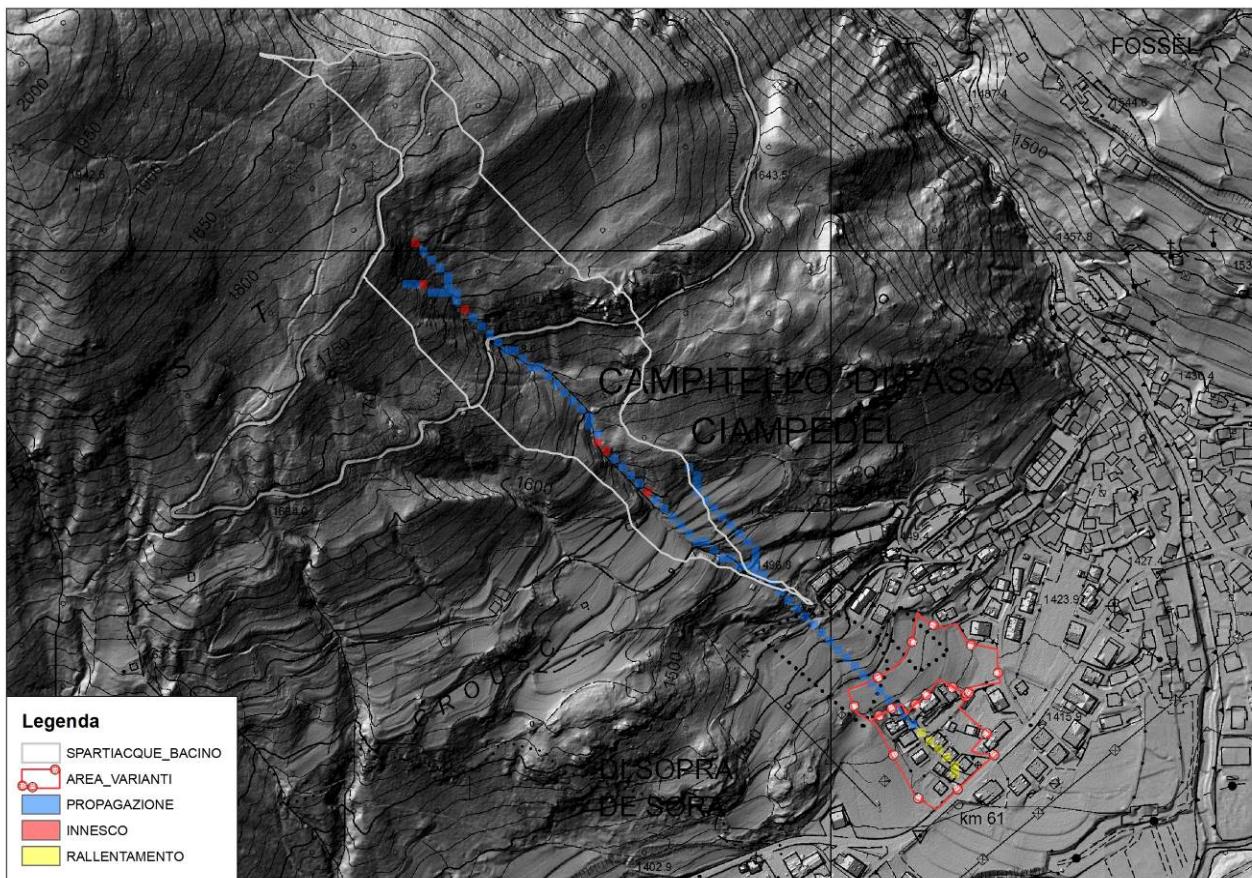


Fig. 2.29 - Fenomeni prevalenti lungo il reticolo idrografico sintetico

Non vi sono lungo l'asta zone caratterizzate da prevalenti fenomeni di rallentamento ed arresto, se non, forse, in corrispondenza del terrazzo prativo in Loc. Crousc ove potrebbero oggettivamente verificarsi fenomeni di deposizione in uscita dalla vallecola per minor grado di confinamento morfologico; quindi quello che può provenire della zona centrale e di testata potrebbe certamente subire una certa trasformazione seppur non sostanziale. I punti di innesco principali (Fig. x) si localizzano nel tratto di vallecola appena a monte della Loc. Crousc e nel tratto a monte della strada forestale, ove anche in sede di sopralluogo si è evidenziata la presenza di alcuni depositi di fenomeni di trasporto solido e ove le pendenze, oggettivamente, risultano assai predisponenti ( $26-27^\circ$ ).

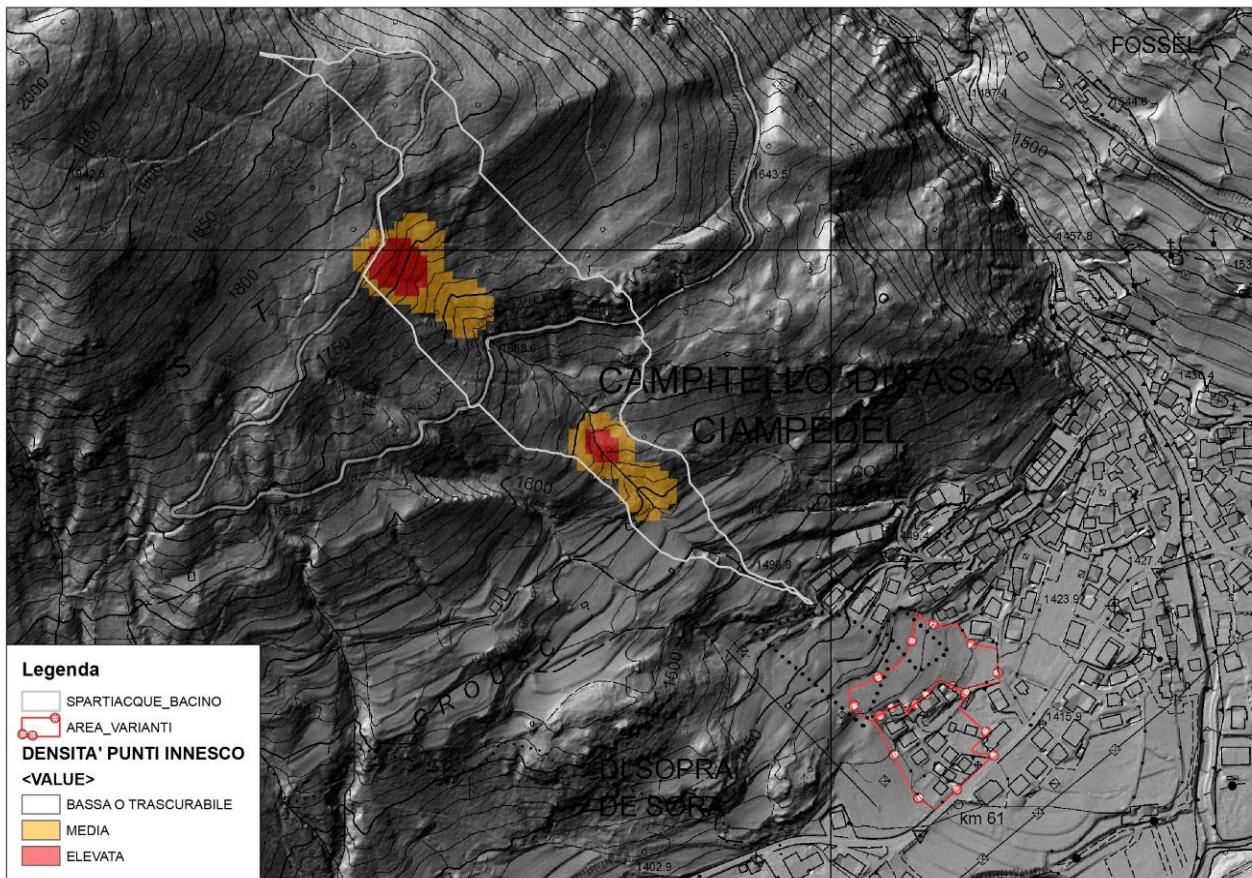


Fig. 2.30 - Densità dei potenziali punti d'innescio di colata detritica

Utilizzando, per la stima dei volumi attesi in caso di evento, un approccio semi-empirico proposto da *Rickenmann & Koschni* (2010) - Fig. 2.31, che forniscono una relazione empirica del volume unitario in base alla pendenza media dell'alveo basata su dati di volume rilevati in campo di diversi eventi, si ottiene, per una pendenza media del corso d'acqua del 41.3% un valore circa **3834 m<sup>3</sup>km<sup>-2</sup>**, tipico di bacini da debris flow.

Ciò significa un contributo potenziale di circa **450 mc** per il bacino in esame. Questo può essere considerato, per il caso in esame, come il limite inferiore sotto il quale appare poco cautelativo spingersi, soprattutto in caso di eventi a bassa probabilità di accadimento, viste le disponibilità reali di sedimento del bacino, valutabili complessivamente nell'ordine di 1000-1500 m<sup>3</sup>. Ovviamente questo valore rappresenta la massima disponibilità di sedimento ma non è detto che tutto questo possa essere veicolato a valle se viene a mancare il motore idrologico.

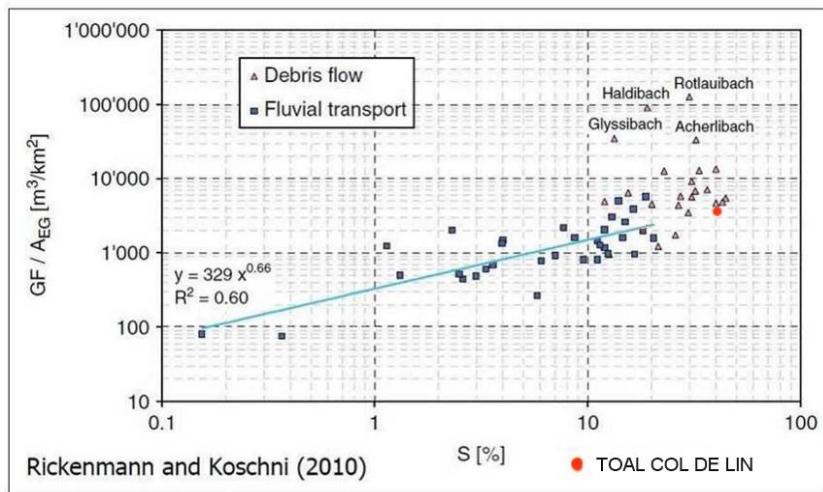


Fig. 2.31 – Relazione fra pendenza media dell'alveo e produzione di sedimento unitaria

Al piede del versante si è edificato un evidente conoide di deiezione per prevalente attività torrentizia (debris flow), come visibile in Fig. 2.32. Tutta l'area di variante è ubicata proprio entro tale forma morfologica. Il conoide risulta fortemente modificato dall'attività antropica, sia per scopi agricoli che edificatori, presentando una pendenza media non particolarmente sostenuta ( $9.2^\circ$ - $16.2\%$ ).

