

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

COMUNE di ALTAVALLE

STUDIO DI COMPATIBILITA'

Piano Territoriale della Comunità della Valle di Cembra

Piano stralcio in materia di viabilità e delle reti per la mobilità
di valenza sovracomunale

Collegamento Sover – Grumes / B2

COMMITTENTE: Comunità della Valle di Cembra

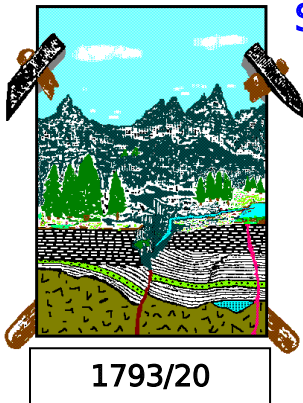
il geologo

il progettista

il committente



15 marzo 2020



STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO GEOALP

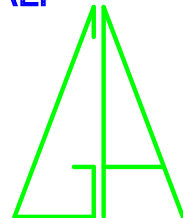
dott. geol. Franca Bazzanella
dott. geol. Gianfranco Bazzoli
dott. geol. Icilio Vigna
P.IVA 01332500220

Viale Europa, 78 - Loc. San Cristoforo
Pergine Valsugana (TN) - 38057

Tel. 0461-985577 E-mail: geoalp.tn@virgilio.it

E-mail PEC: geoalp@pec-legal.it

Web homepage: <http://www.geoalp.eu>



Lo Studio Geologico Associato GeoAlp ha scelto di utilizzare per le sue relazioni i fonts a risparmio di toner "ecofonts". Ciò può comportare un aspetto più chiaro del carattere nel formato pdf delle relazioni. Lo riteniamo un sacrificio accettabile nell'ottica di un uso consapevole delle risorse.



INDICE

- 1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO**
- 2. IL PROGETTO**
- 3. VALUTAZIONE PREVENTIVA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO - STUDIO DI COMPATIBILITA'**
 - 3.1 Componente idraulica**
 - 3.2 Componente frane**
 - 3.2.1 Componente frane: zona discarica – depuratore di Sover
 - 3.2.2 Componente frane: zona depuratore – ponte sull'Avisio
 - 3.2.3 Componente frane: zona fra il ponte sull'Avisio e Maso Rio
 - 3.2.4 Componente frane: zona sotto Grumes
 - 3.3 Componente crolli**
 - 3.3.1 Componente crolli: versante sotto Grumes
 - 3.3.2 Componente crolli: zona fra discarica Sover e depuratore
 - 3.3.3 Componente crolli: zona spalla destra ponte Avisio
 - 3.3.4 Componente crolli: zona in prossimità del Castelet
- 4. CONCLUSIONI**

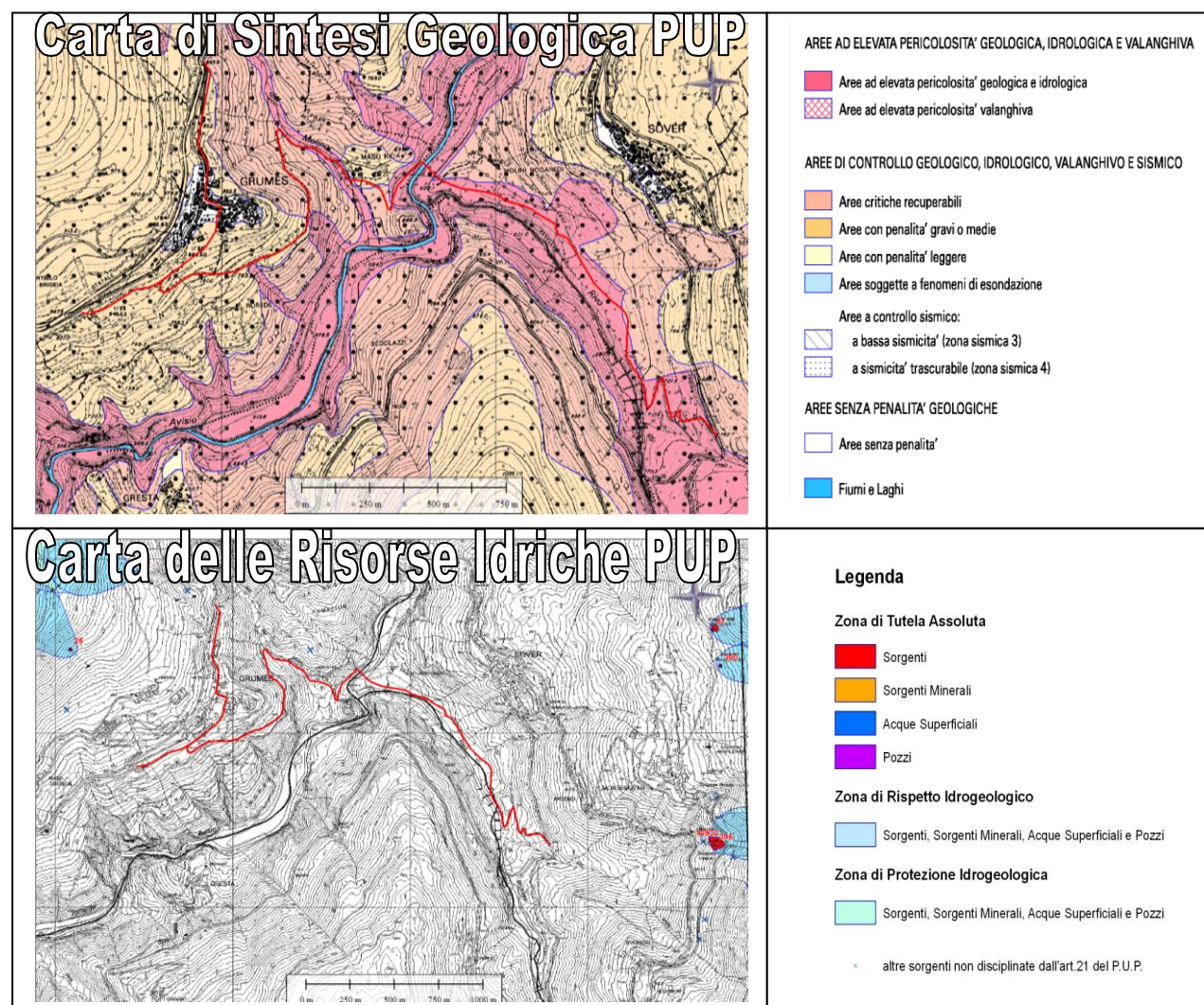


1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

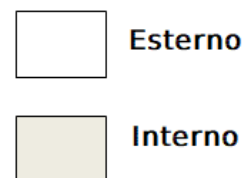
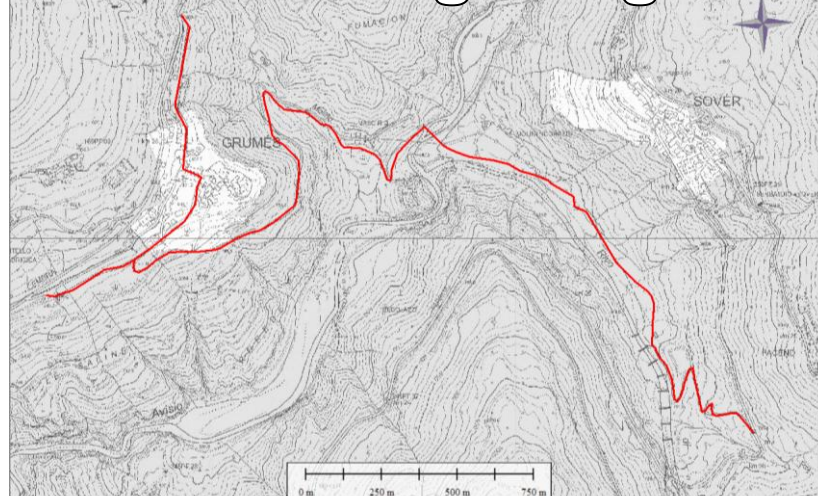
Il progetto in esame è: "Piano Territoriale della Comunità della Valle di Cembra / Piano stralcio in materia di viabilità e delle reti per la mobilità di valenza sovracomunale - Collegamento Sover – Grumes B2" commissionato dalla Comunità della Valle di Cembra allo Studio Tecnico Gorfer arch. Giuseppe.

Le figure a seguire presentano l'inquadramento dell'area attraversata dal collegamento in esame:

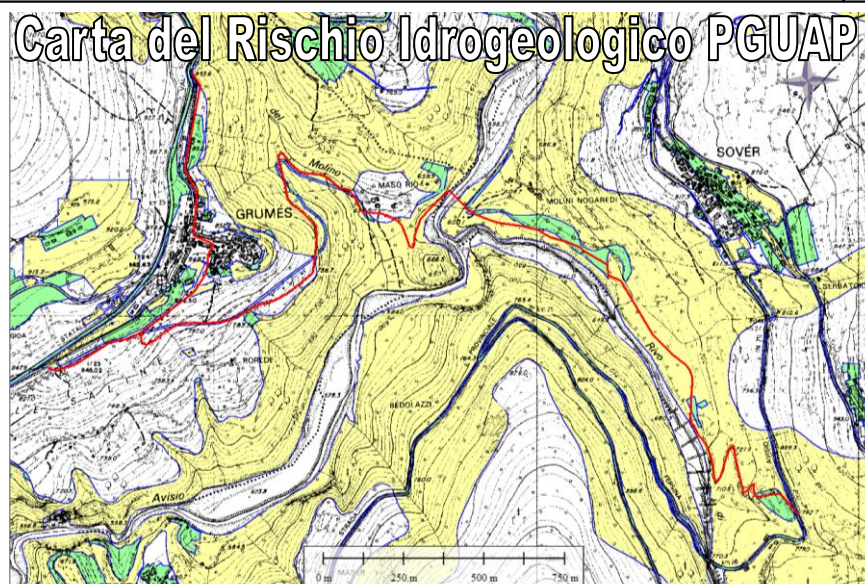
Strumento urbanistico	Classificazione	
Carta di Sintesi Geologica	Da Area ad elevata pericolosità fino a Area senza penalità	area sismica a sismicità trascurabile (zona sismica 4)
Carta delle Risorse Idriche (3° Aggiornamento)	Area senza vincoli	
Carta del Vincolo Idrogeologico	Area interna al vincolo	
Carta del Rischio PGUAP	Moderato (R1) e Medio (R2)	Situazione attuale
Carta del Vincolo Idrogeologico	Area interna al vincolo	



Vincolo Idrogeologico



Carta del Rischio Idrogeologico PGUAP

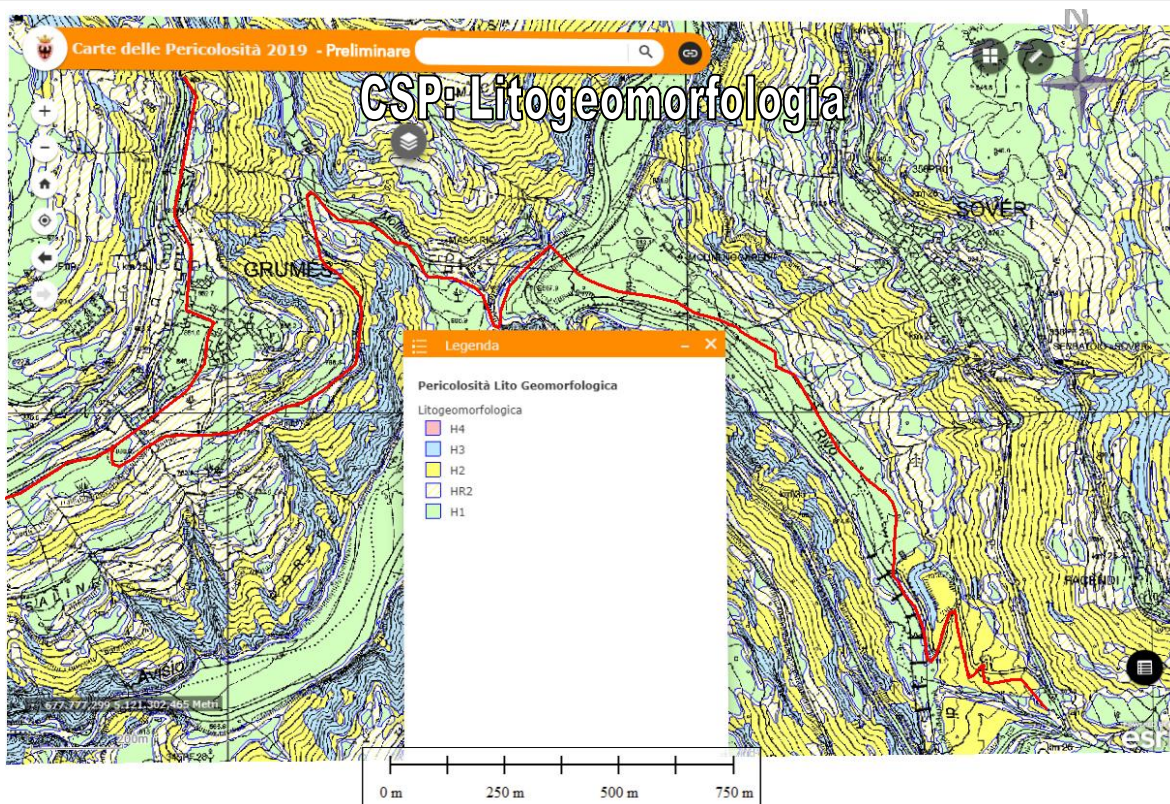
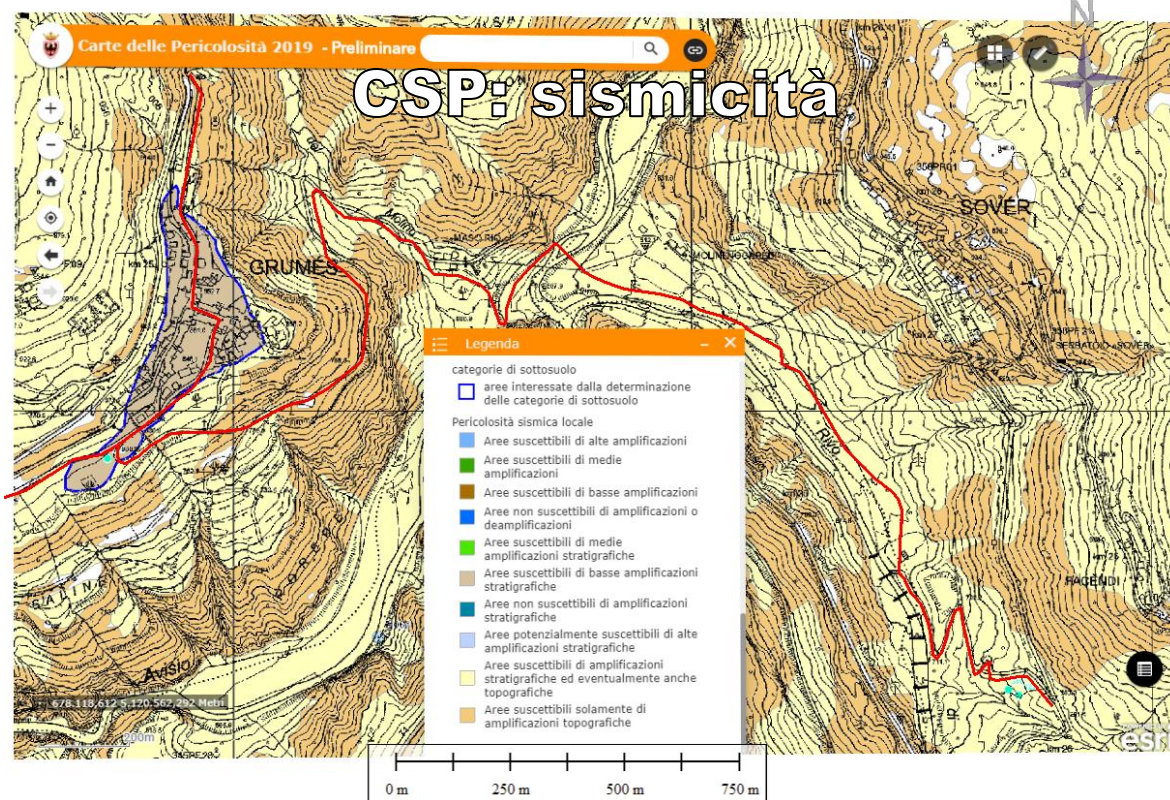