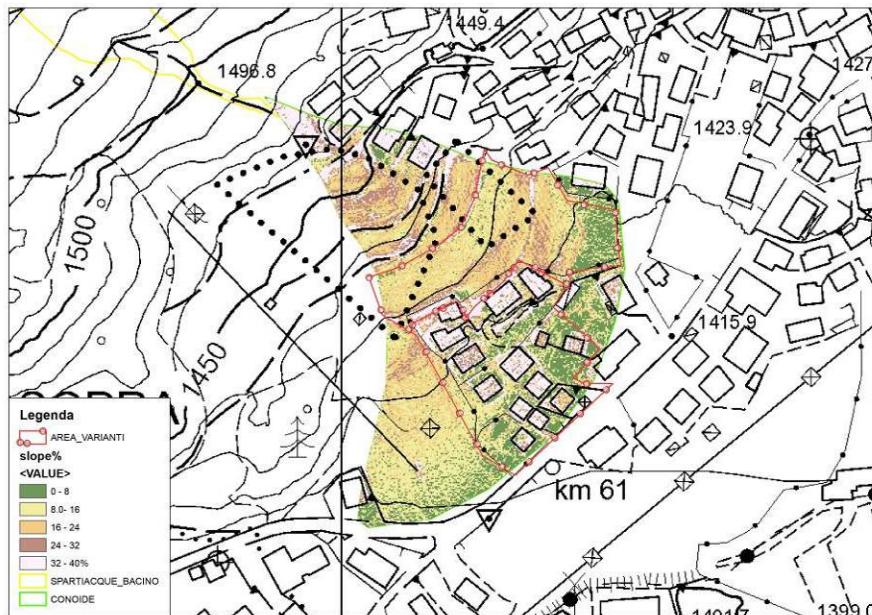


Fig. 2.32 – Conoide e pendenza locale

Incrociando il valore di pendenza media del conoide idraulico 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. 2.33) il bacino presenta una combinazione dei valori tipica conoidi misti generati da fenomeni di colata detritica. Da questo un'ulteriore conferma di quelli che potrebbero essere i fenomeni attesi con maggiore probabilità.

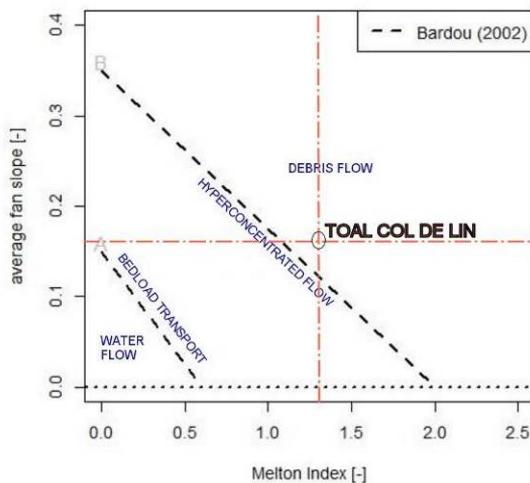


Fig. 2.33 - Previsione della forma di trasporto più probabile sulla base della pendenza del conoide e del n° di Melton del bacino (Bardou, 2002)

### 3. STIMA DELL'EVENTO DI RIFERIMENTO: IDROGRAMMA, SEDIMENTOGRAMMA E DEBRISGRAMMA

La stima dell'idrogramma di progetto per il bacino in oggetto (o evento idrologico di "riferimento") da utilizzarsi come input alla successiva modellazione idraulica bidimensionale è stata 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 nel bacino 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 30 e 200 anni (trattandosi dei TR minimo e massimo richiesti dalla normativa) cui verrà successivamente collegato il cosiddetto "debrisgramma" ossia il trasporto solido teorico atteso che l'idrogramma è (o sarebbe, in condizioni ideali) in grado di generare.

Per l'evento di piena si è eseguita la modellazione idrologica "ad evento" mediante l'applicazione del modello afflussi-deflussi distribuito HYDROGRID (AIDI, 2002), ora inserito nel pacchetto Adb-Toolbox 1.8.

Per la stima della precipitazione critica per il bacino sono state utilizzate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (Fig. 3.1) 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, 2010, 2014) mediate sull'area di studio.

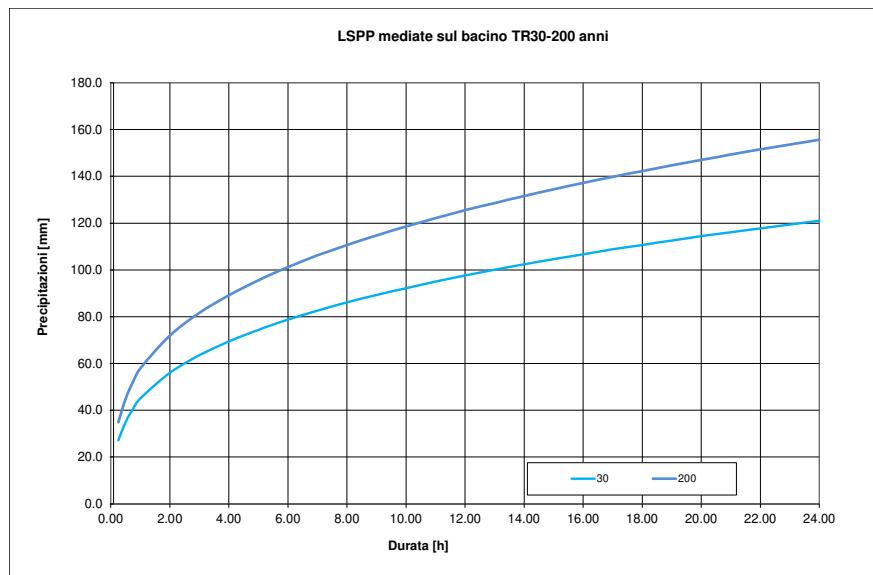


Fig. 3.1 – Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per il bacino in esame (fonte PAT-Servizio Bacini montani)

Viste le caratteristiche morfometriche, idrologiche ed idrogeologiche del bacino in precedenza descritte, si ritiene che i fenomeni più gravosi siano riconducibili alle piogge di durata piuttosto ridotta (0.5-3 ore), caratterizzate al loro interno da picchi con intensità elevate anche superiori alla media, sia isolati ma più probabilmente inseriti in un contesto idrologico ad elevata umidità antecedente, con condizioni dei versanti e dei terreni di copertura di parziale o totale saturazione. Condizioni tipiche delle piogge intense del periodo autunnale o primaverile (disgelo).

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: 2.5 m/s (valore di letteratura);
- Velocità media di deflusso sul versante: 0.074 m/s, dipendente dalla pendenza media del versante  $i_v$  (56.3%) ottenuta mediante l'applicazione dell'equazione cinematica:

$$V_v = 0.1 i_v^{0.5}$$

- Perdite iniziali:  $I_a = 0.1S$  (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:  $6 \text{ s}^{-1}$  (tale valore è ritenuto sufficientemente elevato per simulare la risposta sottosuperficiale del bacino);
- AMC (*Antecedent Moisture Conditions*): 3.0-3.25 - condizioni di umidità dei terreni elevate al momento della precipitazione.

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. 3.2), 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. 2.24) 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 (fig. 2.22) con quella dei gruppi idrologici si ottiene la carta del CN o Curve Number (fig. 3.2), che indica la propensione delle diverse combinazioni suolo-soprassuolo a generare deflusso superficiale.

Per il bacino indagato si è ottenuto un valore del CN medio in condizioni di umidità normale (AMC 2) pari a 31.8. 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 (*EI-Hassanin et al., 1993; Barros et al., 1999; Haggard et al., 2002; Chaplot and Bissonnais, 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 CN2 e CN3 sono i valori standard calcolati in condizioni rispettivamente di AMC II e AMC III e a la pendenza (adim). Per il calcolo di CN3 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 CN2 per l'intero versante in oggetto, ottenendo un valore medio corretto del CNII pari a 37.2, quindi più alto dell'16.9% rispetto a quello calcolato con il metodo standard.

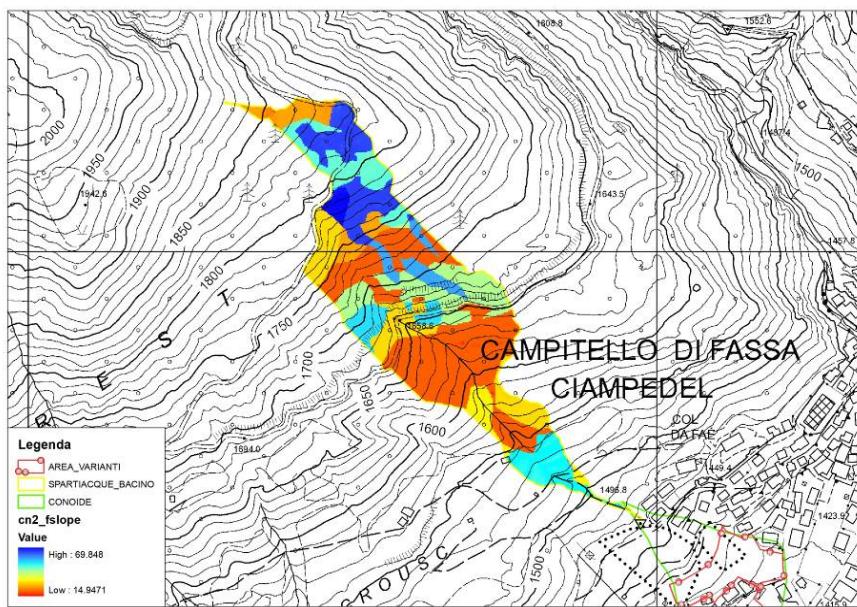


Fig. 3.2 – Mappa del CN corretto con la pendenza ottenuta per l'applicazione del modello HYDROGRID.

Lo scenario temporale di riferimento è caratterizzato da uno scroscio di durata pari al 95% del tempo di corriavazione massimo stimato per via morfologica che per il bacino in esame risulta variabile tra 105 minuti per il TR 30 e 75 minuti per il TR 200. Trattasi ovviamente di singoli eventi di pioggia che devono essere simulati in condizioni di umidità elevata per avvicinarsi a quelle che sono le condizioni di saturazione normalmente critiche per il bacino.

Di seguito si riportano i risultati dell'analisi idrologica per il bacino per i TR 30 e 200 anni (Fig. 3.3).

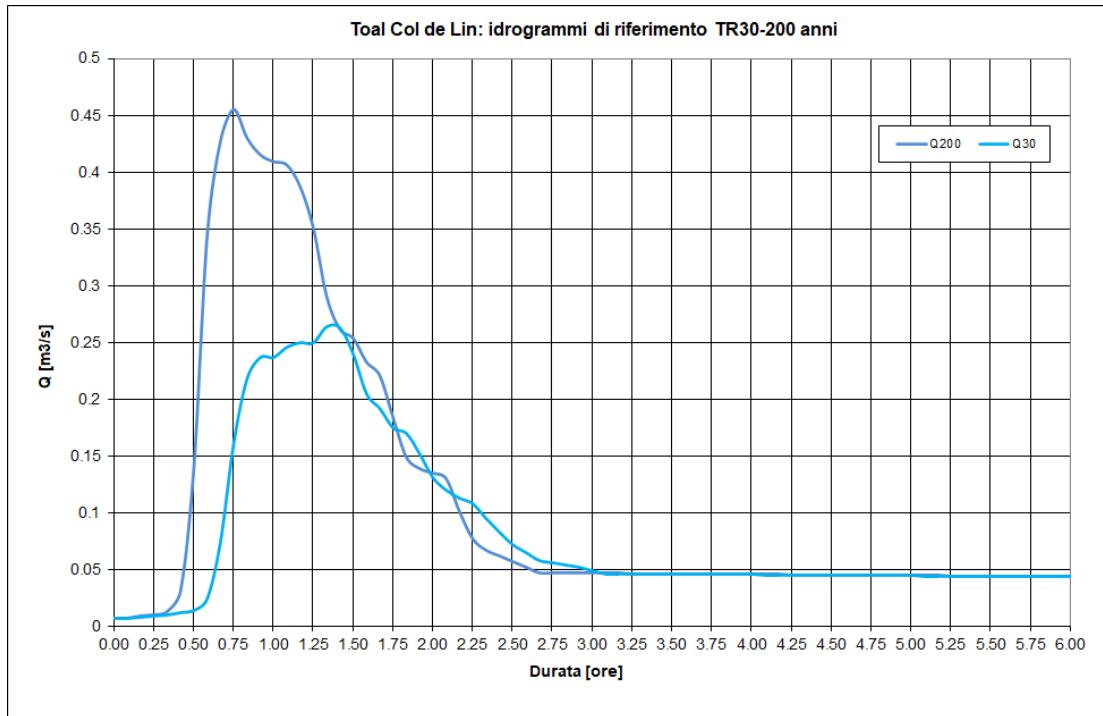


Fig. 3.3 – Idrogrammi di progetto TR 30 e 200 anni simulati per il bacino in oggetto

I risultati delle simulazioni evidenziano valori di portata liquida al picco variabili tra **0.263 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>** per il TR 30 e **0.456 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>** per il TR200, con contributi unitari di 2.63 e 4.56 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup>. Trattasi di contributi unitari di entità media per entrambi i TR, sintesi di una potenziale capacità del bacino di produrre deflussi superficiali non elevatissima.