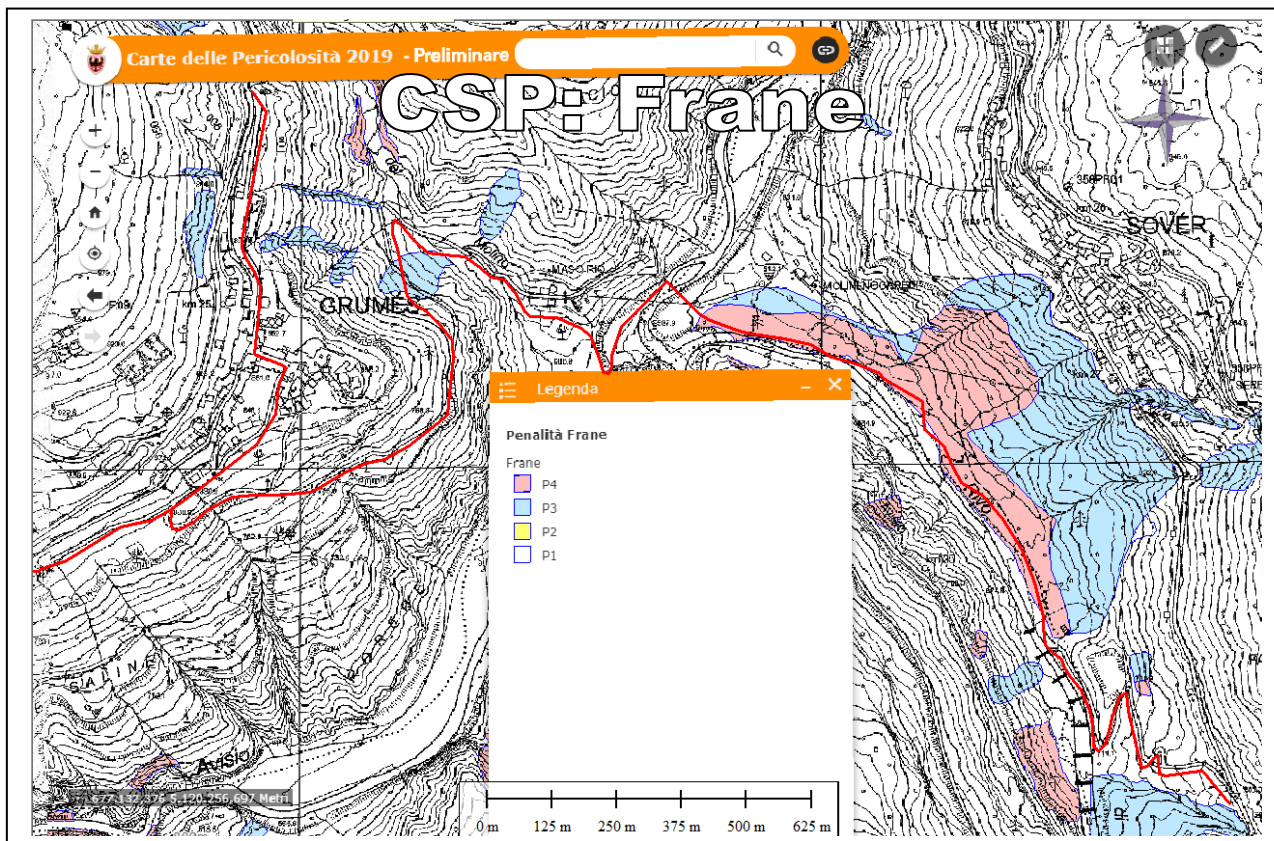
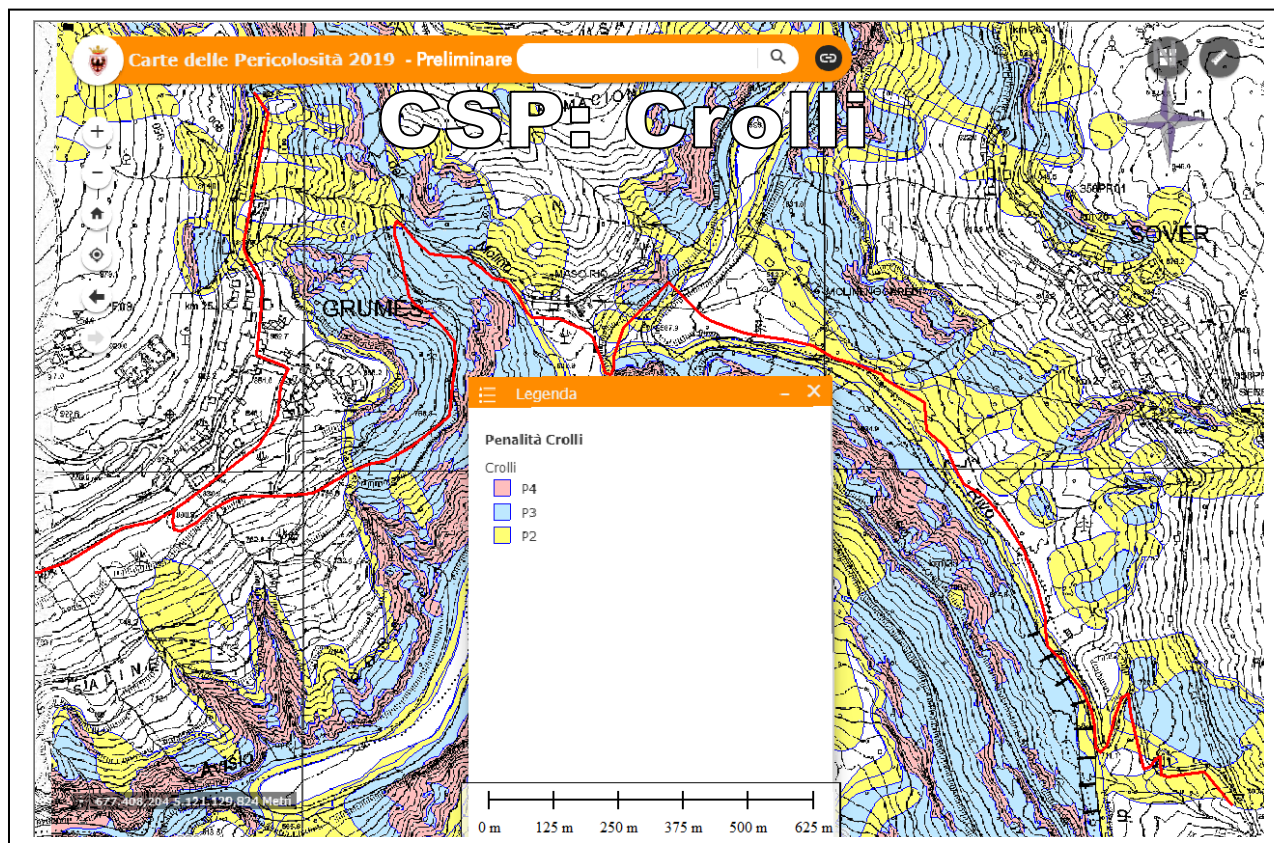
Si noti anche che:

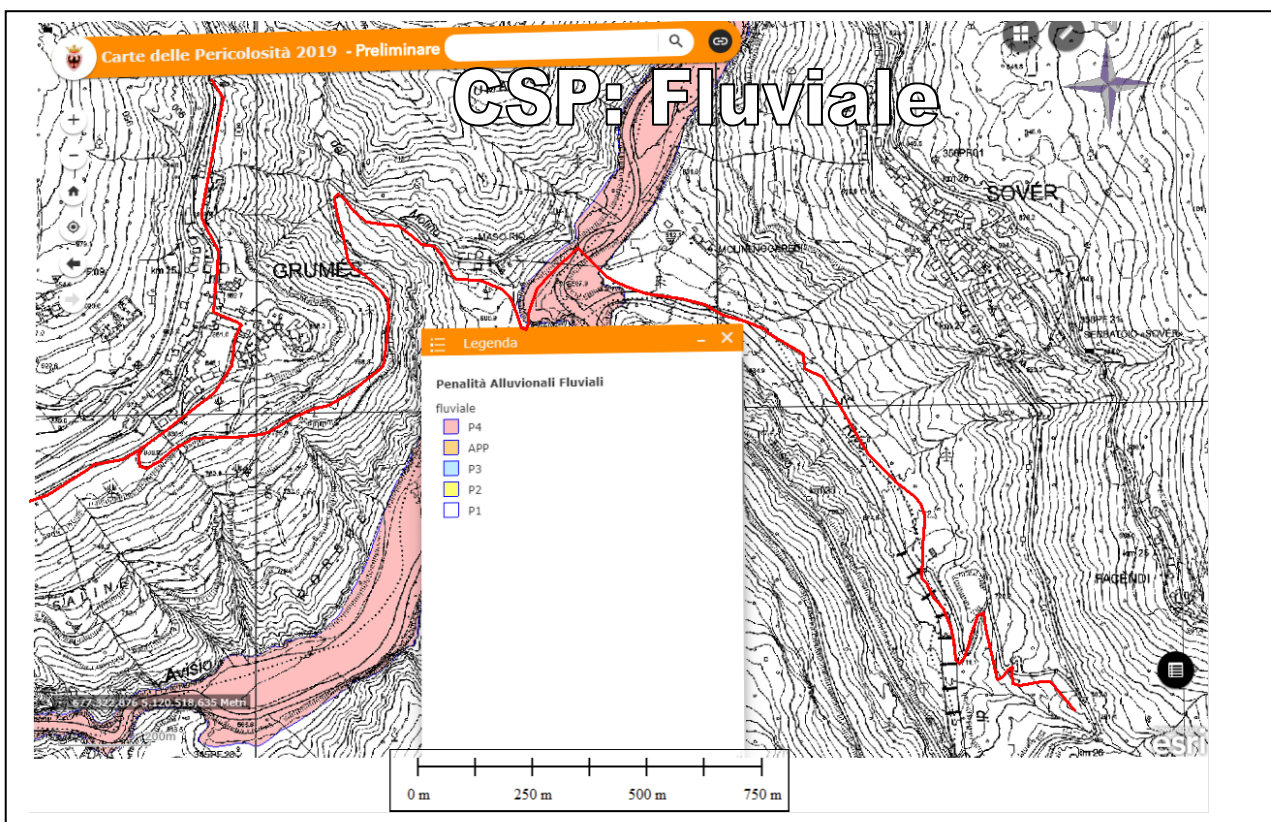
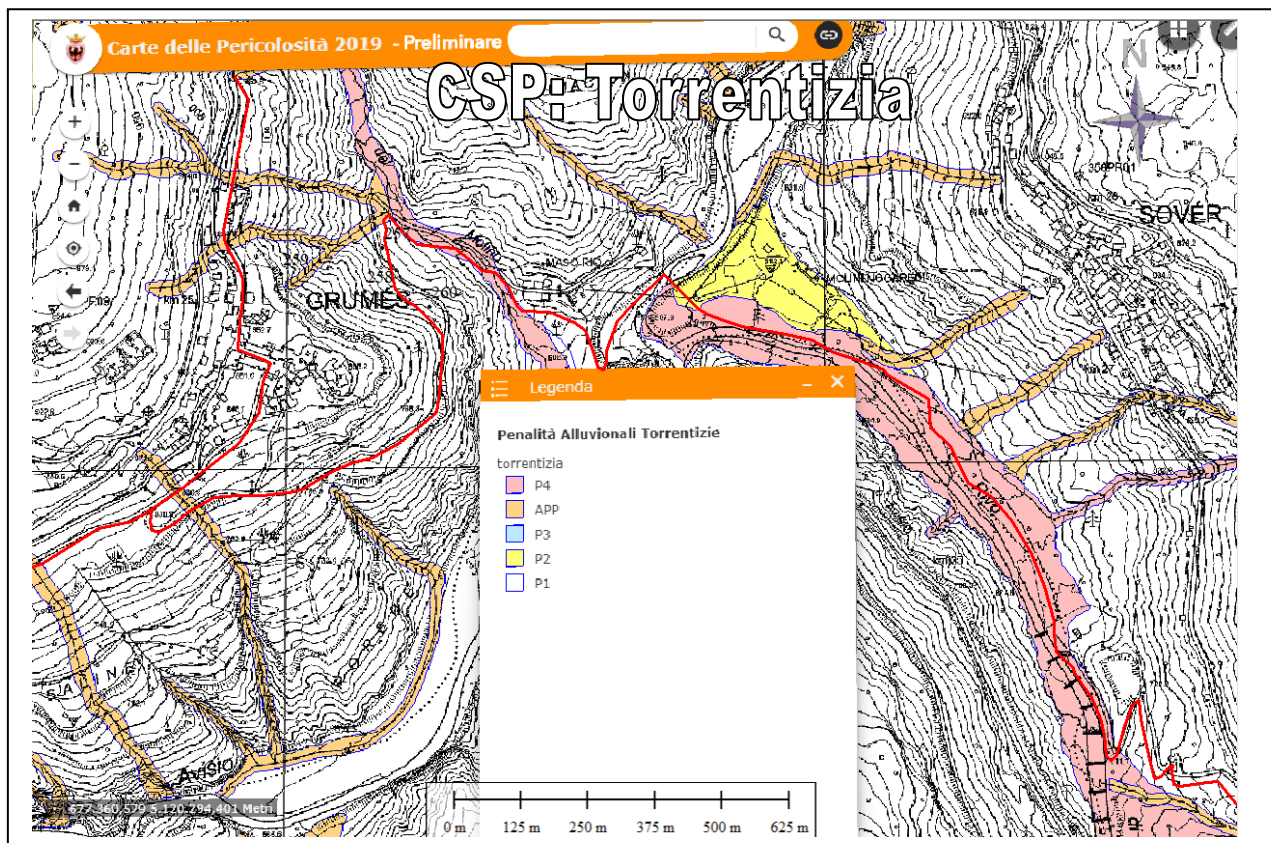
- con l'adozione di un uso del suolo aggiornato alla previsione di progetto, la carta del Rischio Idrogeologico del PGUAP diventerebbe più gravosa, con formazione di zonizzazioni anche a rischio Elevato R3 e rischio molto Elevato R4,
- è oramai in fase di approvazione la Carta di Sintesi delle Pericolosità: con Delibera di Giunta Provinciale n° 1080 del 19/07/2019 vi è stata infatti l'adozione preliminare di tale strumento urbanistico su tutto il territorio provinciale. Si ritiene di interesse riportare l'inquadramento del tracciato anche su tale strumento urbanistico, evidenziando le diverse componenti della pericolosità.

Risulta evidente come il tracciato vada ad attraversare aree penalizzate da numerose tipologie di pericolosità, come mostrato nelle figure a seguire.

Si presti anche attenzione alla circostanza che non tutte le situazioni di pericolosità segnalate trovano effettivo riscontro sul terreno e che alcune delle situazioni di pericolosità realmente individuate e rilevate sul terreno non sono indicate in tale cartografia.









3. VALUTAZIONE PREVENTIVA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO - STUDIO DI COMPATIBILITA'

Il presente elaborato si riferisce al "Piano Territoriale della Comunità della Valle di Cembra / Piano stralcio in materia di viabilità e delle reti per la mobilità di valenza sovracomunale - Collegamento Sover – Grumes B2" commissionato dalla Comunità della Valle di Cembra allo Studio Tecnico Gorfer arch. Giuseppe.

La descrizione dell'incarico affidato e le relative condizioni al contorno vengono di seguito ricordate (stralcio dalla lettera di invito):

con presente **SI INVITA**

ai sensi dell'art. 5 comma 4 lettera c) della L.P. 2/2016 e dell'art. 21 della legge provinciale 23 luglio 1990 n. 23 e ss.mm. e artt. 13 e 30 del vigente D.P.G.P. 22 maggio 1991, n. 10-40/Leg., codesto spettabile Professionista partecipare alla presente gara telematica per l'affidamento del servizio in oggetto, le cui caratteristiche principali sono:

Stesura di un apposito documento di **Valutazione preventiva del rischio idrogeologico** generato da nuove varianti urbanistiche in caso di interventi determinanti un rischio idrogeologico R3 (ai sensi dell'art. 17 comma 1) delle norme di attuazione del PGUAP) e per gli interventi determinanti un rischio idrogeologico R4 (in quanto opere di infrastrutturazione del territorio, ai sensi dell'art. 16 comma 1) lettera b)).

L'oggetto dell'incarico è la stesura di un apposito **Studio di compatibilità idraulico e di compatibilità crolli** che analizzi dettagliatamente le condizioni di rischio e definisca gli accorgimenti costruttivi, localizzativi e architettonici per la realizzazione degli interventi e la loro utilizzazione, in modo da tutelare l'incolumità delle persone e ridurre la vulnerabilità dei beni.

Il tempo massimo per la consegna alla scrivente Amministrazione del suddetto Studio è di una settimana dalla comunicazione di affidamento incarico.

Poichè lungo il tracciato sono state riconosciute varie tipologie di problematiche idrogeologiche, per rendere più agevole la consultazione del presente documento, esso è stato strutturato in capitoli separati per ciascuna delle diverse componenti della pericolosità:

- componente idraulica,
- componente frane,
- componente crolli.

Ciascuno di questi capitoli si articolano seguendo, in accordo con le norme del PGUAP, la seguente metodologia di trattazione:

- Individuazione del tipo di fenomeno,
- Analisi della pericolosità,
- Massimi effetti prevedibili,
- Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare,
- Definizione delle opere di messa in sicurezza,
- Cronoprogramma opere,
- Conclusioni.

Per la componente idraulica ci si è avvalsi della preziosa collaborazione del Dr. Grisotto Silvio, recependo completamente i contenuti specialistici delle modellazioni da lui elaborate.



3.1 Componente idraulica (a cura del Dr. Silvio Grisotto)

- Individuazione del tipo di fenomeno:

Il fenomeno indagato risulta di due tipologie principali:

a) **fenomeni torrentizi ad elevata magnitudine in termini di portata liquida e solida attesi lungo il corso principale del rio di Brusago**, della tipologia prevalente bedload transport e piena di detriti (debris flood), con concentrazioni volumetriche massime nell'ordine del 10-20%, elevata energia di trascinamento, ma ancora con comportamento della corrente classificabile come Newtoniano; i tempi di ritorno indagati sono il TR 30 e il TR 200 in quanto limiti inferiore e superiore previsti dagli strumenti normativi vigenti (PGUAP) ed in via di adozione (Nuova Carta delle pericolosità idrogeologiche).

b) **fenomeni di trasporto solido di massa in forma prevalente di colata detritica (debris flow) sui principali collettori laterali** del versante destro della valle, a valle dell'abitato di Sover, caratterizzati da parametri idrologici, morfometrici, geomorfologici e geotecnici predisponenti l'innescò di questi fenomeni.

Le indicazioni sulla scelta dei fenomeni da indagare ci vengono fornite dall'applicazione al bacino del Rio di Brusago di una recente metodologia sintetica su base GIS implementata dal CNR-IRPI di Padova sull'intera Provincia di Trento. La metodologia consente di estrarre, dalla rete idrografica sintetica (estrazione con superficie di soglia pari a 2 ha) i possibili punti di innescò 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 (km²).

Questo approccio trova il suo fondamento sul fatto che, ipotizzando non limitante la disponibilità di materiale movimentabile (cosa non certamente improbabile in un bacino dalle potenzialità sedimentologiche come il rio di Brusago ed i suoi affluenti principali), l'innescò di una colata detritica canalizzata o di un fenomeno di trasporto solido molto concentrato dipende dal superamento di valori critici di portata e pendenza lungo il reticolo sintetico estratto per via idromorfologica.

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'innescò 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 innescò di colata può essere fornita da una mappa di densità dei punti d'innescò; tale elaborazione permette di individuare quali sono le zone all'interno del bacino in cui maggiore è la densità dei punti d'innescò (kernel density). Di seguito i risultati dell'applicazione al bacino del Brusago.

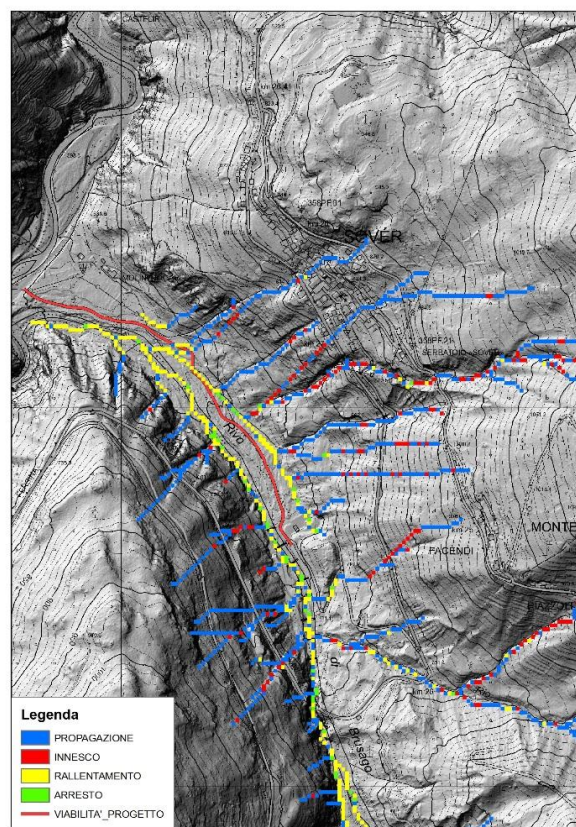
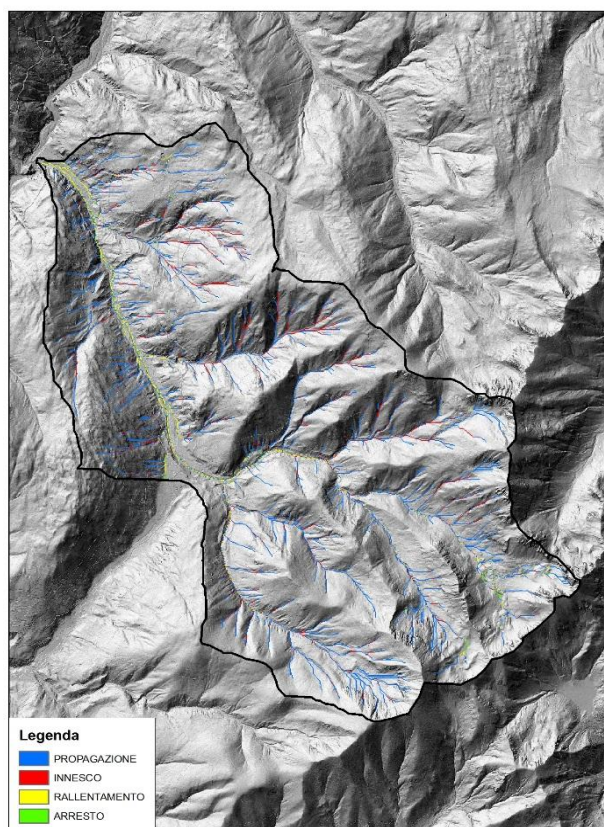


Fig. 3.1-3.2 – Fenomeni prevalenti attesi lungo il reticolo idrografico sintetico