Per la stima della portata solida da associare ad una forma di trasporto da colata detritica come quella attesa nel bacino in esame 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 impiccamento dei sedimenti a riposo, prima che essi vengano interessati dall'innesto della colata, variabile tra 0.55 e 0.75 (Armanini, 1999). Nel caso in esame si è utilizzato un valore di **0.65**.

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), cosa che nel caso in esame non è del tutto scontata vista la pendenza piuttosto elevata su cui è presente il detrito mobilizzabile in alveo, almeno nella parte alta del versante.

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

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

fornisce valori di  $C_{eq}$  più elevati ed è relativa al solo 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 20° (36.4%), come quelle del caso in esame. Mediante l'equazione sopra riportata si giunge ad un valore della  $C_{eq}$  della colata da simulare pari a **0.585**. Con un tale valore di concentrazione si giunge ad un coefficiente moltiplicativo della portata liquida pari a 10. Per disporre di un ulteriore scenario a magnitudo meno estrema si può fare riferimento anche all'equazione proposta da Tognacca (1999) per il calcolo di  $C_{eq}$ , che fornisce un valore medio per fronte, copro e coda della colata. Nel caso in esame tale approccio fornisce un valore di  $C_{eq}$  pari a **0.339**, con un coefficiente moltiplicativo della portata liquida pari a 2.1, più caratteristico di una piena di detrito o un flusso iperconcentrato che di una colata pienamente sviluppata.

Un'ipotesi che viene posta nel calcolo riguarda la variazione temporale del coefficiente  $C_{eq}$  durante gli intervalli di tempo che precedono e che seguono l'istante di picco; l'assunzione di un valore pari a  $C_{eq\ max}$  da applicare a tutta la durata dell'onda liquida porterebbe, infatti, alla determinazione di un sedimentogramma da debris flow assai poco realistico.

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'innesto 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 0.07 m desumibile dall'osservazione dei depositi presenti, la pendenza media della zona d'innesto pari a 46.6% circa ed una larghezza media dell'alveo nella zona d'innesto stimabile in circa 2 m, si giunge ad una portata critica d'innesto  $Q_{cr}$  pari a **0.364 m<sup>3</sup>/s**, valore che viene superato solo dal picco dell'idrogramma con TR200 anni evidenziando quindi come i fenomeni di colata detritica con questo meccanismo di innesco richiedano condizioni idrologiche piuttosto estreme e possano risultare quindi molto poco frequenti a riprova del fatto che negli ultimi decenni non si siano registrati sul collettore fenomeni di rilievo. Di seguito si eseguirà quindi la simulazione del solo fenomeno di colata con TR200 anni.

Noto che l'arrivo di una colata detritica viene spesso preceduto da un flusso già concentrato o iperconcentrato, si determina il primo valore della portata del debris flow  $Q_d$  per un valore di  $C_{eq} = 0.2$ . Considerando, quindi, il tempo di crescita del debris flow, come l'intervallo che separa, sull'idrogramma liquido, gli istanti in cui si verificano le portate  $Q_l = Q_{cr}$  e  $Q_l = Q_{max}$ , si determinano i successivi valori di  $Q_d$  ammettendo una variazione lineare nel tempo di  $C_{eq}$  (da  $C_{eq\ min}$  a  $C_{eq\ max}$ ). Per la fase calante della colata, caratterizzata generalmente da una durata maggiore ed una pendenza minore, la concentrazione verrà fatta variare in modo non lineare ma logaritmico tra 0.585 (o 0.339) e 0.2.

In questo modo si ottiene sia una forma del debrisgramma molto più realistica e vicina a quelle registrate in campo dai dispositivi di monitoraggio, che un contenimento dei volumi mobilizzati nella fase dopo il picco, cosa questa assai realistica visto che generalmente il passaggio del picco lascia in alveo quantità di materiale erodibile certamente inferiore che per la fase di crescita.

Il risultato dell'applicazione è di seguito riportato (fig. 3.4).

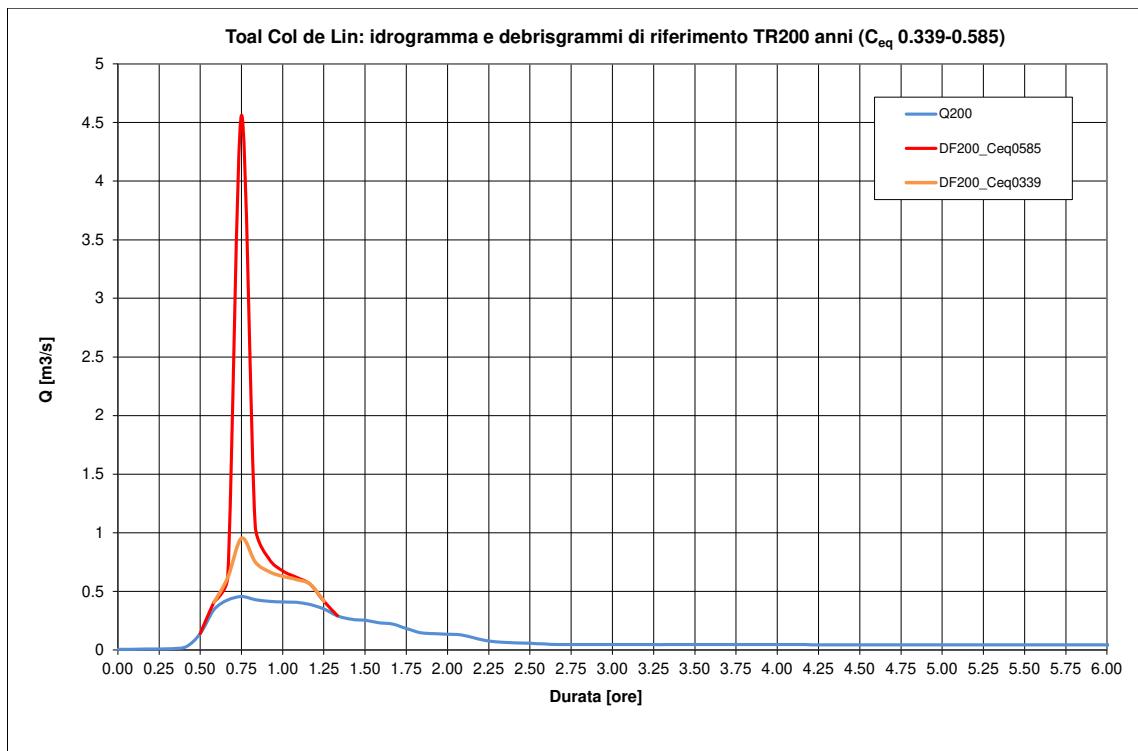


Fig. 3.4 – Idrogramma e debrisgramma di riferimento TR 30 e 200 anni simulato per il Toal Col de Lin

L'applicazione del metodo volumetrico sopra riportato, che considera condizioni di massima capacità di trasporto per una determinata pendenza (nel caso in esame 25.3% del tratto terminale di propagazione), porta ad una stima della portata della colata al picco della colata di circa **4.6 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>**, con una volumetria cumulata trasportabile dall'onda liquida variabile tra **390 e 1180 m<sup>3</sup>** per TR 200 anni nelle due diverse configurazioni di  $C_{eq}$  sopra stimate. Si tratta di volumi non elevatissimi, soprattutto per il fenomeno con  $C_{eq}$  0.339, ma certamente non trascurabili e comunque assolutamente comparabili con quelli stimati (450 mc) dall' approccio di *Rickenmann & Koschni* (2010) riportato nel precedente capitolo. Risultano inoltre abbastanza corrispondenti anche ai volumi stimati per via geomorfologica dal sopralluogo in campo (1000-1500 mc stimando un prelievo medio per metro lineare di circa 2-3 m<sup>3</sup>m<sup>-1</sup> per uno sviluppo di 400-450 m).

Un'ulteriore verifica può essere eseguita mediante l'approccio semi-empirico proposto da Marchi e D'Agostino (2004), che analizzando 127 eventi di debris flow nell'Italia Nord Orientale ha ottenuto un legame tra volume liquido utile al trasporto e volume solido della colata dato dalla seguente relazione:

$$V_{sol} = 2.9 \tan \beta^2 V_{liq}$$

Nel caso in esame il volume liquido utile al trasporto, ossia la portata che eccede quella di innesco, risulta pari a circa 1089 mc per il TR200. Utilizzando la pendenza media dell'asta pari a 46.6%, si ottiene un valore di volume della colata teorico di circa **540 mc**, che confermano l'ordine di grandezza stimato per via idrologica, avvicinandosi più al fenomeno con  $C_{eq}$  inferiore. Sulla base di tali analisi, quindi, è possibile oggettivamente attendersi che l'evento stimato con la concentrazione di equilibrio superiore e più cautelativa (0.585) possa rappresentare più un evento di pericolosità residua piuttosto che ordinaria.

#### 4. LA SIMULAZIONE PROPAGATORIA BIDIMENSIONALE CON IL CODICE FLO-2D SUL CONOIDE DEL TOAL COL DE LIN

La propagazione delle onde solido-liquide da debris flow così come stimate al capitolo precedente, per le due configurazioni di  $C_{eq}$ , attraverso il tratto terminale ed il conoide del Toal Col de Lin è stata eseguita mediante l'applicazione del codice bidimensionale commerciale *FLO-2D®*. Si tratta di un codice di calcolo che simula la propagazione di onde solido-liquide, considerate monofase, su un campo di moto (*floodplain*) più o meno naturale, erodibile o non erodibile, 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 degli usi del suolo presenti e delle caratteristiche granulometriche ed idrauliche del campo di moto. Il codice FLO-2D è basato sull'applicazione del modello reologico quadratico (O'Brien e Julien, 1985, 1988; Julien e Lan, 1991; O'Brien et al., 1993) ed è modello idraulico bidimensionale monofase, a fondo fisso (nel caso di colate) oppure mobile (nel caso di trasporto solido). Nel caso in esame, l'applicazione è stata eseguita nella configurazione a fondo fisso. L'applicazione del codice FLO-2D al conoide in studio è stata eseguita preparando la base topografica di dettaglio 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 a 1x1 m. Tale dimensione ha consentito di mantenere una condizione topografica poco "smussata" e quindi molto vicina alla realtà, senza perdere eccessivamente le particolarità topografiche che caratterizzano l'area. Preparato il campo di moto si è proceduto all'identificazione, all'interno di questo, delle celle totalmente o parzialmente impediti al flusso (tipicamente gli edifici) attraverso l'uso della funzione ARF (*Area reduction Factor*). Il passo successivo è stato l'assegnazione alle diverse classi di uso del suolo presenti all'interno del conoide degli opportuni valori di scabrezza, secondo i valori riportati in fig. 4.1 che segue.