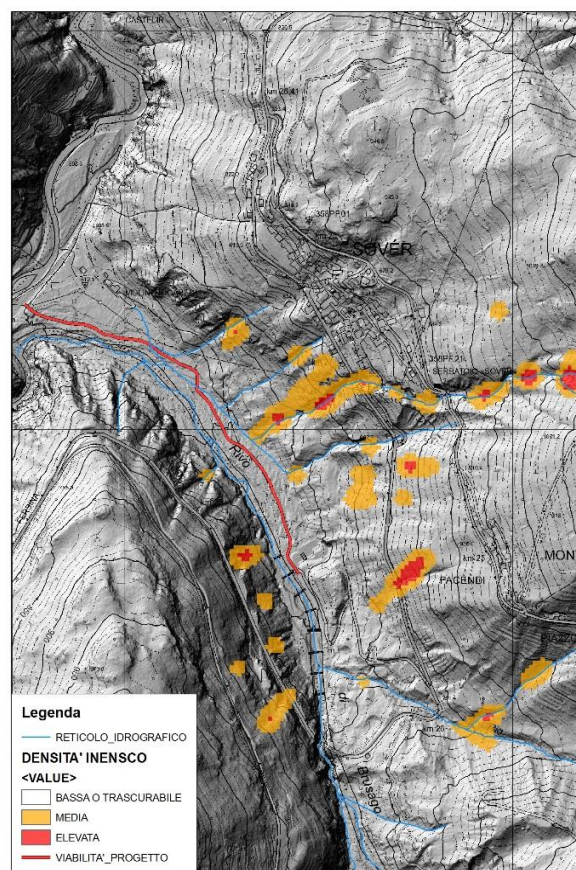
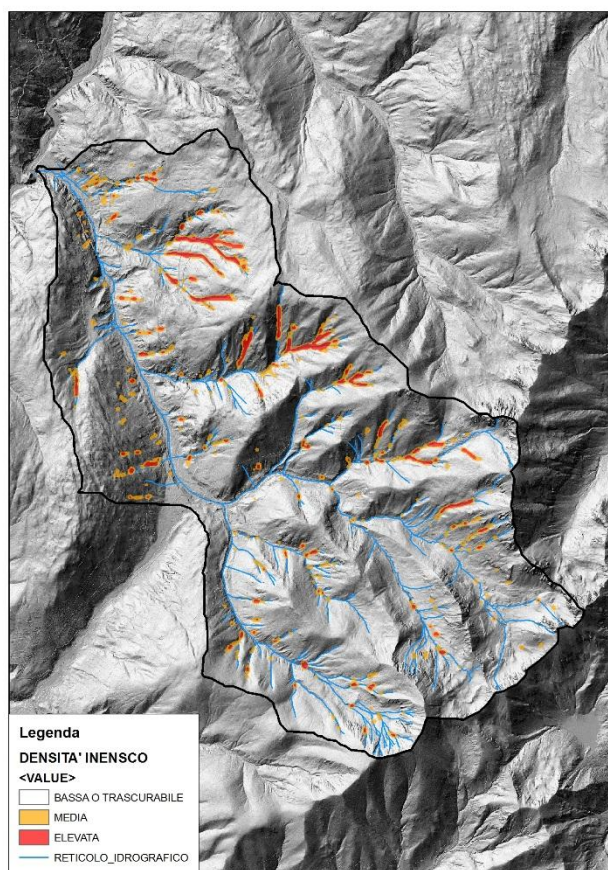
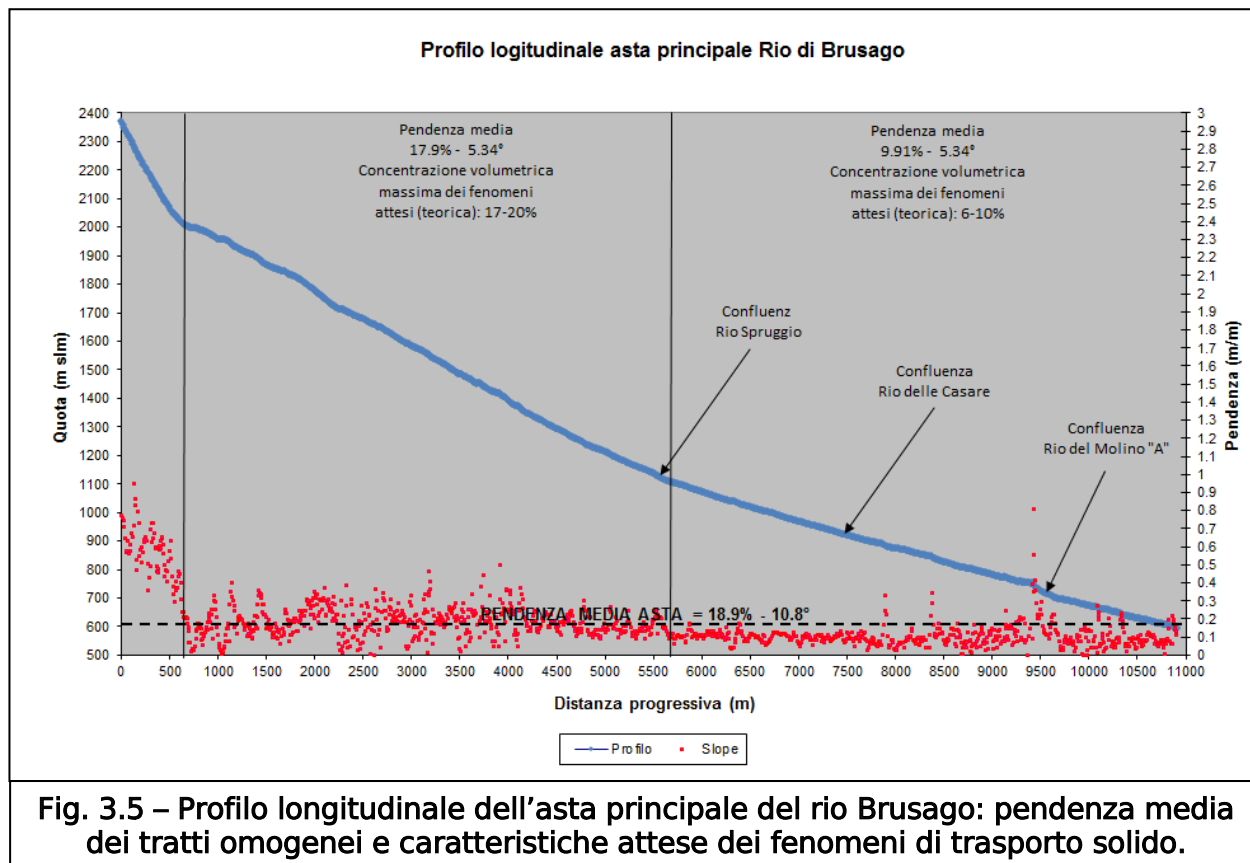


Fig. 3.3-3.4 – Densità potenziale d'innescio di fenomeni di trasporto di massa nel bacino e nel tratto in corrispondenza della proposta di intervento

Anche l'analisi del profilo longitudinale dell'asta principale del rio Brusago evidenzia come le pendenze, nel tratto terminale a valle della confluenza con il rio Spruggio, risultino compatibili con le concentrazioni volumetriche massime tipiche dei fenomeni di trasporto solido al fondo (seppur concentrati) e le piene di detrito. Non appaiono invece compatibili con la propagazione di fenomeni di colata di detrito potenzialmente da attendersi invece nei collettori laterali.



Un'ulteriore verifica delle tipologie di fenomeno attese nel tratto è possibile anche attraverso l'osservazione direttamente in campo dei cosiddetti "testimoni muti" presenti nell'area conoidale, a valle della grande serra di quota 737 m slm, nonché dei caratteri morfometrici principali del conoide stesso ed in particolare la pendenza.

I sopralluoghi effettuati in loco hanno messo in evidenza in maniera netta come l'intervento si inseriscapienamente all'interno dell'area conoidale del rio di Brusago, potenzialmente ancora attiva o riattivabile non tanto da fenomeni ordinari di piena e di trasporto, ma da eventi con magnitudo molto elevata o eccezionale.

Le evidenze degli antichi fenomeni di trasporto solido, probabilmente legate agli venti storici di fine '800 e del 1966, sono ben visibili con lobi ed argini di deposizione sparsi praticamente ovunque sul conoide ed anche lungo la traccia della viabilità di progetto, come visibile nelle immagini che seguono.



Fig. 3.6-3.9 – Testimoni muti dei passati eventi di trasporto solido del rio Brusago rilevabili sul conoide e nell’area di intervento

Come si può notare dalle immagini sopra riportate, i depositi ancora ben visibili sono costituiti da massi anche di diverse decine di centimetri di diametro medio, con diametri massimi rilevabili fino a 1-1.5 m. Ciò sta ad indicare l’elevata energia avuta dai fenomeni e la capacità del corso d’acqua di veicolare fino allo sbocco in Avisio materiali di dimensioni molto elevate. Probabilmente tali testimonianze, però, rappresentano condizioni “limite”, dovute ai fenomeni di destabilizzazione di massa eccezionali e fuori scala collegati agli eventi di fine ‘800 e del 1966, durante i quali **vi fu il trasporto di milioni di metri cubi** di materiale.

In condizioni più “normali”, seppur critiche (TR elevati), si ritiene che i fenomeni di trasporto possano assumere difficilmente magnitudine paragonabile a quelli di fine 800, anche per la presenza di numerosissime opere di sistemazione di cui si dirà più avanti. Resta comunque il fatto che si tratti di un’area conoidale tutt’altro che spenta e, quindi, potenzialmente suscettibile ad altri fenomeni di rimodellamento.

E’ presente sul conoide una parte definibile meno attiva, rappresentata dalla zona prativa su cui sorgono le abitazioni della località Molini Nogaredi. La minore attività di questa parte del conoide è chiaramente visibile anche osservando la mappa delle pendenze di derivazione LIDAR, che evidenzia apparentemente in questa zona minori morfologie deposizionali caotiche (la bonifica dei prati ha però, forse, mascherato le testimonianze più evidenti) e pendenze più ridotte nell’ordine dei 5-8°, rispetto ai 10-12 gradi della parte di conoide più attiva.

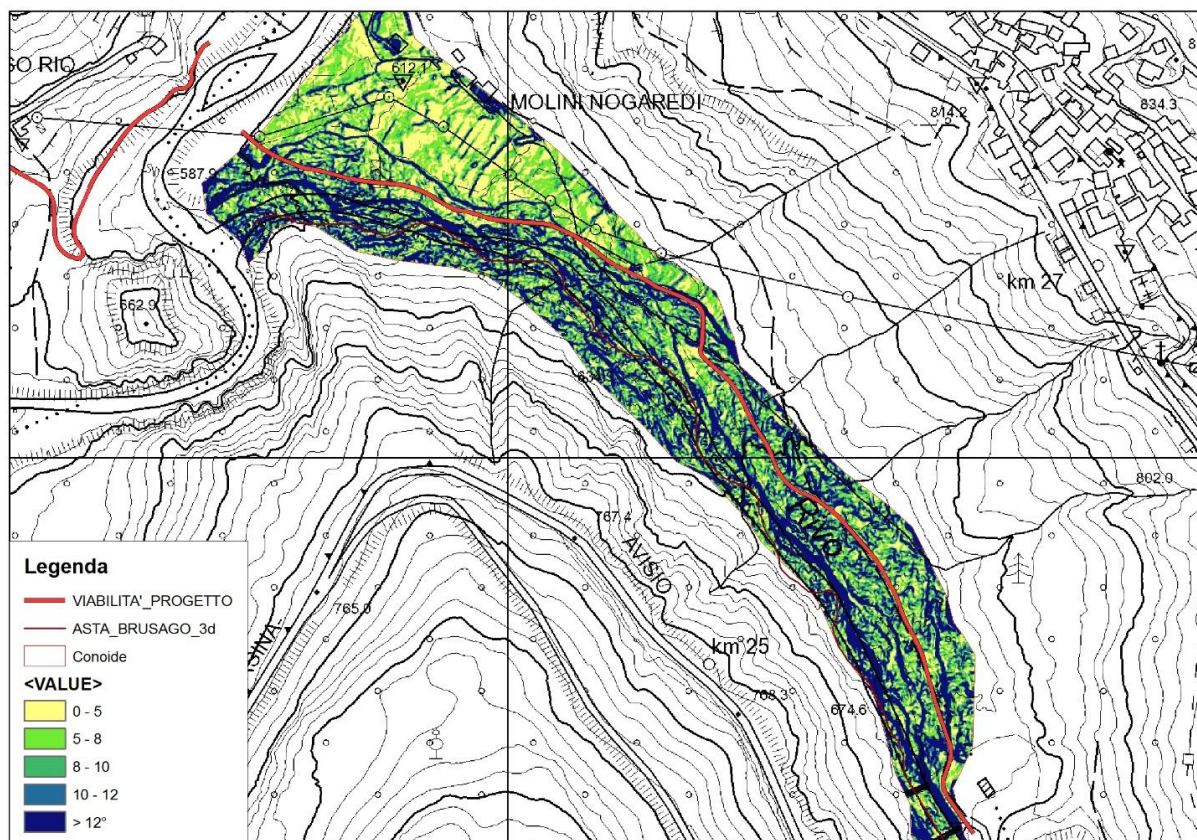


Fig. 3.10 – Carta delle pendenze del conoide e tracciato stradale di progetto.

Accanto alle evidenze dei fenomeni di trasporto solido dell'asta principale del rio Brusago, nell'area interessata dall'intervento si rileva anche la presenza di 4 piccoli conoidi detritico-alluvionali di chiara origine da debris flow alla base di altrettanti collettori laterali che scendono in destra idrografica dal versante di Sover. Si tratta in particolare, partendo da monte verso valle, del Fosso del Fode (o Fosso Coleri II), il rio Val de la Rial (o ex Fosso Coleri), il Fosso dei Broili II e il Fosso dei Broili I.

Trattasi di collettori a carattere effimero o quasi effimero, caratterizzati dalla presenza solo intermittente di acqua. Tre di questi presentano bacini di alimentazione naturali molto ridotti (tra 0.06 e 0.1 km²) seppur alimentati, probabilmente, anche dalle acque bianche della frazione Sover, che in caso di scrosci violenti possono risultare in risposte anche piuttosto rapide.

Solo il rio Val de la Rial (ex Fosso Coleri) risulta alimentato da un bacino di superficie non trascurabile (1.2 km²) ed in grado quindi di dare, potenzialmente, risposte idrologiche anche non trascurabili.

Trattandosi chiaramente di bacini con dimensioni di 1-2 ordini di grandezza inferiori rispetto al Brusago, è atteso come i fenomeni meteorici critici per questi presentino durate assai inferiori rispetto alla durata della precipitazione critica per l'intero bacino del Brusago. I tempi di corrivazione di questi collettori stimati con l'approccio di Ferro (2003), infatti, variano da pochi minuti (10-15 ') fino a 45' per il rio Val de la Rial.

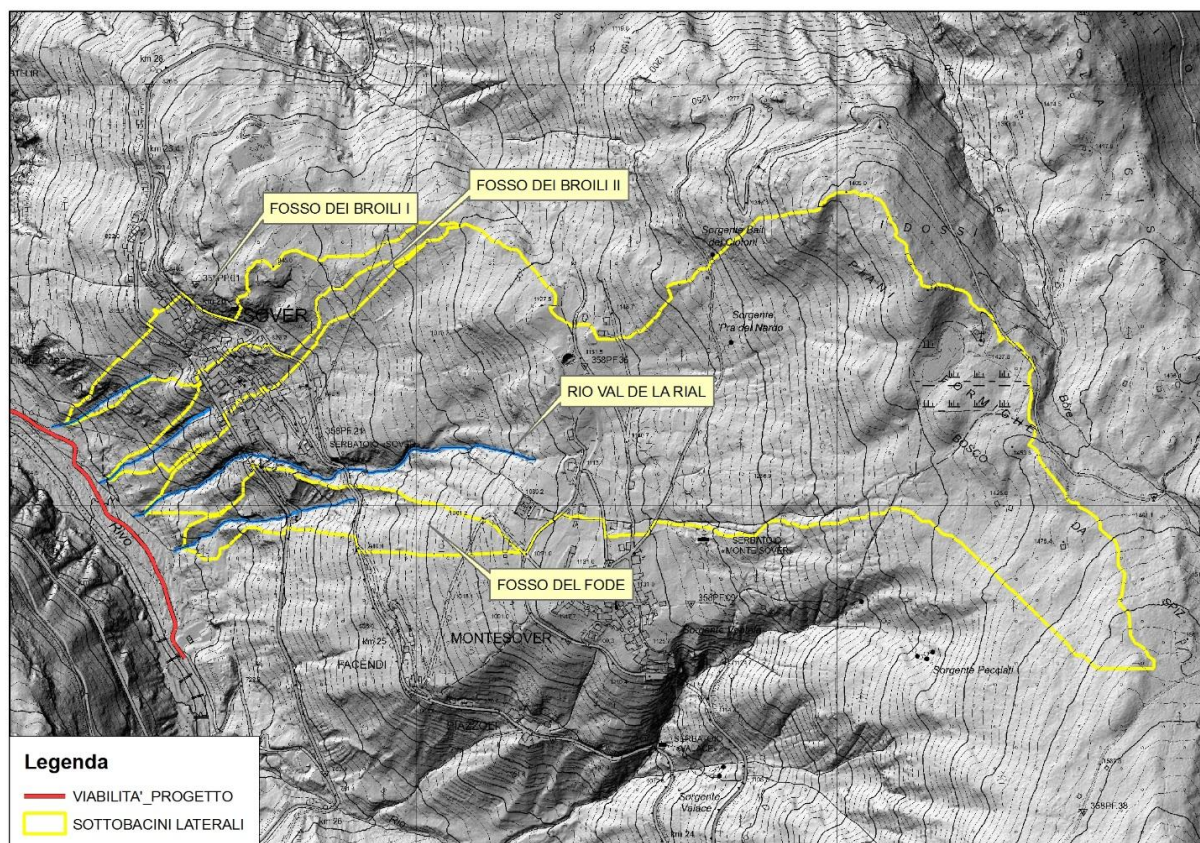


Fig. 3.11 – Sottobacini laterali che insistono sull'area interessata dalla viabilità in progetto.

Alla base del versante, questi collettori hanno edificato nel corso dei secoli piccoli ma evidenti conoidi detritico-alluvionali, generati molto probabilmente da piccola colate di detrito in successione, favorite sia dalla pendenza del versante che dalle caratteristiche di elevata erodibilità dei substrati morenici che lo caratterizzano.



Fig. 3.12-3.15- Piccole forme conoidali generate dai collettori laterali.

Le incisioni nel detrito morenico sono ben evidenti soprattutto sotto la SP71 ove anche la procedura sintetica del CNR di cui già si è detto evidenzia la presenza di zone caratterizzate da elevata densità di potenziali punti d'innesco di fenomeni di trasporto di massa.

Fortunatamente la ridotta lunghezza delle aste torrentizie in potenziale dissesto scongiura la formazione di fenomeni di elevata volumetria, se non sul rio Val de la Rial ove le dimensioni del bacino possono garantire un motore idrologico più abbondante e volumetrie mobilizzabili, quindi, maggiori.

I piccoli conoidi di deiezione si uniscono, in un tutt'uno, con il conoide alluvionale del Brusago. Dai sopralluoghi effettuati si evidenzia un certo dislivello tra il piede di questi conoidi e la quota su cui dovrebbe passare la viabilità in progetto, garantendo, per quasi tutto lo sviluppo, una certa protezione.

I deflussi provenienti dai primi 3 collettori (partendo da monte), si incanalano in una sorta di piccolo canale di gronda naturale che corre più o meno parallelo alla traccia della strada per poi incrociarla ove questa si sposta verso la sponda destra ed i prati della loc. Molini.

L'attraversamento avviene con due tubature parallele da 80 cm, con pendenza circa 5%, che appaiono sufficienti per smaltire le portate liquide attese (il bacino drenante in questo punto ha una superficie di circa 2.3 km^2 , con una portata liquida massima stimata per via idrologica pari a circa $3.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), sempreché gli imbocchi rimangano liberi da ostruzioni ed il funzionamento sia ideale.



Fig. 3.16-3.17 – Canale naturale di smaltimento dei deflussi provenienti dal versante di Sover e dai canali da debris flow. L'attraversamento della strada avviene con due tubature in cls da 80 cm.

La ridotta pendenza del collettore non appare in grado di favorire la propagazione dei fenomeni di trasporto solido massivo provenienti dai collettori, che molto probabilmente tenderebbero a depositare alla base del versante (come le evidenze morfologiche dimostrano).

Inquadramento generale del bacino del rio di Brusago: caratteristiche idro-geomorfologiche, vegetazionali, eventi storici e sistemazioni idraulico forestali.

Il rio Brusago è uno degli elementi idrografici di rilievo tra gli affluenti in sponda sinistra dell'Avisio. Presenta una dimensione del bacino piuttosto elevata (29.7 km²) se confrontata alla media dei bacini di III ° livello in Provincia di Trento.

Ciò che è però necessario puntualizzare da subito è come la pericolosità del rio di Brusago sia ben conosciuta tanto da rientrare di diritto tra i corsi d'acqua più pericolosi della provincia di Trento. Ne sono testimonianza gli eventi alluvionali passati e più recenti (1882, 1885 e 1966) e l'imponente opera di sistemazione svolta nell'ultimo secolo e mezzo lungo l'asta principale e lungo i principali affluenti che certamente garantisce un buon livello di sicurezza, ma non può certamente considerarsi risolutiva visto lo stato generale di dissesto che caratterizza il bacino e lo predispone a fenomeni alluvionali di elevata magnitudine. Il Rio Brusago ha storicamente avuto un ruolo importante nel corso di tutte le grandi alluvioni apportando enormi quantità di materiale solido nell'Avisio; l'evento del 1882 sul rio Casare, che cambiò completamente il suo alveo, è riportato nella letteratura



europea (5 milioni di metri cubi stimati). Nel 1885 un nuovo violento nubifragio causò altri pesanti danni, con un ulteriore approfondimento del rio Casare e forti erosioni nella parte alta del bacino, con la distruzione di due segherie poco a monte di Brusago.

Per impedire l'approfondimento della valle principale e delle valli laterali (in particolare la Valle delle Casare) numerose sono state le opere trasversali di consolidamento realizzate dal Servizio Bacini montani tra cui, la "serra" di chiusura della valle realizzata nel 1910, dopo la disastrosa alluvione del 1882) poco a monte dell'attraversamento della SP 71 a Sover, rappresenta uno degli esempi più importanti. Tale opera ha infatti l'importantissimo compito di bloccare il profilo impedendo l'approfondimento dell'alveo ed il trasporto a valle di una elevatissima quantità di congerie.



Torrente Brusago
costruzione serra - 1910

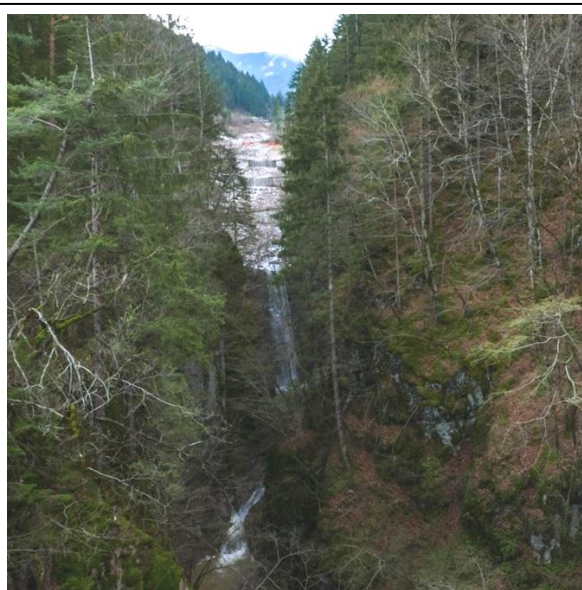


Fig. 3.18-3.19 – La grande “serra” realizzata nel 1910 in pietrame con grossi massi lavorati sul posto, ancora perfettamente conservata (foto Archivio Servizio Bacini montani).

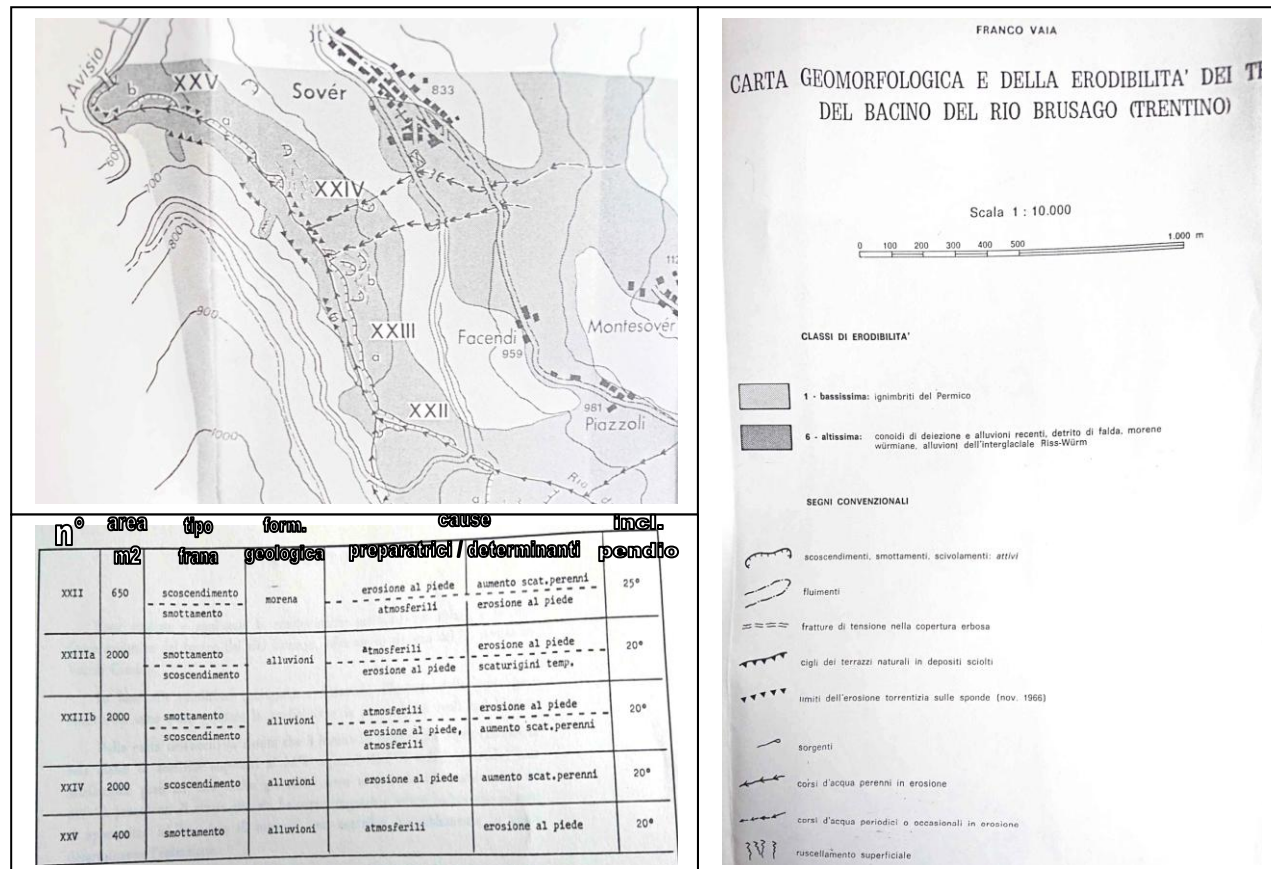
L'opera sistematoria proseguì anche tra le due guerre, con l'imbrigliamento del rio Fregasoga (si tratta della parte alta del Brusago a monte dalla confluenza con il rio Spruggio), del rio Spruggio, rio Molino e rio Val di Fossa e con la realizzazione di estesi rimboschimenti, di cui ancor oggi si vedono i risultati: il bacino risulta quasi completamente boscato (indice di copertura 0.78), con formazioni anche climax nella parte medio-alta del bacino, anche se molte delle tipologie forestali della parte medio bassa del bacino sono ascrivibili alle formazioni secondarie su ex prati e coltivi. Fortunatamente la tempesta “Vaia” dell'ottobre 2018 ha risparmiato il bacino del Brusago, a differenza della vicina valle di Pinè.

Anche nel 1951 si registrò un'alluvione concentrata soprattutto sui rivi Fregasoga, Spruggio e Cunella, nella parte alta del bacino. L'alluvione del 1966 risultò nuovamente catastrofica, nonostante l'ingente opera sistematoria: questa venne letteralmente spazzata via nel tratto medio-inferiore del rio Fregasoga, con uno sconvolgimento generale della valle ed erosioni del letto fino a 10-15 m. L'enorme quantità di materiale solido (stimato 1 milione di metri cubi) provocò numerose esondazione del letto tra Brusago e Sover, oltre a importanti fenomeni



erosivi di sponda nel materasso morenico (ne è testimonianza la scarpata di erosione poco sotto l'abitato di Brusago).

Si riportano alcuni stralci del lavoro di F. Vaia "Studio morfologico del bacino del Rio Brusago (Trentino) – 1970-71, che ben descrivono la situazione della zona di interesse dopo l'alluvione dal 1966.



Dopo il 1966 furono realizzate dall'Azienda Speciale di Sistemazione Montana (oggi Bacini montani) 80 briglie a gravità in calcestruzzo più o meno armato sul rio Fregasoga, fu completata la sistemazione dello Spruggio e realizzate altre 9 briglie sul rio Casare. Il tutto allo scopo di impedire l'approfondimento ulteriore del rio e permettere la realizzazione del viadotto sulla SP. 71.

Ad oggi la sistemazione è stata completata, con recenti lavori, anche nel tratto tra la confluenza Spruggio-Fregasoga e la grande briglia di chiusura della valle realizzata nel 1910.