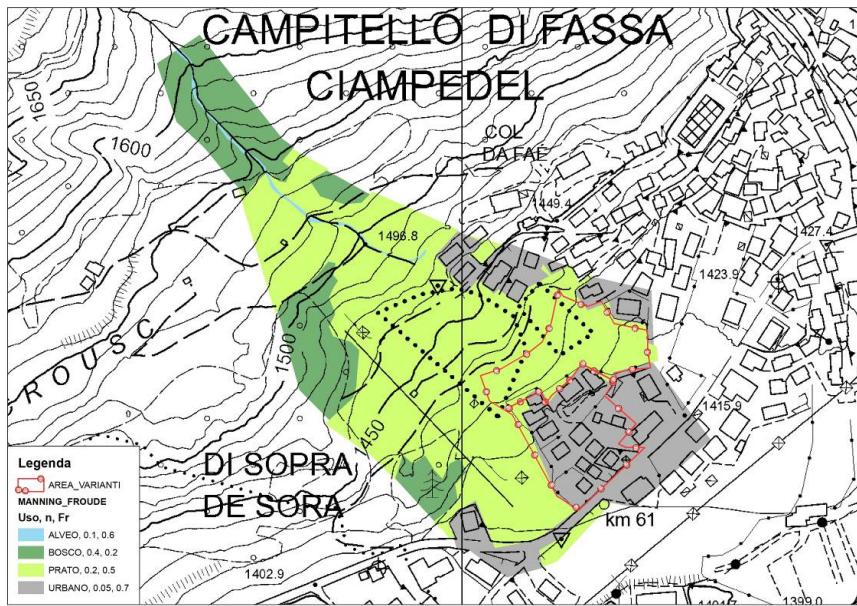


Fig. 4.1 – Classi d'uso del suolo, coefficienti di resistenza al flusso e massimo numero di Froude utilizzato

Un importante controllo sulla stabilità numerica del codice è rappresentato dalla scelta del valore limite del numero di Froude della corrente. Esso delinea infatti flussi subcritici e supercritici, ed è il rapporto tra la velocità media del flusso e la celerità di un'onda in acqua bassa e regola le modalità di propagazione

dell'onda in una corrente. Limitare il numero di Froude può aiutare a mantenere la stabilità numerica, forzando il modello ad avere una ragionevole rappresentazione della realtà fisica. Nei canali alluvionali, l'intervallo comune di numeri di Froude a piene rive è da 0.4 a 0.6, anche se recenti osservazioni in campo (McArdell, 2007, Hubl (2009), Kwan *et al.* (2015)) hanno evidenziato valori anche superiori a 1, seppur su fenomeni di magnitudo ben più elevata di quelli qui simulati. In generale, flussi supercritici su conoidi alluvionali vengono soppressi in maniera tanto maggiore quanto maggiore è il volume di sedimento trasportato e dalla concentrazione solida. Alte velocità e basse profondità su superfici alluvionali possono dissipare l'energia mettendo in moto un trasporto di sedimenti. Flussi supercritici sono più comuni su roccia, alvei canalizzati e consolidati o altre superfici dure. Nel caso in esame, viste le caratteristiche del floodplain con presenza sia di zone più naturali (bosco e prato) che zone ove la corrente può assumere elevate velocità come strade sterrate, piazzali o zone asfaltate, si è deciso di assegnare un numero di Froude differenziato tra le varie classi di uso del suolo, come visibile in Fig. 4.1 sopra riportata.

Il volume immagazzinato dalle depressioni superficiali del terreno o la sua altezza viene assegnato dalla variabile *Surface Detention* (TOL) nel file TOLER.DAT. Tale parametro influenza notevolmente la distanza d'arresto del fenomeno simulato. Si decide di utilizzare due diversi valori del parametro in modo da disporre di diversi scenari di arresto. I valori utilizzati sono pari a 0.05 (come consigliato nel manuale del software) e 0.2 come da taratura dei parametri reologici (D'Agostino & Cesca, 2009).

Per quel che riguarda la scelta delle variabili reologiche da inserire nel file SED.DAT (simulazione di flussi carichi di sedimento) non disponendo di prove reometriche del materiale presente in campo, si è scelto di utilizzare una combinazione di parametri derivante da un lavoro di taratura dei parametri reologici per FLO-2D eseguita dall'Università di Padova (D'Agostino V. & Cesca M., 2009) su materiali di diversi gruppi litologici presenti in Provincia di Trento. Nel caso in esame, sovrapponendo i dati granulometrici rilevati a quelli dei campioni utilizzati per la taratura, si è visto come ci si avvicinasse maggiormente ai valori tipici dei materiali dolomitici con matrice fine sabbioso-limoso (comportamento sempre granulo-inerziale).

Tra tutte le combinazioni dei parametri reologici testate da questi autori, quella ritenuta più vicina alle caratteristiche del materiale presente nel bacino in studio è stata la reologia *Aspen Natural Soil + Kang & Zhang* di cui si riportano di seguito i parametri caratteristici:

$\alpha_1$	$\beta_1$	$\alpha_2$	$\beta_2$
0.152	18.7	0.0405	8.29

ed un valore del parametro di resistenza  $K = 24$ , come da taratura.

Il debrisgramma in input alla simulazione è quello con TR 200 stimato mediante l'analisi idrologica e sedimentologica presentata nel capitolo precedente. Partendo da questo, si è stimata la suddivisione tra portata liquida e portata solida da utilizzare in FLO-2D mediante il calcolo del fattore BF (*bulking factor*) e moltiplicando il volume d'acqua per questo fattore. BF è  $BF = 1/(1 - Cv)$ . I risultati dell'applicazione eseguita con FLO-2D sono di seguito riportati. Si dispongono di 4 scenari per le diverse combinazioni dei parametri  $C_{eq}$  e *Surface detention*. I risultati della simulazione sono di seguito proposti (Fig. 4.2 - 4.13)

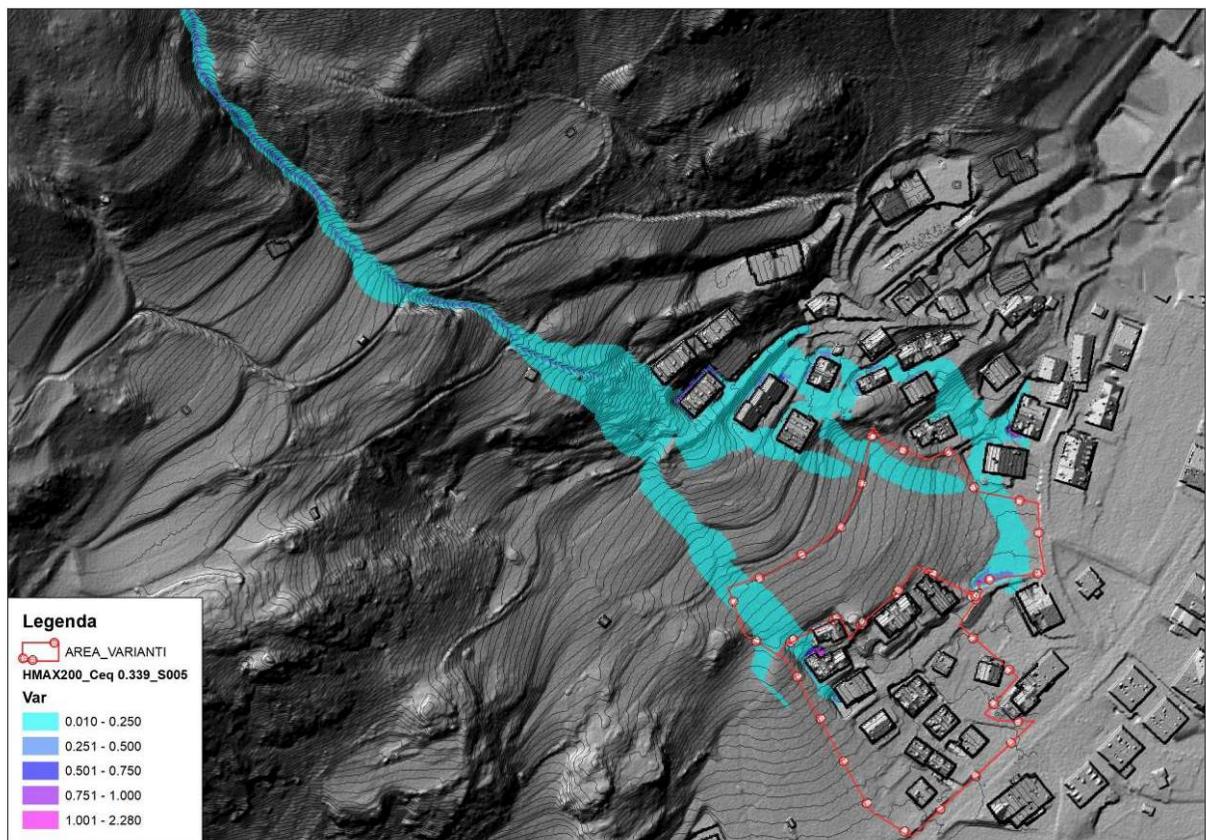


Fig. 4.2- Massimo tirante simulato TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.339 – S 0.05 m)

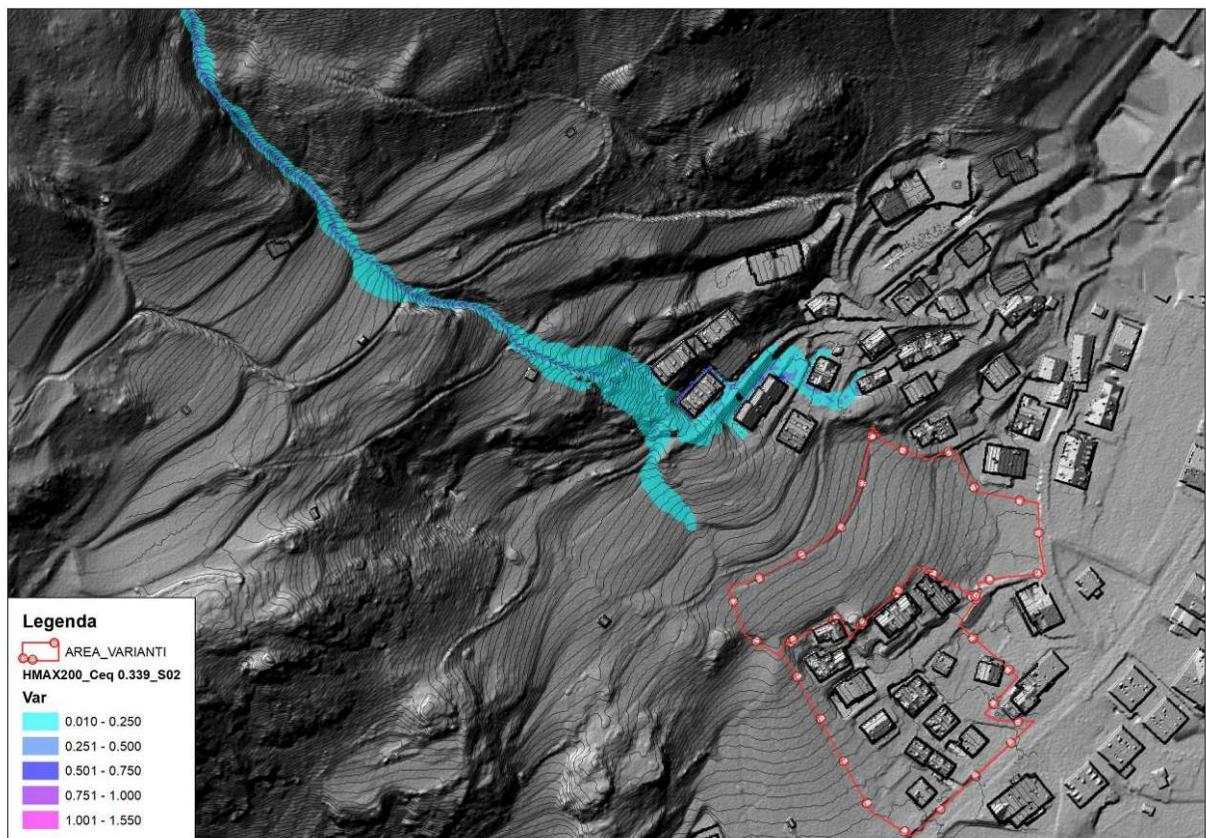


Fig. 4.3- Massimo tirante simulato TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.339 – S 0.2 m)