Fig. 3.20-3.22 - Recente sistemazione del tratto medio del rio Brusago con opere trasversali di consolidamento in cls armato a doppia gàveta.

L'attuale stato sistematorio del bacino conta 325 opere trasversali di consolidamento, di cui 109 su rio Spruggio e affluenti, 83 su rio Fregasoga (Brusago alto) e affluenti, 49 sul corso medio e basso dell'asta del rio Brusago, 14 sul rio delle Casare, 36 sul rio del Molino "A" e affluenti.

Dalle indicazioni dei tecnici del Servizio Bacini montani appare evidente come l'imponente opera sistematoria abbia certamente mitigato la possibilità del riverificarsi di fenomeni tanto imponenti come quelli di fine '800 e '66 anche se alcune aree in dissesto diffuso del bacino (es. Val delle Casare) appaiono oggettivamente ancora attive, con fenomeni di evoluzione regressiva verso monte che non escludono il verificarsi di ulteriori franamenti ed erosioni. L'opera sistematoria, però, sembra garantire per lo meno una buona capacità di deposito nel tratto medio, scongiurando, almeno nelle intenzioni dei sistematori, l'arrivo di enormi quantità di materiale più a valle.

Sarebbe sciocco e comunque poco prudente, certamente, considerare il rio di Brusago totalmente in sicurezza. Ciò che predispone il rio di Brusago ed i suoi affluenti al dissesto, infatti, sono certamente l'assetto geologico e geomorfologico: il bacino è infatti caratterizzato dalla prevalenza di rocce porfiriche (vulcaniti) del Lagorai cui si sovrappongono potenti depositi morenici di diverse decine se non centinaia di metri di spessore, costituiti spesso da elementi argillosi. Si tratta da un lato di una litologia a bassa permeabilità (porfidi) che favorisce la formazione di deflussi superficiali anche molto importanti cui si aggiunge un'elevatissima erodibilità dei substrati (morene) che vengono facilmente mobilizzati e trasportati a valle. La presenza di numerose e vaste aree franose, ora quiescenti o pseudo-stabilizzate al piede grazie alle opere di consolidamento, rende difficile in un contesto come questo, anche alla luce dei cambiamenti climatici in atto, definire con precisione quello che può essere l'evento di riferimento.

Per far questo si seguono le linee guida provinciali per la redazione della carta di pericolosità idrogeologica, basandosi su simulazioni idrologiche "ad evento", basate sulle serie statistiche meteorologiche attualmente disponibili (LSPP PAT) e collegando agli idrogrammi di piena liquida così generati i fenomeni di trasporto solido ipotizzando le condizioni teoriche di massima capacità di trasporto: tale condizione, in una situazione come quella in esame ove il sedimento non è fattore limitante, sono certamente attendibili.

Data l'aleatorietà di alcune grandezze stimabili e simulabili, si ritiene opportuno e cautelativo eseguire anche la simulazione di uno scenario che definiremo estremo o "fuori scala", non tanto per utilizzarlo nella valutazione della compatibilità dell'intervento (in questo caso nulla sarebbe compatibile!), ma per



avere indicazioni su quali potrebbero risultare le problematiche per l'infrastruttura in caso di evento di questa magnitudo.

In questo caso si entra nel campo della cosiddetta "pericolosità residua", da gestire non tanto con interventi puntuali e strutturali, quanto con azioni di riduzione della vulnerabilità collegate alla gestione delle emergenze (piani di evacuazione e chiusura temporanea dell'infrastruttura).

Massimi effetti prevedibili: stima dell'evento di riferimento

La stima dell'evento idrologico di riferimento è stata eseguita, per il bacino del rio Brusago, mediante l'applicazione del codice di calcolo distribuito su base GIS HYDROGRID, implementato entro il Tool idrologico AdBToolbox 1.8. Per i sottobacini laterali, invece, vista la ridotta dimensione, si è preferito applicare un codice di calcolo concentrato con una stima dello ietogramma netto di pioggia eseguita con il metodo di Horton e la stima dell'idrogramma unitario IUH mediante il metodo del serbatoio lineare mediante la stima della costante di invaso k basata sul tempo di corrivazione del bacino.

1 - Idrogramma e sedimentogramma di progetto per il rio Brusago

Per la stima della precipitazione critica per il bacino sono state utilizzate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (Fig. 3.23) 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.

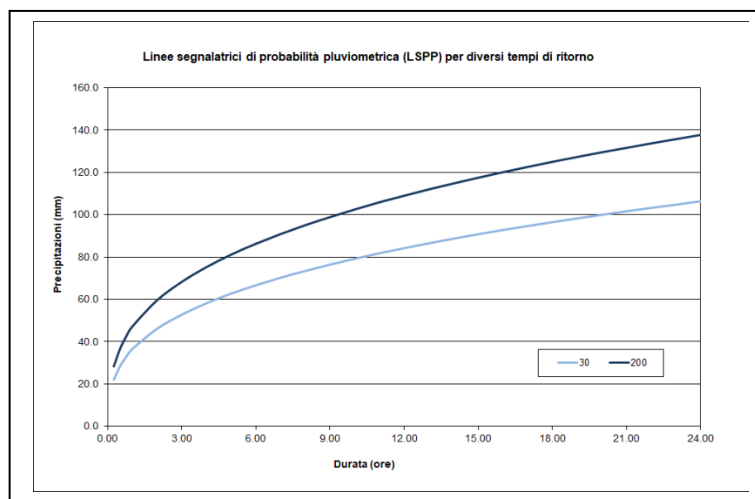


Fig. 3.23 – Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per il bacino in esame (baricentro).

Viste le caratteristiche morfometriche, idrologiche ed idrogeologiche del bacino in precedenza descritte, la superficie drenante del bacino abbastanza elevata, associata alla sua morfologia piuttosto ampia ed allungata dovrebbero fornire risposte alla precipitazione probabilmente non rapidissime.

Si ritiene che i fenomeni più gravosi siano riconducibili alle piogge di durata media (3-6 ore), caratterizzate al loro interno da picchi con intensità elevate anche superiori alla media, comunque mai isolati ma inseriti in un contesto idrologico ad elevata umidità antecedente, con condizioni dei versanti e dei terreni di copertura di parziale saturazione. Condizioni tipiche delle piogge intense del periodo autunnale. Non a caso gli eventi alluvionali più intensi si sono registrati proprio nei mesi di ottobre e novembre.

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 (54.7%) ottenuta mediante l'applicazione dell'equazione:

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

- 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 s^{-1} (tale valore è ritenuto sufficientemente elevato per simulare la risposta sottosuperficiale del bacini con copertura prevalentemente morenica;

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

Il valore del Curve Number (CN), che regola la capacità di ciascuna combinazione suolo-soprassuolo di produrre deflusso superficiale, è stato ottenuto in maniera distribuita incrociando le carte dell'uso del suolo con quella dei gruppi idrologici, ottenendo un raster del CN classificato secondo una tabella tarata appositamente per la Provincia di Trento (AIDI, 2010). Il valore medio del CN ottenuto per l'intero bacino è pari a 43 (AMC II).

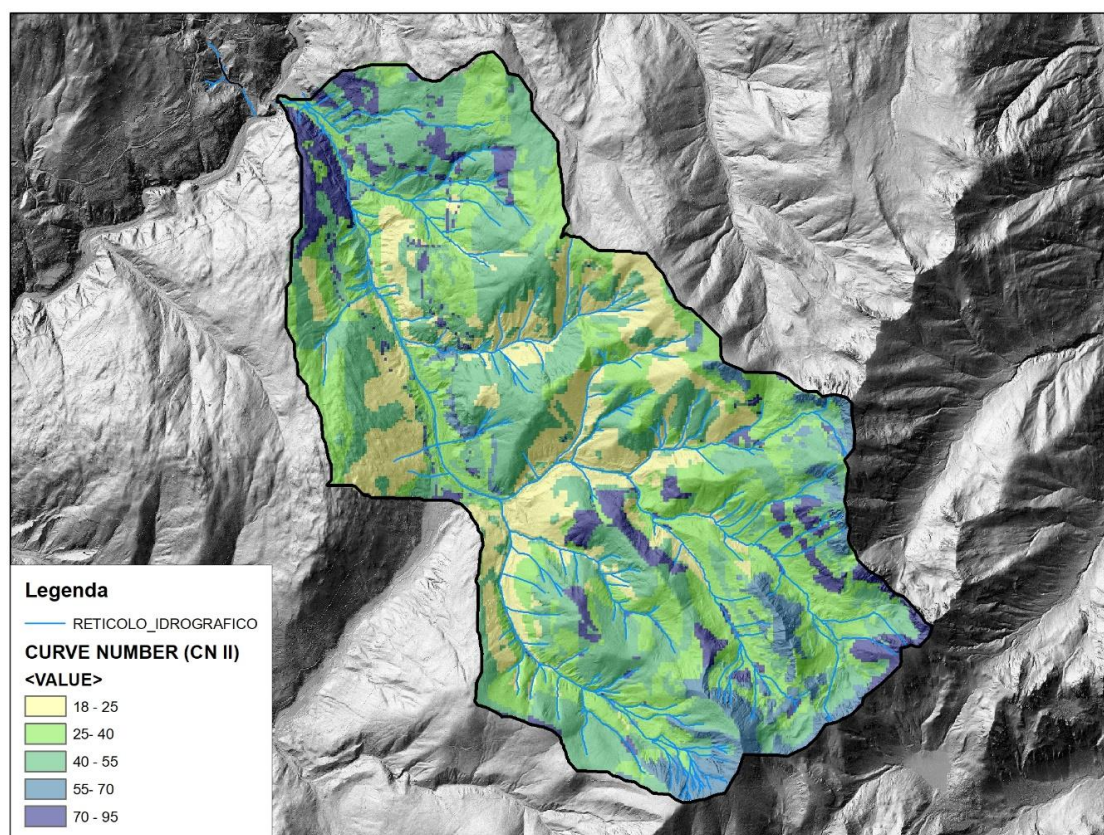


Fig. 3.24 – Mappa del Curve Number (CN) per il bacino del rio Brusago

Si tratta di un valore non elevatissimo ma assolutamente non trascurabile per un bacino di queste dimensioni, dovuto prevalentemente al fatto che il bacino risulta per buona parte (78%) coperto di vegetazione anche se i substrati di circa il 57% del bacino risultano poco o per nulla drenanti (Gruppi idrologici C e D).

Nel complesso quindi ci si possono attendere valori di portata sicuramente di rilievo anche se non estremi. Si ricorda inoltre che si tratta di un valore di CN stimato per condizioni di umidità del suolo normali (AMC2), che in fase di simulazione subisce un innalzamento dovuto all'utilizzo di condizioni di AMC più critiche pari a 3.

Lo scenario temporale di riferimento è caratterizzato da uno scroscio di durata pari al 95% del tempo di corrivazione massimo stimato per via morfologica che per il bacino in esame risultano pari a 3.76 ore per il TR 30 e 2.72 ore per il TR 200. Trattasi ovviamente di singoli eventi di pioggia che devono essere simulati in condizioni di umidità elevata (AMC 3) per avvicinarsi a quelle che sono le condizioni di elevata saturazione normalmente critiche per il bacino.

Il risultato dell'applicazione al bacino del rio Brusago ha fornito i seguenti risultati:

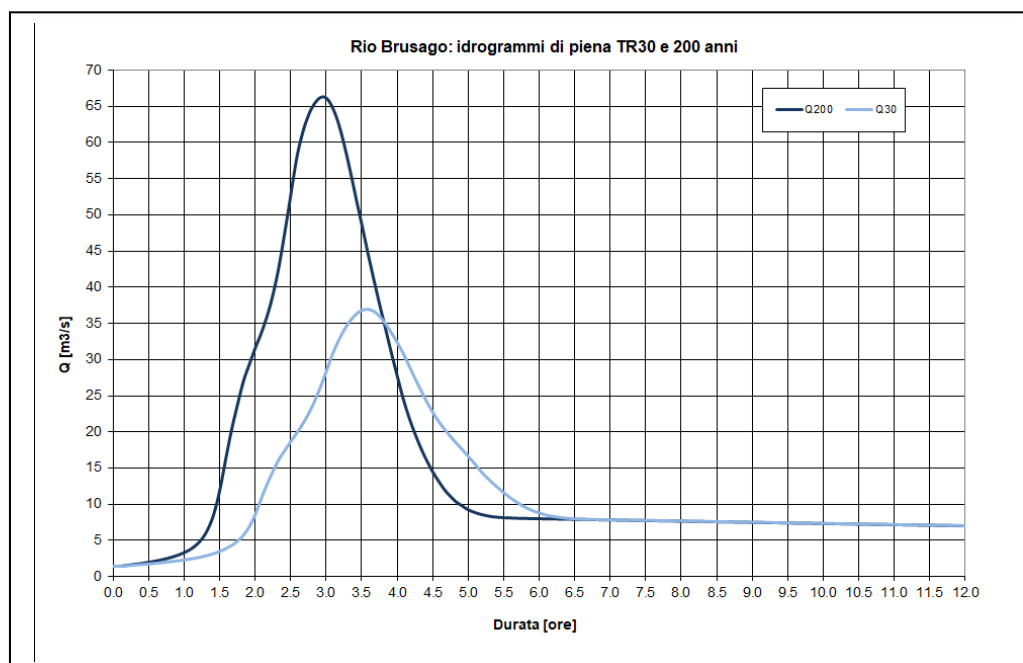


Fig. 3.25 – Idrogrammi di piena TR30 e 200 anni stimati per il bacino del rio Brusago.

Trattasi ovviamente di durate abbastanza ridotte se confrontate con le durate complessive degli eventi che hanno generato problemi gravi sul Brusago (es. evento 1966: 123 mm in 48 ore di cui non si conosce però la distribuzione temporale).

È corretto, però, considerarle come se fossero inserite in una condizione di elevata umidità antecedente del suolo (AMC 3), che è direttamente collegata ad un periodo di piogge più prolungato. Quindi, considerare il solo scroscio critico, con valori di intensità molto elevati, in una condizione di elevata saturazione è praticamente lo stesso di considerare una pioggia di maggiore durata ma con intensità minore, inserita in un contesto di umidità normale.