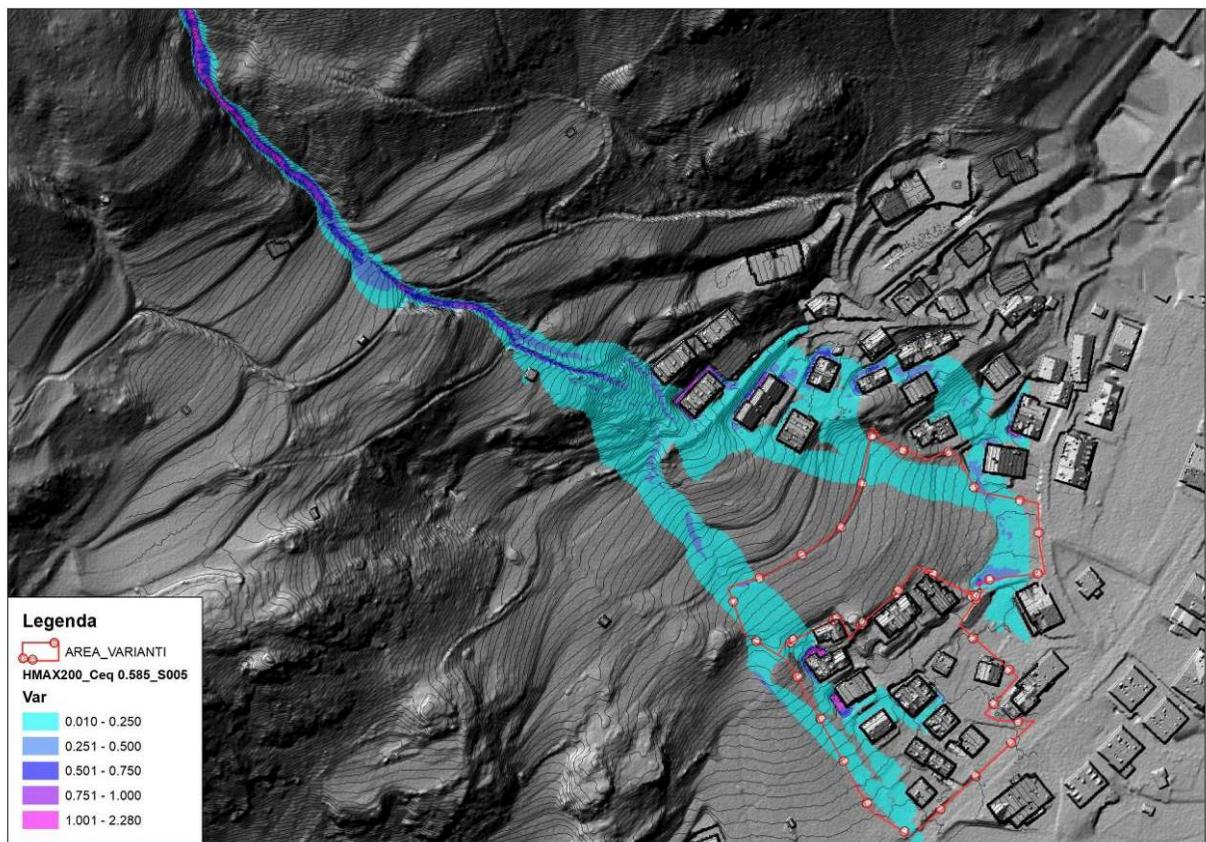


Fig. 4.4 - Massimo tirante simulato TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.585 – S 0.05 m)

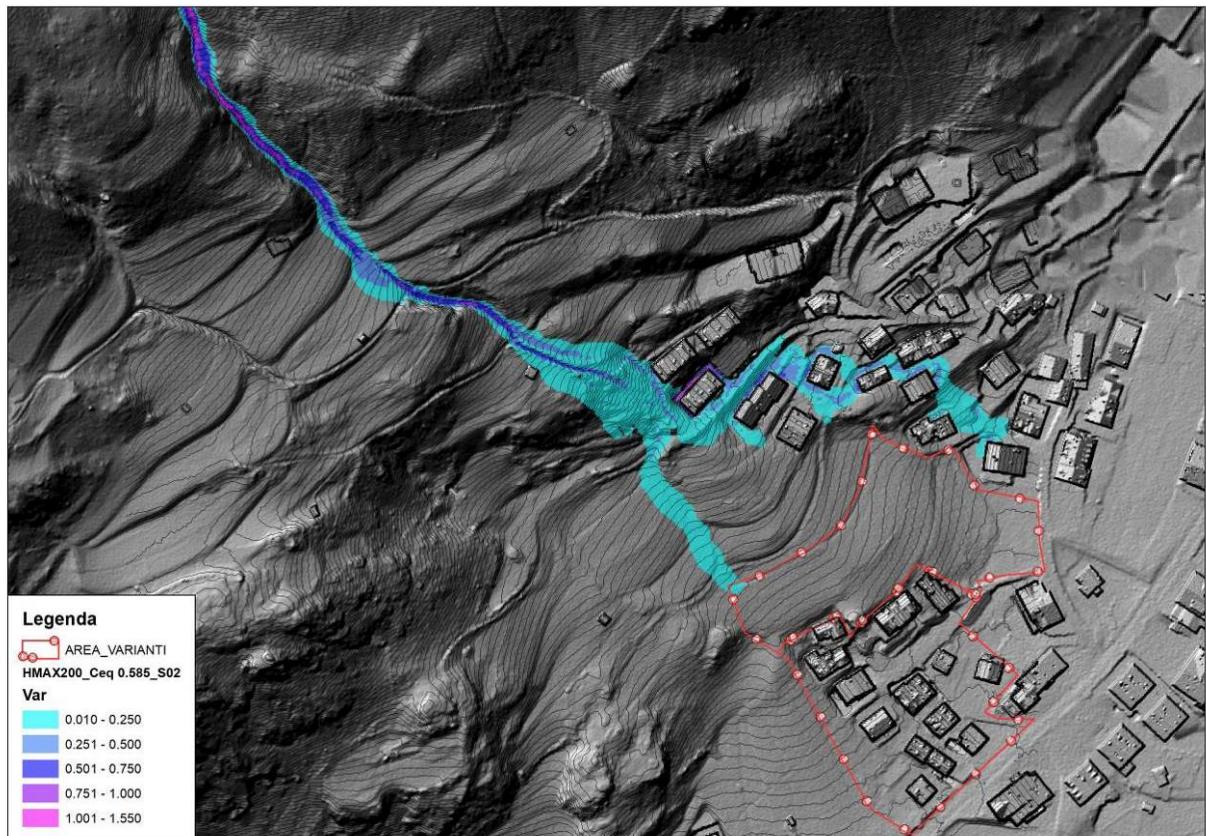


Fig. 4.5 - Massimo tirante simulato TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.585 – S 0.2 m)

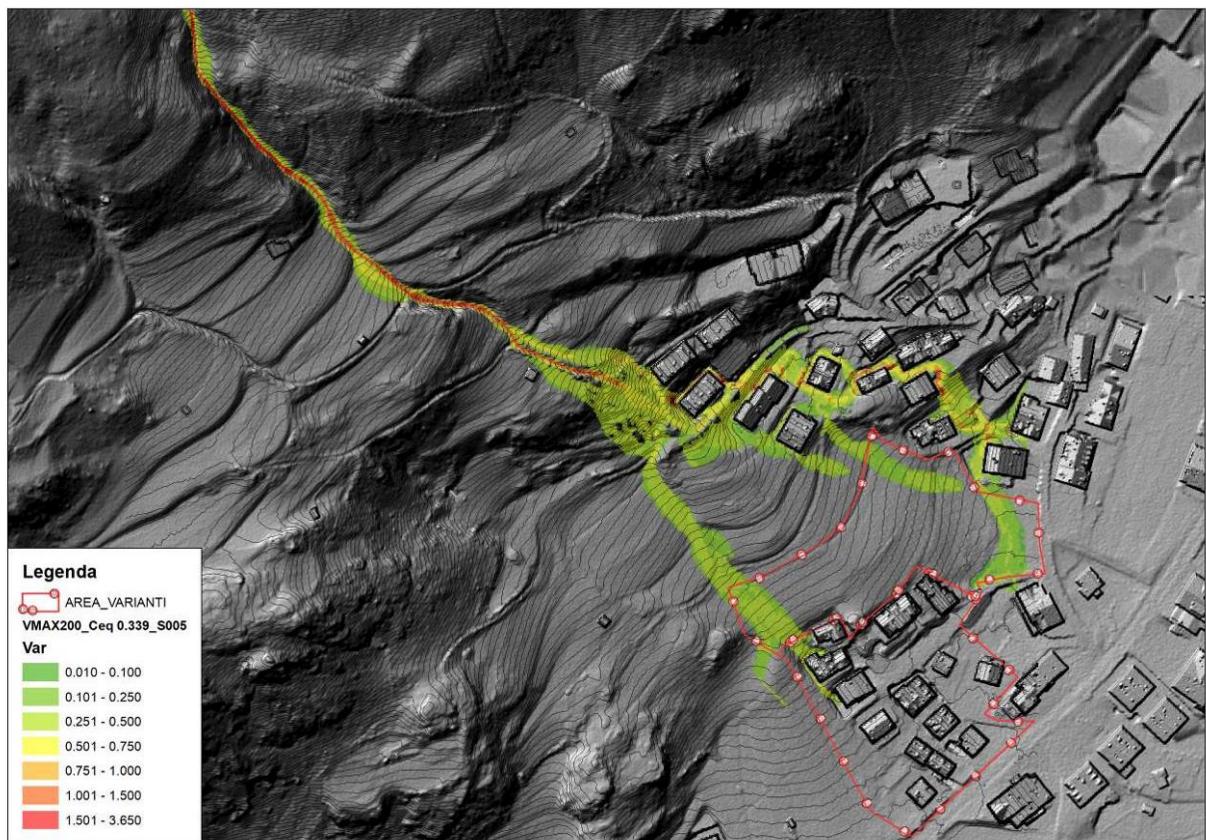


Fig. 4.6 - Massima velocità simulata TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.339 – S 0.05 m)