Per la stima della portata solida di progetto collegata ai due idrogrammi nel caso di evento di trasporto solido al fondo, si fa ricorso alla stima della portata critica di innesco del trasporto (Q_c) che, in mancanza di altri dati, è stimabile mediante l'approccio di moto incipiente del materiale secondo Shileds modificato. Nel caso in esame questa viene simulata pari a $4.2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Tutta la parte di



idrogramma che si torva al di sopra di tale valore dà luogo a trasporto solido al fondo, la cui entità è valutabile mediante l'approccio di Lefort (1994)

$$Q_{s_t} = 4.45 \bar{Q} \left(\frac{D_{90}}{D_{30}} \right)^{0.2} \left(\frac{Ra}{Rs - Ra} \right) Pend^{1.5} \left[1 - \left(\frac{Q_c}{Q} \right)^{0.375} \right]$$

ove Q è la portata liquida e Q rappresenta il suo valore medio fra il tempo t e il tempo $t + \Delta t$.

Nel caso in esame, non disponendo di una curva granulometrica completa dell'alveo del rio Brusago, i diametri caratteristici sono stati stimati mediante un approccio prettamente morfometrico, con il quale si giunge ad una stima dei seguenti valori dei diametri caratteristici: $d_{30} - d_{50} - d_{90} = 0.10 - 0.18 - 0.70$ m

Per il rio di Brusago l'applicazione dell'equazione di Lefort, che considera condizioni di massima capacità di trasporto per una determinata pendenza (nel caso in esame 10%, media del tratto terminale attraverso il conoide e fino alla confluenza con il rio Spruggio), porta ad una stima della portata solida al picco pari a 10.1 e 19.3 m^3s^{-1} , con una volumetria cumulata trasportabile dall'onda liquida rispettivamente pari a 32.000 e 61.500 m^3 per TR 30 e 200 anni, con concentrazioni volumetriche al picco variabili tra 10.0 e 12.5%, tipiche dei fenomeni di piena di detrito (debris flood), ove il comportamento della corrente è ancora ascrivibile a quello di un flusso newtoniano.

Come vediamo si tratta di volumi che, seppur non trascurabili, nulla hanno a che fare con i volumi solidi coinvolti negli eventi storici di fine '800 e del 1966 (milioni di mc).

Sembra quindi quanto mai opportuno definire un ulteriore scenario più estremo che coinvolga quantitativi di materiale solido maggiori. Per far questo, data la portata liquida sopra stimata, ed utilizzando come valore di pendenza quello medio dell'intera asta (16.8-17%) si giunge ad una stima della portata solida al picco pari a 11.2 e 19.4 m^3s^{-1} , con una volumetria cumulata trasportabile dall'onda liquida rispettivamente pari a 81.000 e 123.000 m^3 per TR 30 e 200 anni, con concentrazioni volumetriche al picco variabili tra 16.3 e 18.8%, tipiche dei fenomeni di piena di detrito (debris flood) tendente all'iperconcentrato.

Si tratta di volumi di tutto rispetto, ma sempre di un ordine di grandezza inferiore rispetto agli eventi storici che a questo punto non possono oggettivamente essere presi come eventi di riferimento per la pericolosità ordinaria, visto anche lo stato sistematorio del bacino che fornisce un certo grado di sicurezza seppur non assoluta, ma come eventi fuori scala da utilizzarsi solo per analisi di pericolosità residua. Per cautela, questi ultimi scenari rappresenteranno quelli in input alle simulazioni propagatorie.

2- Idrogramma e debrisgramma di progetto per i rivi laterali sul versante di Sover

Come già accennato in precedenza, sui 4 collettori laterali che scendono da Sover verso la piana del Brusago sono attesi, in caso di evento critico, possibili fenomeni di trasporto solido massivo anche in forma di colate di detrito, anche se su almeno tre di questi, caratterizzati da bacini di ridottissime dimensioni, i volumi massimi attesi sono abbastanza contenuti. Ne sono testimonianza i piccoli conoidi detritico alluvionali da essi edificati. Solo sul rio Val de la Rial le dimensioni del bacino di alimentazione sembrano poter fornire portate liquide e solide di magnitudo maggiore.

Per la stima della portata liquida, trattandosi di bacini dalle ridottissime dimensioni (quasi bacini urbani), si è preferito utilizzare una procedura basata su un codice di calcolo concentrato con una stima dello ietogramma netto di pioggia eseguita con il metodo di Horton e la stima dell'idrogramma unitario IUH mediante il metodo del serbatoio lineare mediante la stima della costante di invaso k basata sul tempo di corrivazione del bacino.

Partendo dalla linea segnalatrice di pioggia per TR 200 anni, con la forma



$$h = 47.2 t^{0.366}$$

si è definita la precipitazione critica per ognuno dei 4 sottobacini, con durata pari al tempo di corrivazione degli stessi stimato mediante l'approccio di Ferro (2003). Per i 4 sottobacini si sono ottenuti i seguenti tempi di corrivazione:

FOSSO DEI BROILI I:	0.21 ore
FOSSO DEI BROILI II:	0.16 ore
FOSSO DEL FODE (O FOSSO COLERI II):	0.20 ore
RIO VAL DE LA RIAL (EX FOSSO COLERI):	0.72 ore

Dallo ietogramma di partenza, costruito secondo la distribuzione temporale "Chicago" (keifer & Chu, 1957) si è quindi stimato lo ietogramma efficace mediante l'applicazione del modello di Horton, basato sull'equazione empirica fornita da Horton (1940) per la valutazione dell'infiltrazione e di una relazione di tipo esponenziale per la parte di precipitazione che va ad invasarsi nelle depressioni superficiali per i cui dettagli analitici si rimanda alla bibliografia.

Le curve di infiltrazione, stimate per suoli a diverse caratteristiche di permeabilità seguono la classica suddivisione del SCS in gruppi idrologici A,B,C,D. Nel caso in esame si è ritenuto sufficientemente cautelativo utilizzare la curva di infiltrazione tipica dei suoli del gruppo C, con potenzialità di deflusso moderatamente alta, caratteristica di suoli abbastanza sottili con buone quantità di argilla e colloidali con scarsa capacità di infiltrazione a saturazione ($f_0 = 125 \text{ mm/h} - f_c = 6.3 \text{ mm/h}$).

Per ciò che riguarda le perdite che avvengono per effetto di immagazzinamento nelle depressioni superficiali del terreno si sono considerati i valori proposti da Pecher (1969, 1970) che per le aree coperte da densa vegetazione, come la stragrande maggioranza della superficie dei quattro sottobacini, propone perdite variabili tra 2.5-4.0 mm. Considerando che in alcuni bacini vi è anche una parte di superficie coperta da zona urbane, ove tali perdite risultano inferiori (0.2-2.0), si è scelto per cautela di utilizzare un valore medio di perdite pari a 2.5 mm.

Ottenuto lo ietogramma efficace come sopra si è passati alla definizione della risposta del bacino con un approccio di tipo sintetico, ipotizzando che il bacino stesso si comporti come un serbatoio (o una cascata di serbatoi), stimando il cosiddetto idrogramma unitario sintetico (IUH), ossia l'idrogramma uscente dal bacino a seguito di una pioggia di durata infinitesima e volume unitario (precipitazione impulsiva).

Per la definizione dell'IUH si è utilizzato il metodo dell'invaso lineare, nel quale l'andamento quantitativo dell'IUH risulta definito dalla sola costante k , da valutarsi in questo caso sulla base delle caratteristiche del bacino ed in particolare il suo tempo di corrivazione come sopra stimato. Stimato l'IUH, è quindi possibile eseguire la convoluzione sull'intera superficie del bacino.

I risultati dell'applicazione per i 4 sottobacini indagati ha fornito i seguenti risultati, che ovviamente rappresentano uno degli innumerevoli scenari idrologici che si possono attendere.

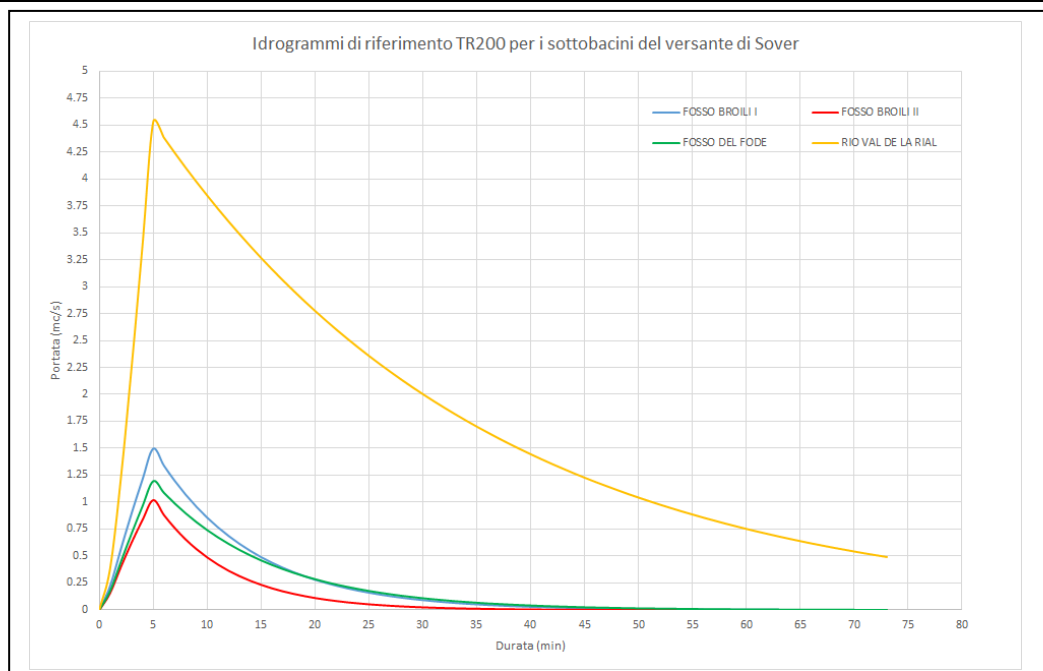


Fig. 3.26 – Idrogrammi di riferimento per i sottobacini del versante di Sover

Disponendo degli idrogrammi di acqua chiara si è quindi passati alla stima dei cosiddetti debrisgrammi da colata che gli idrogrammi stessi sono in grado di generare.

In ogni bacino, soprattutto se di ridotta estensione come quelli 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 medio pari a 0.7.

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

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

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 $19-20^\circ$. Interessanti alternative all'approccio di Takahashi sono le equazioni sperimentali proposte da Tognacca (1999), Ou & Mizuyama (1994) e Marchi & D'Agostino (2004), basate sia



su esperienze di laboratorio in canaletta che dalla rielaborazione di dati volumetrici di debris flow realmente registrati. Queste, partendo sempre dagli stessi dati di input dell'equazione di Takahashi, ed essendo relative non al solo fronte dell'onda di colata ma a valutazioni globali (fronte e coda della colata).

Nel caso in esame, l'applicazione congiunta di tutti questi approcci nei tratti di innesco scelti sulla base della pendenza, presenza di zone già in erosione e presenza di punti di potenziale innesco, secondo la procedura CNR in precedenza descritta fornisce i seguenti valori medi della C_{eq} per i singoli collettori:

SB1 - FOSSO DEI BROILI I:	0.333 m ³ s ⁻¹
SB2 - FOSSO DEI BROILI II:	0.529 m ³ s ⁻¹
SB3 - RIO VAL DE LA RIAL (EX FOSSO COLERI):	0.434 m ³ s ⁻¹
SB4 - FOSSO DEL FODE (O FOSSO COLERI II):	0.436 m ³ s ⁻¹

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'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 è stimato per tutti e 4 i sottobacini pari a 0.08 m stimato a partire dalle evidenze di campo e da rilievi granulometrici superficiali eseguiti in bacini dalle caratteristiche geolitologiche, morfologiche, tettoniche e sedimentologiche del tutto analoghe
- una pendenza del tratto d'alveo in cui avviene il potenziale innesco variabile tra 41.7 e 72.5%
- una larghezza media dell'alveo nella zona d'innesco pari a 2.5 m per i sottobacini 1,2 e 4 e di 5.0 m per il rio Val de la Rial, si giunge ad una portata critica d'innesco per i fenomeni di debris flow in canale Q_{cr} rispettivamente pari a

SB1 - FOSSO DEI BROILI I:	0.332 m ³ s ⁻¹
SB2 - FOSSO DEI BROILI II:	0.480 m ³ s ⁻¹
SB3 - RIO VAL DE LA RIAL (EX FOSSO COLERI):	1.441 m ³ s ⁻¹
SB4 - FOSSO DEL FODE (O FOSSO COLERI II):	0.635 m ³ s ⁻¹

Tutti questi valori risultano inferiori alla massima portata liquida generabile dai singoli sottobacini che quindi sono suscettibili a generare colate per eventi pluviometrici di magnitudo simile a quella simulata.

Noto che l'arrivo di una colata detritica torrentizia viene spesso preceduto da un flusso già concentrato, si è scelto di determinare il primo valore della portata del debris flow Q_d per un valore di $C_{eq} = 0.2$ aumentando quindi linearmente tale concentrazione fino alla Cv_{max} , facendo terminare l'onda con una concentrazione ancora vicina a quella dei fenomeni di trasporto solido al fondo (0.10).