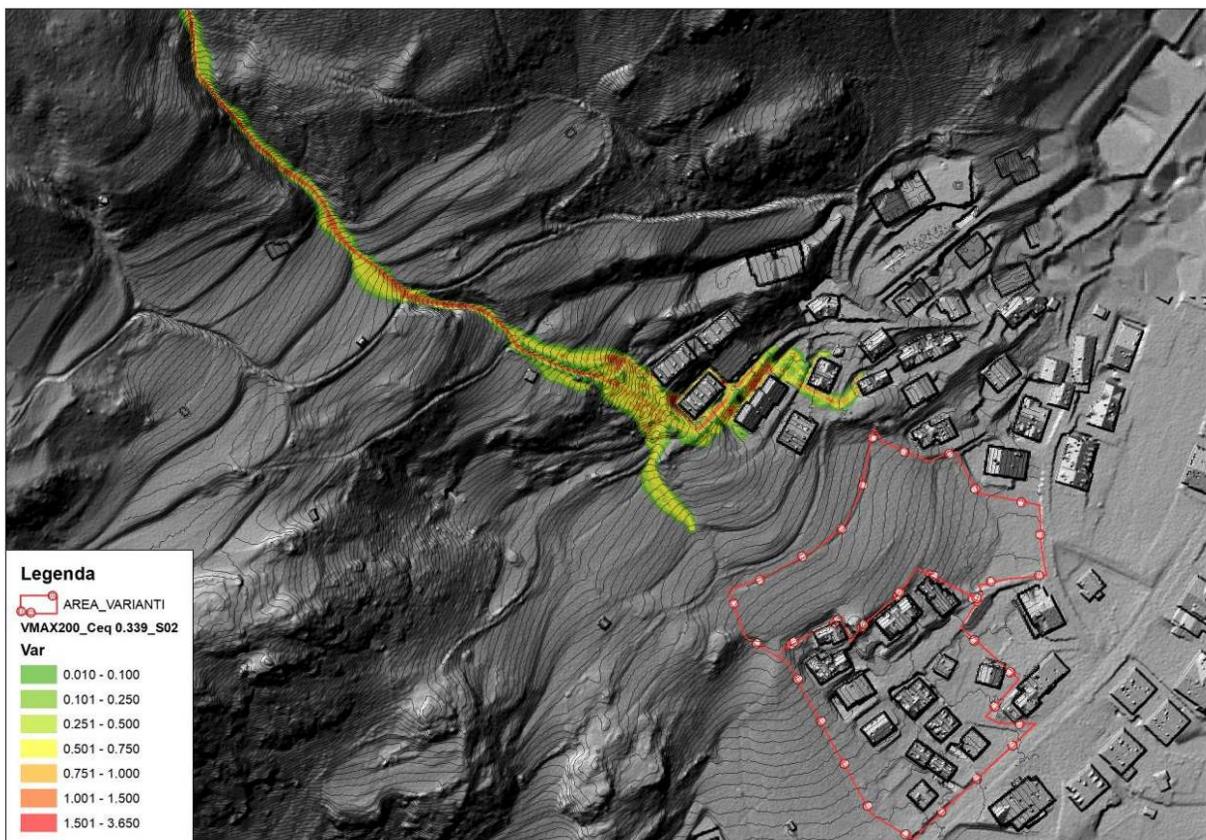


Fig. 4.7 - Massima velocità simulata TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.339 – S 0.2 m)

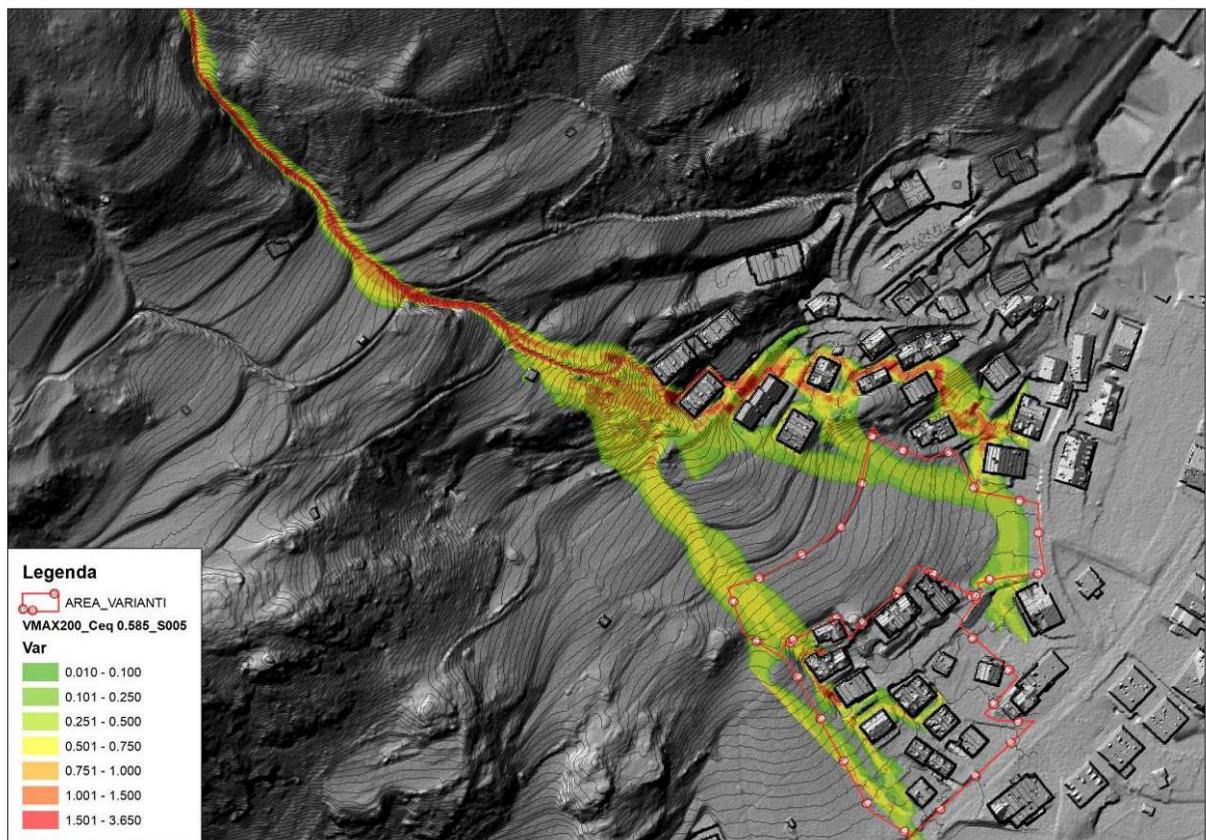


Fig. 4.8 - Massima velocità simulata TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.585 – S 0.05 m)

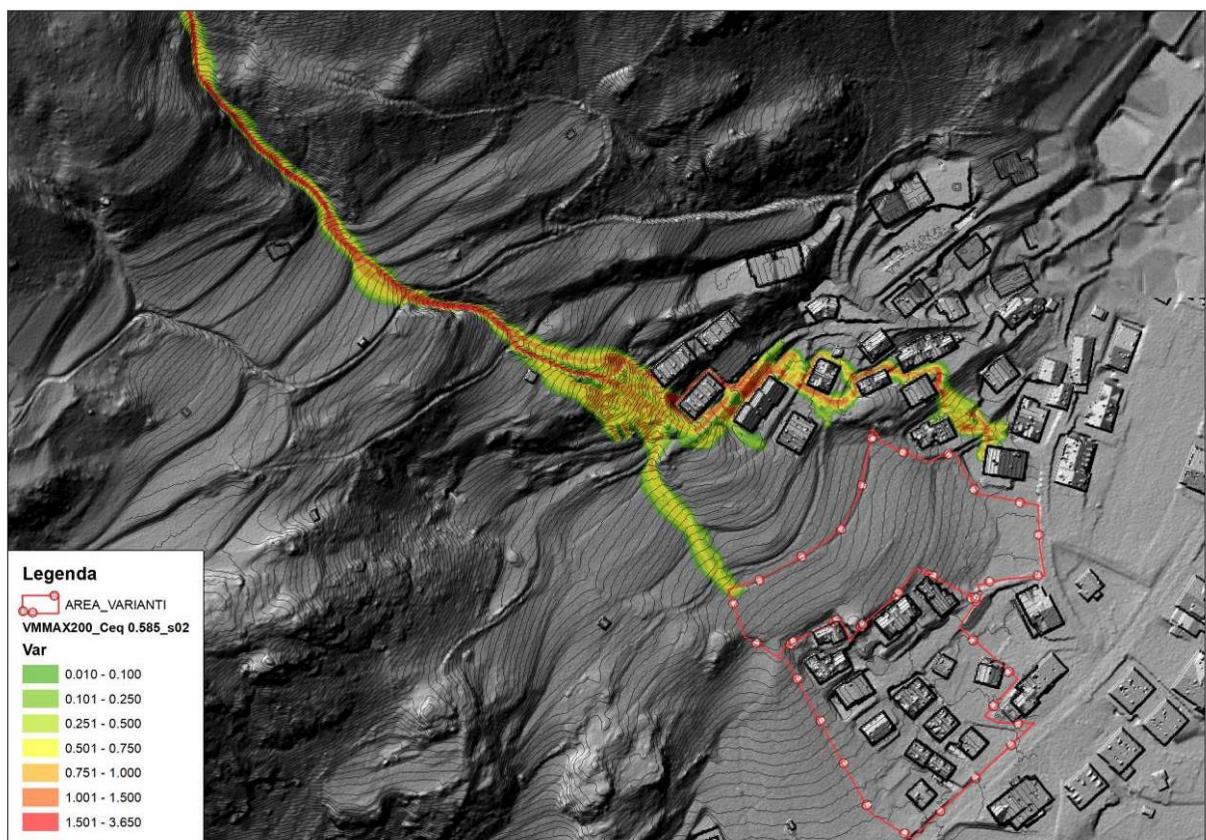


Fig. 4.9 - Massima velocità simulata TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.585 – S 0.2 m)

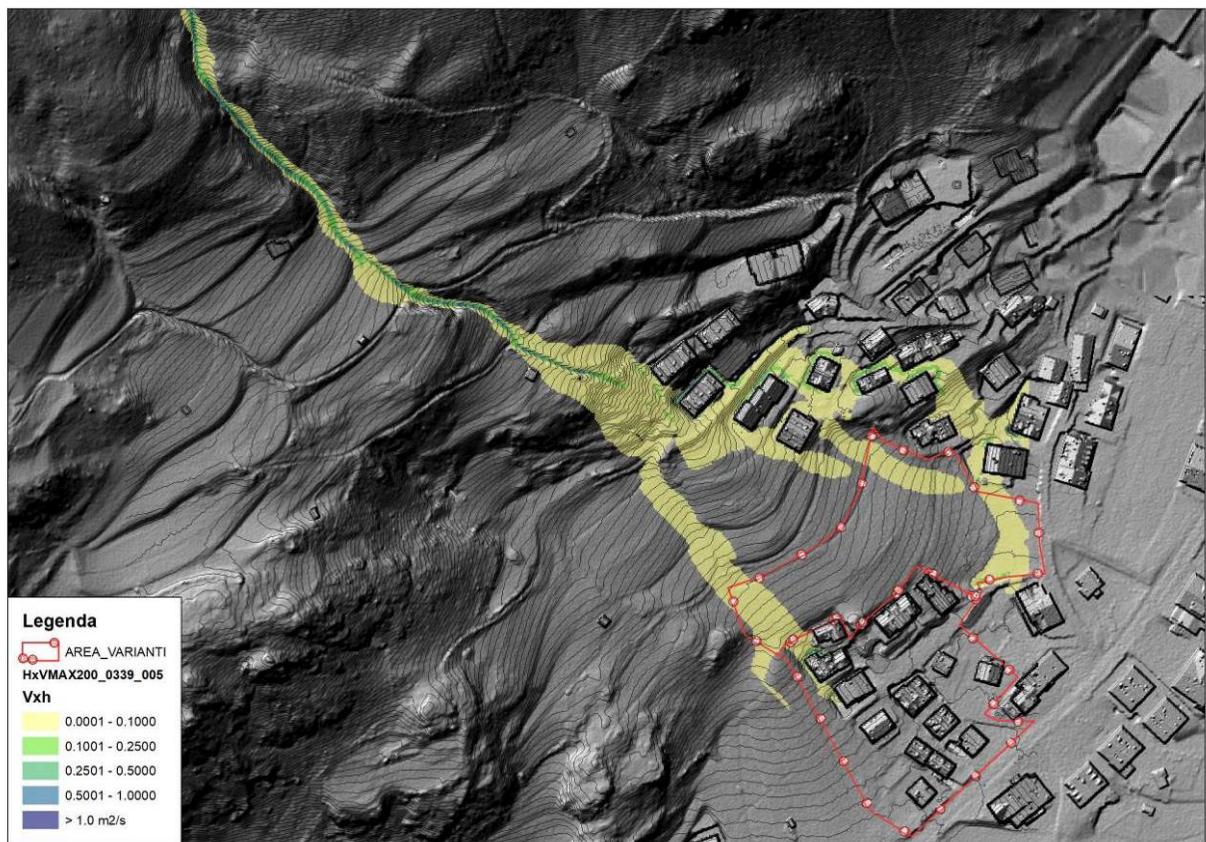


Fig. 4.10 – Massima forza di trascinamento (HxV) della corrente simulata TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.339 – S 0.05 m)

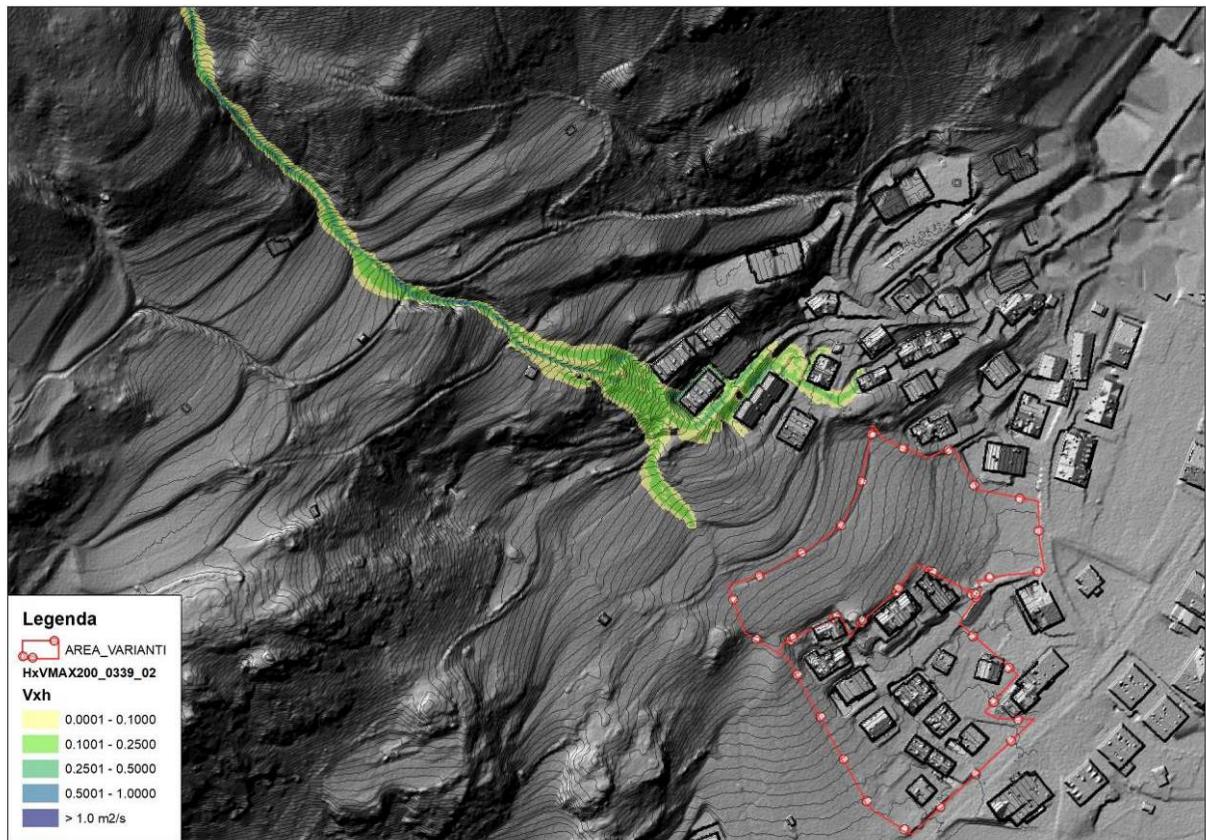


Fig. 4.11 – Massima forza di trascinamento (HxV) della corrente simulata TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.339 – S 0.2 m)

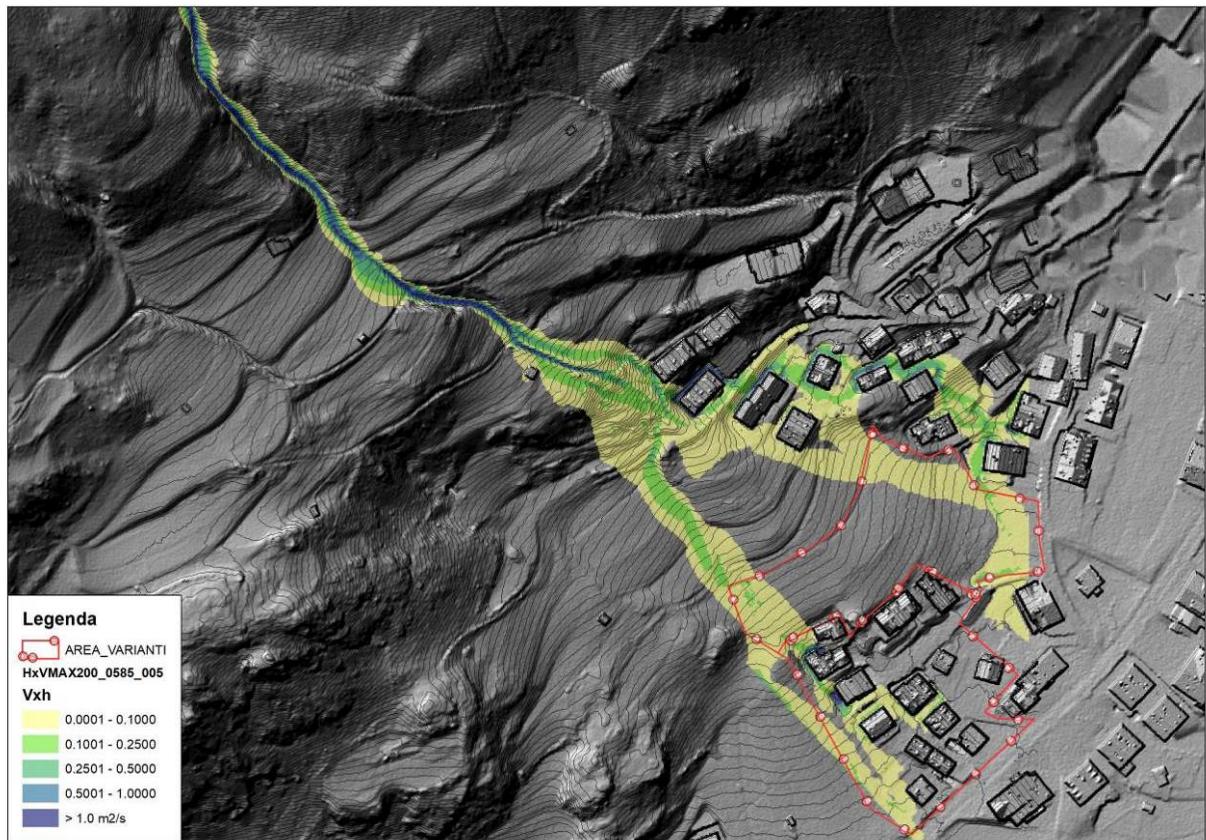


Fig. 4.12 – Massima forza di trascinamento (HxV) della corrente simulata TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.585 – S 0.05 m)

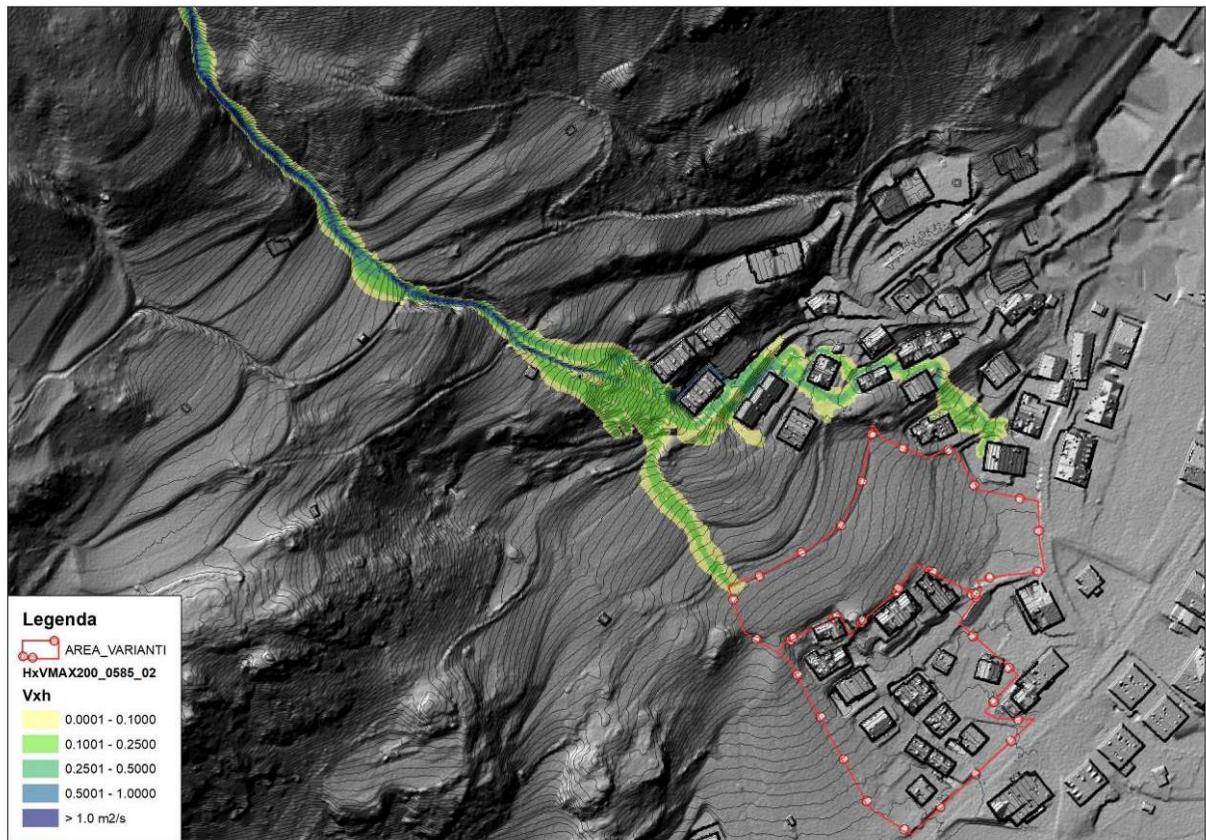


Fig. 4.13 – Massima forza di trascinamento (HxV) della corrente simulata TR 200 anni per fenomeno di colata di detrito ( $C_{eq}$  0.585 - S 0.2 m)

Le simulazioni condotte nello stato attuale per lo scenario di colata TR 200 anni, diversa  $C_{eq}$  e diversa *surface detention*, evidenziano in maniera oggettiva quanto già valutato in sede di sopralluogo lungo il corso d'acqua, ossia come in occasione di un fenomeno di colata di detrito a bassa o bassissima probabilità di accadimento siano da attendersi fenomeni di alluvionamento sui prati all'uscita della vallecola ed all'apice conoidale ove si evidenziano i fenomeni propagatori di maggiore intensità. Una lingua di propagazione piuttosto intensa tende ad incanalarsi lungo la viabilità (Strada Crousc e Strada de Cherpei) interessando potenzialmente parte dell'abitato. La parte del conoide più in basso, invece, appare interessabile da fenomeni di intensità nettamente inferiore e comunque nel complesso contenuti entro le soglie di BASSA intensità. L'area oggetto delle due varianti puntuali V33 e V41 non appare in alcun modo raggiungibile dalla parte più energetica del fenomeno, almeno con queste configurazioni d'evento ma solo da lingue di propagazione secondarie a bassa e bassissima intensità. Non è detto non lo possa essere in misura maggiore, almeno parzialmente, nel caso di fenomeni estremi o fuori scala, non prevedibili con le normali serie probabilistiche attualmente disponibili, in scenari comunque di pericolosità residua. Pur non essendo direttamente interessata dal flusso simulato, quindi, si può ragionevolmente ipotizzare che in caso di eventi critici una certa aliquota di acqua e sedimento fine possa interessare marginalmente l'area oggetto di varianti ma sempre con valori di intensità BASSA e comunque non in grado di generare pericolo grave per cose e persone.

## 5. PERICOLOSITA' GLOBALE DELL'AREA

Di seguito la valutazione numerica della pericolosità (Fig. 5.2) secondo quanto disposto dall'allegato A alla DGP 1306-04.09.2020 e l'approccio di BUWAL

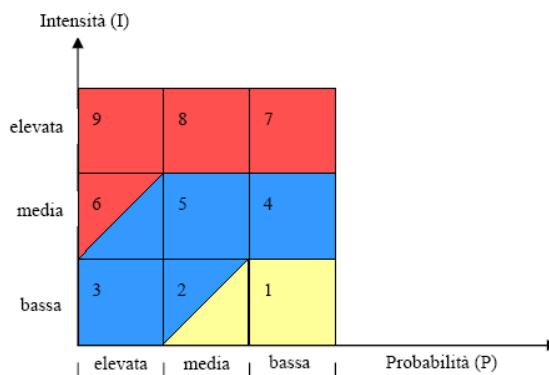


Fig. 5.1 – Matrice di definizione dei livelli di pericolo, modificata secondo BUWAL (1998), per fenomeni torrentizi e fluviali (All. A - DGP. 1306 del 04.09.2020)

Intensità del fenomeno torrentizio	profondità della corrente o del flusso detritico - $h$ (m)		velocità della corrente fuori dall'alveo - $v$ (m / s)		Spessore del deposito fuori dall'alveo - $M$ (m)
Elevata	$h > 1$	oppure	$v > 1$	oppure	$M > 1$
Media	$0.5 < h \leq 1$	oppure	$0.5 < v \leq 1$	oppure	$0.5 < M \leq 1$
Bassa	$h \leq 0.5$	oppure	$v \leq 0.5$	oppure	$M \leq 0.5$

Tab. 5.1 – Tabella dei valori soglia e dell'intensità per pericoli da fenomeni torrentizi (All. A - DGP. 1306 del 04.09.2020)



Fig. 5.2 – Pericolosità globale derivante dalle simulazioni numeriche nell'area per fenomeno di colata detritica TR200

Come già detto, anche se la simulazione non evidenzia un particolare interessamento diretto delle aree di variante se non per alcune limitate lingue di propagazione a bassa intensità solo nel caso dello scenario più estremo e cautelativo, a causa dei limiti intrinseci dei modelli idraulici utilizzati, nonché delle inevitabili incertezze sulla stima dei parametri idrologici e sedimentologici in input ai modelli propagatori, sempre più evidenti anche a causa del *climate change*, la cautela consiglia di valutare la pericolosità delle aree non solo su base strettamente numerica ma anche su osservazioni di campo ed esperienza. Nel caso in esame, quindi, la pericolosità derivante dalle simulazioni condotte, reinterpretate secondo quanto visibile sul terreno e le condizioni morfologiche locali, valutata secondo l'approccio di BUWAL (Fig. 5.1-Tab. 5.1) e quanto previsto dall'allegato A alla DGP 1306-04.09.2020 mostra in corrispondenza dell'area oggetto di variante valori di pericolosità sostanzialmente **BASSA (H2)** per fenomeni di trasporto solido di massa in arrivo dal Toal Col de Lin (Fig. 5.3). Come già detto, la posizione dell'area di progetto rispetto alle più probabili zone di propagazione simulate consente l'attuazione degli interventi senza particolari criticità e limitazioni seppur potrebbe esservi, in caso di evento estremo o fuori scala, seppur non messo in evidenza dalle simulazioni, qualche fenomeno propagatorio sull'area, seppur sempre di grado basso. Tale livello di pericolosità/penalità per l'area di grado appare oggettivamente gestibile mediante una serie di misure di mitigazione e interventi di riduzione della vulnerabilità che andranno definiti puntualmente al momento di progettazione degli interventi edificatori sulle aree oggetto di variante urbanistica. In via generale, ai fini della compatibilità della variante urbanistica, si possono indicare come possibili misure di mitigazione per i futuri interventi edificatori i seguenti accorgimenti:

- Evitare per quanto possibile entrate principali agli edifici rivolte verso monte (N-NW), in particolare se destinati alla residenza e ricettività, o comunque con presenza più o meno costante di persone;
- Prevedere in fase di progetto opportuni rinforzi strutturali delle murature degli edifici sui lati potenzialmente più esposti (N-NW), almeno per il pian terreno (0-3 m fuori terra) evitando su queste strutture leggere e scarsamente resistenti (es. strutture solo in legno);
- Nel caso di realizzazione di interrati, evitare rampe di accesso a questi rivolte verso monte (N-NW) e fori di aereazione (bocche di lupo) sui alti più esposti; per queste ultime, se non possibile posizionarle diversamente, prevederle leggermente rialzate da terra e/o con serramenti anti-allagamento a tenuta.

Di seguito la proposta di perimetrazione della pericolosità secondo le risultanze dello studio eseguito e loro reinterpretazione critica sul terreno.

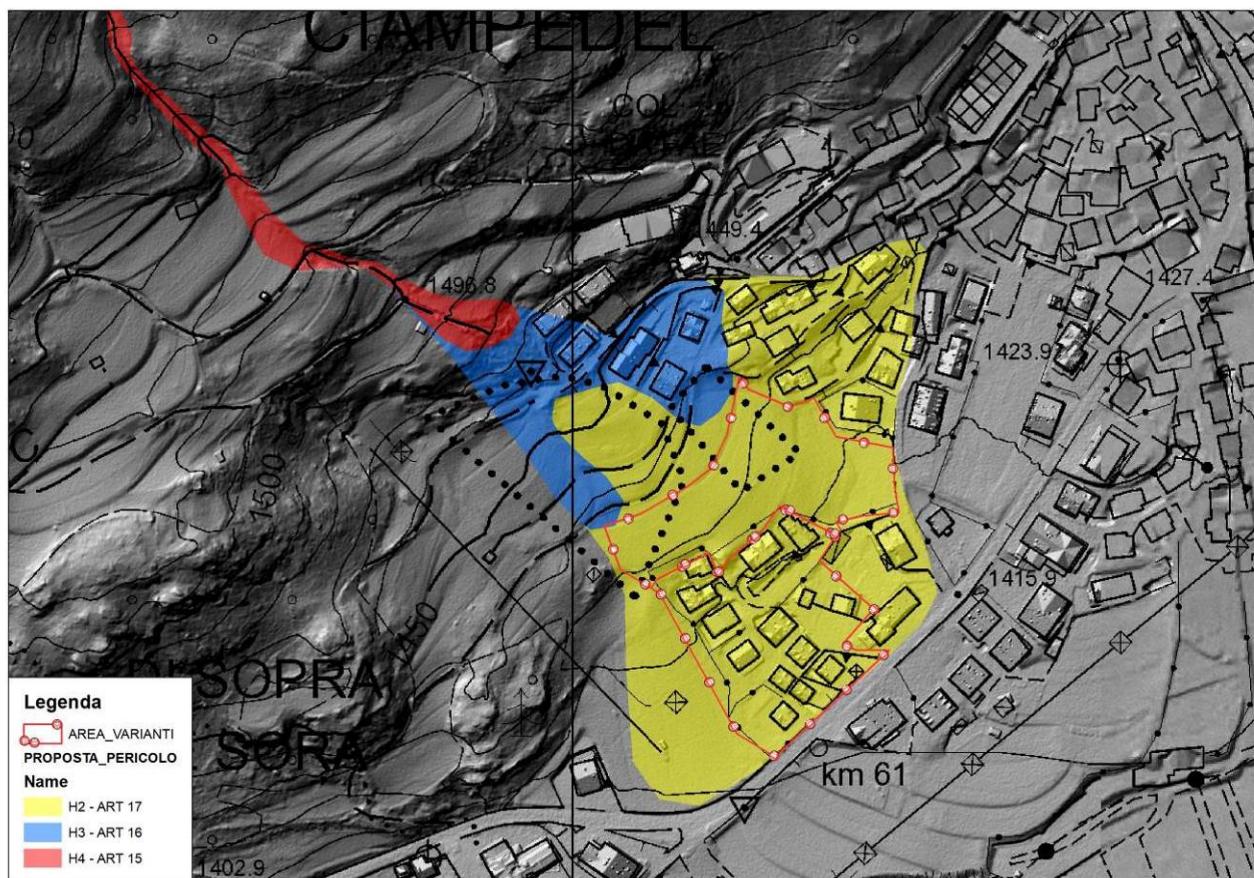


Fig. 5.3 – Proposta di perimetrazione analitica della pericolosità per il conoide del Toal Col de Lin.

## 6. CONCLUSIONI E COMPATIBILITA' DELLE VARIANTI

Sulla base delle risultanze delle analisi sul grado di pericolo derivanti dallo studio eseguito, valutate ed analizzate criticamente sulla base dei sopralluoghi effettuati e dalla conoscenza diretta dei luoghi, nonché delle misure di mitigazione generali proposte al capitolo precedente allo scopo di ridurre la vulnerabilità dei futuri interventi edilizi (da puntualizzare in fase di progetti definitivi) si ritiene che le proposta delle due varianti V33 e V41 possa ritenersi oggettivamente COMPATIBILE con il livello di pericolosità/penalità attuale potenzialmente presente sull' area, valutato secondo le risultanze dello studio nel complesso di grado **BASSO H2/P2 (Art. 17)**.

Le misure di mitigazione sopra ricordate consentiranno il raggiungimento di un grado di sicurezza sufficiente per consentire l'intervento edificatorio, pur nella consapevolezza che in situazioni ambientali come quella in oggetto il "pericolo residuo", legato a fenomeni fuori scala e/o comportamenti dei fenomeni anomali e non prevedibili con i normali strumenti tecnico-scientifici attualmente disponibili, rimane una componente non trascurabile nello scenario di riferimento, anche alla luce del *climate change* in atto.

Campitello di Fassa, lì novembre 2021

IL TECNICO INCARICATO

Dott. Silvio Grisotto