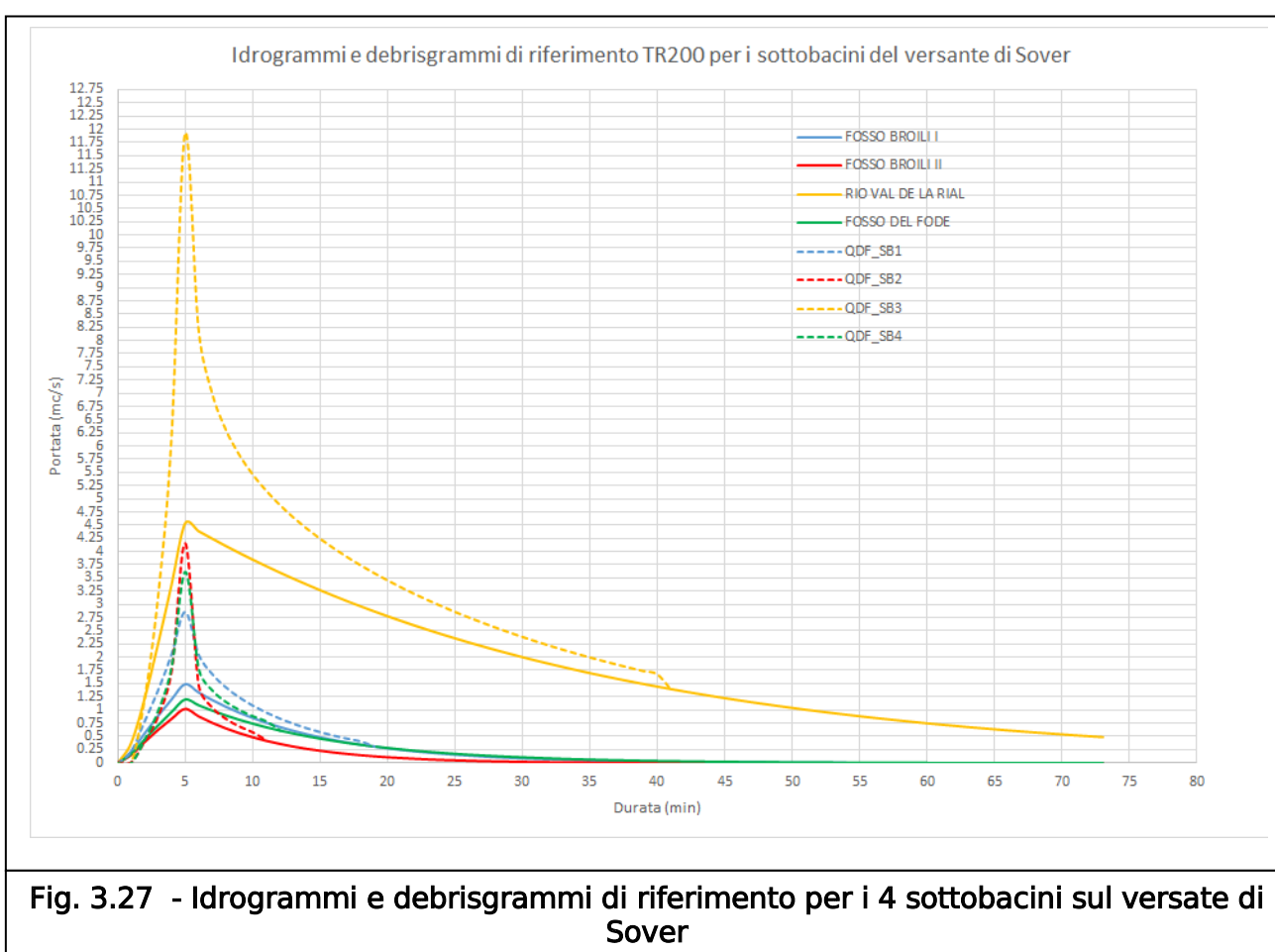
Considerando, quindi, il tempo di crescita del debris flow, come l'intervallo che separa, sull'idrogramma liquido, gli istanti in cui si verificano le portate $Q_l = Q_{cr}$



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 a potenza. 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.

I risultati dell'applicazione, per i quattro sottobacini del versante di Sover sono di seguito riportati (Fig. 3.27).



La simulazione evidenzia potenziali fenomeni di debris flow con portate al picco (solido+liquido) e volumi potenzialmente mobilizzabili come segue:

SB1 - FOSSO DEI BROILI I:	$2.85 \text{ m}^3\text{s}^{-1} - 350 \text{ m}^3$
SB2 - FOSSO DEI BROILI II:	$4.16 \text{ m}^3\text{s}^{-1} - 331 \text{ m}^3$
SB3 - RIO VAL DE LA RIAL (EX FOSSO COLERI):	$11.9 \text{ m}^3\text{s}^{-1} - 2485 \text{ m}^3$
SB4 - FOSSO DEL FODE (O FOSSO COLERI II):	$3.61 \text{ m}^3\text{s}^{-1} - 320 \text{ m}^3$

E' certo, ovviamente, che gli scenari simulati qui proposti rappresentano solamente alcuni degli innumerevoli scenari d'evento che bacini di questo tipo possono generare. Le piene di detrito e ancor di più le colate detritiche, infatti, possono generarsi e svilupparsi anche con altri meccanismi (es. distacco di frane, collassi di versante, ostruzioni temporanee dell'alveo, ecc.), spesso di difficile valutazione a seconda della diversa combinazione dei due principali fattori limitanti,

ossia la precipitazione e la disponibilità di materiale mobilizzabile, oltre che l'innesco di movimenti di versante al momento non prevedibili. Tutti gli scenari di magnitudo maggiore e assolutamente non prevedibili rientrano in quella che è la valutazione della cosiddetta "pericolosità residua".

La simulazione propagatoria bidimensionale con il codice FLO-2D®

La propagazione delle onde solido liquide di trasporto solido concentrati e di colata detritica, così come stimate al capitolo precedente, attraverso il canale ed il conoide è stata eseguita mediante l'applicazione del codice bidimensionale commerciale FLO-2D (FLO-2D Software Inc., 1993; 2004), attualmente uno degli standard previsti dalle linee guida per la redazione della carta di pericolosità da fenomeni torrentizi del Servizio Bacini montani della Provincia di Trento.

Si tratta di un codice di calcolo appositamente studiato per la propagazione di onde soli-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 degli usi del suolo presenti e delle caratteristiche granulometriche ed idrauliche del campo di moto. Per quel che riguarda le basi teoriche del codice numerico, si rimanda alla bibliografia tecnica ed al manuale di utilizzo.

L'applicazione del codice FLO-2D al rio Brusago e ai canali di Sover in studio è stata eseguita per la simulazione rispettivamente dei fenomeni di piena detritica e colata detritica, preparando la topografia del campo di moto, partendo dal DTM raster LIDAR 1x1 m della PAT ed eseguendone l'interpolazione ad un raster ASCII con celle 4x4 m per il rio Brusago e 2x2 m per i collettori laterali.

Preparato il campo di moto si è proceduto all'identificazione, all'interno di questo, delle celle totalmente impedito al flusso (edifici) attraverso l'uso della funzione ARF (Area reduction Factor), impostando per queste celle un valore di ARF pari a 1 (cella completamente ostruita).

Il passo successivo è stato l'assegnazione alle diverse classi di uso del suolo presenti all'interno del campo di moto degli opportuni valori di scabrezza, secondo i valori riportati in figura sotto riportata.

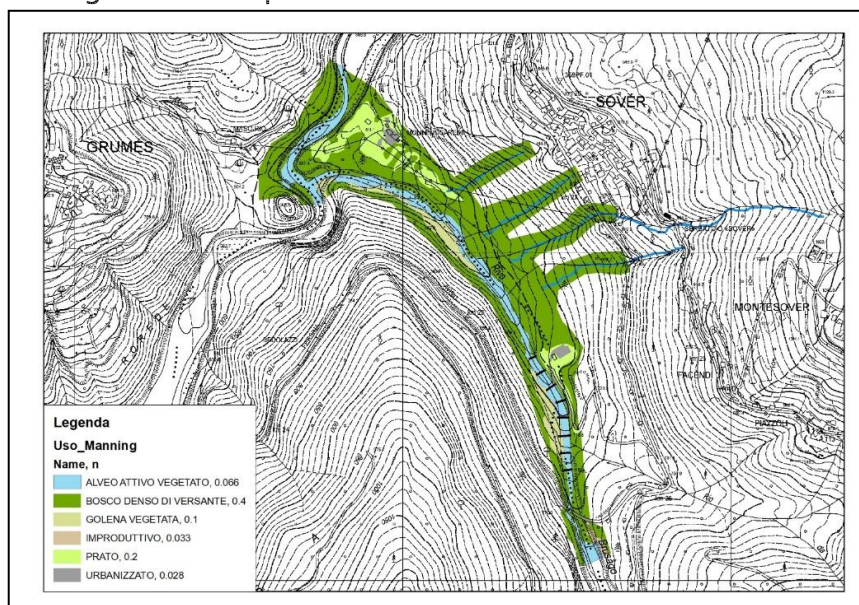


Fig. 3.28 – Usi del suolo e coefficienti di resistenza al flusso

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, soprattutto in termini di velocità di propagazione. Nei canali alluvionali, l'intervallo comune di numeri di Froude a piene rive è da 0.4 a 0.6. Flussi di scorrimento superficiale su ripidi conoidi possono avvicinarsi ai valori della corrente critica ($Fr = 1$) o appena superiore.

In generale, i flussi supercritici su conoidi alluvionali vengono soppressi dal grande volume di sedimento trasportato, come atteso in questo caso. 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 o altre superfici dure.

Nel caso in esame, viste le caratteristiche di copertura del floodplain, la pendenza non eccessiva e l'assenza di tratti con roccia affiorante o pavimentati ove la corrente può potenzialmente assumere elevate velocità, si è deciso di utilizzare il Numero di Froude impostandolo cautelativamente ad un valore pari a 0.5.

Il volume immagazzinato dalle depressioni superficiali del terreno o la sua altezza viene assegnato dalla variabile Surface Detention (TOL) nel file TOLER.DAT. Nel caso in esame per i sottobacini si è scelto di utilizzare il valore di 0.2 m derivante da un recente lavoro di taratura delle variabili reologiche eseguita dall'Università di Padova (D'Agostino V. & Cesca M., 2009) su materiali di diversi gruppi litologici presenti in Provincia di Trento.

Per la propagazione del rio Brusago, invece, si è utilizzato un valore di 0.05 m. 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 che segue per ciò che riguarda i parametri α e β per il calcolo dello sforzo tangenziale che per i parametri α e β relativi al calcolo della viscosità:

α_1	β_1	α_2	β_2
0.152	18.7	0.0013	28.4

ed un valore del parametro di resistenza $K = 250$, come da taratura

I sedimentogrammi e debrisgrammi in input alla simulazione sono quelli stimati mediante l'analisi idrologica e sedimentologica presentata precedentemente.

Per le colate, partendo dal debrisgramma simulato, quindi 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 $BF = 1/(1 - C_v)$.

E' evidente, ad esempio, che BF è uguale a 2 per concentrazioni di sedimento del 50% in volume.

I risultati dell'applicazione eseguita con FLO-2D, per i due scenari con TR 30 e TR200 anni del rio Brusago e TR200 per i collettori laterali sono di seguito riportati:

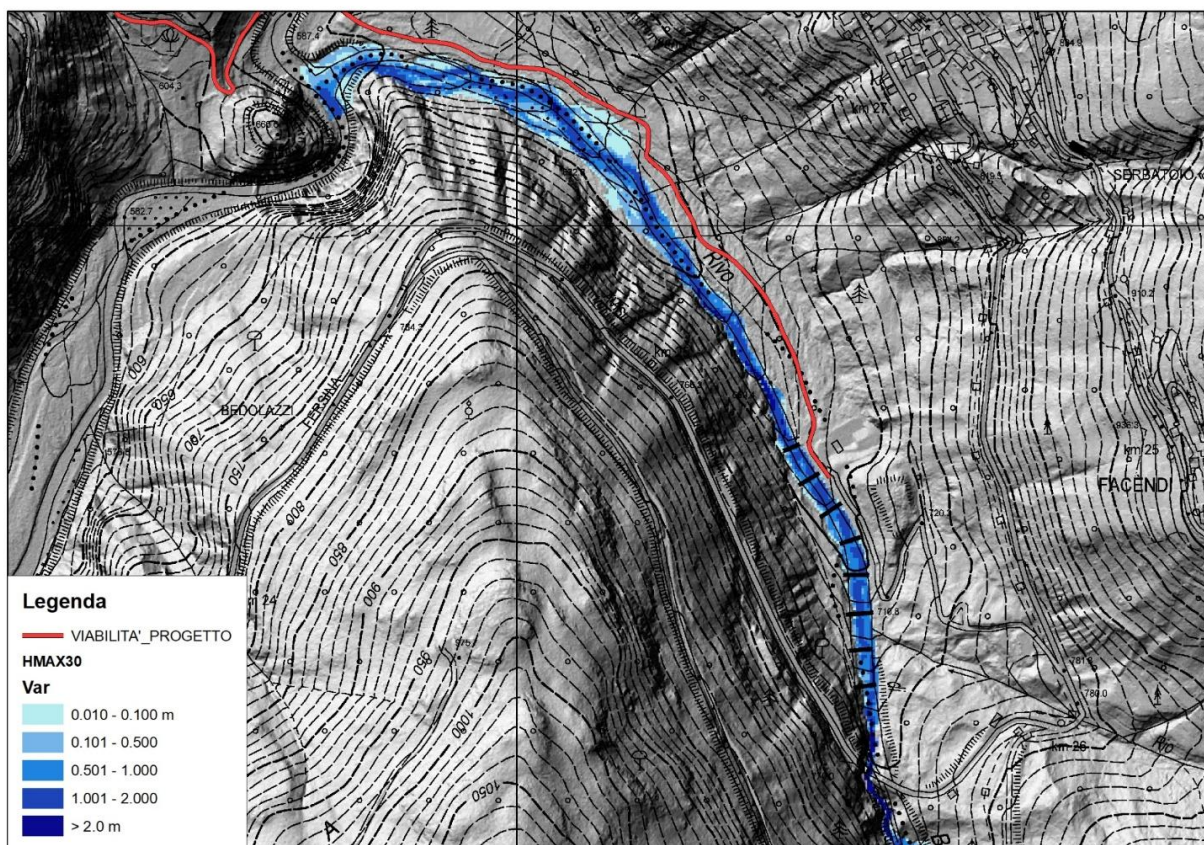


Fig. 3.29 – Massimo tirante simulato TR30 anni

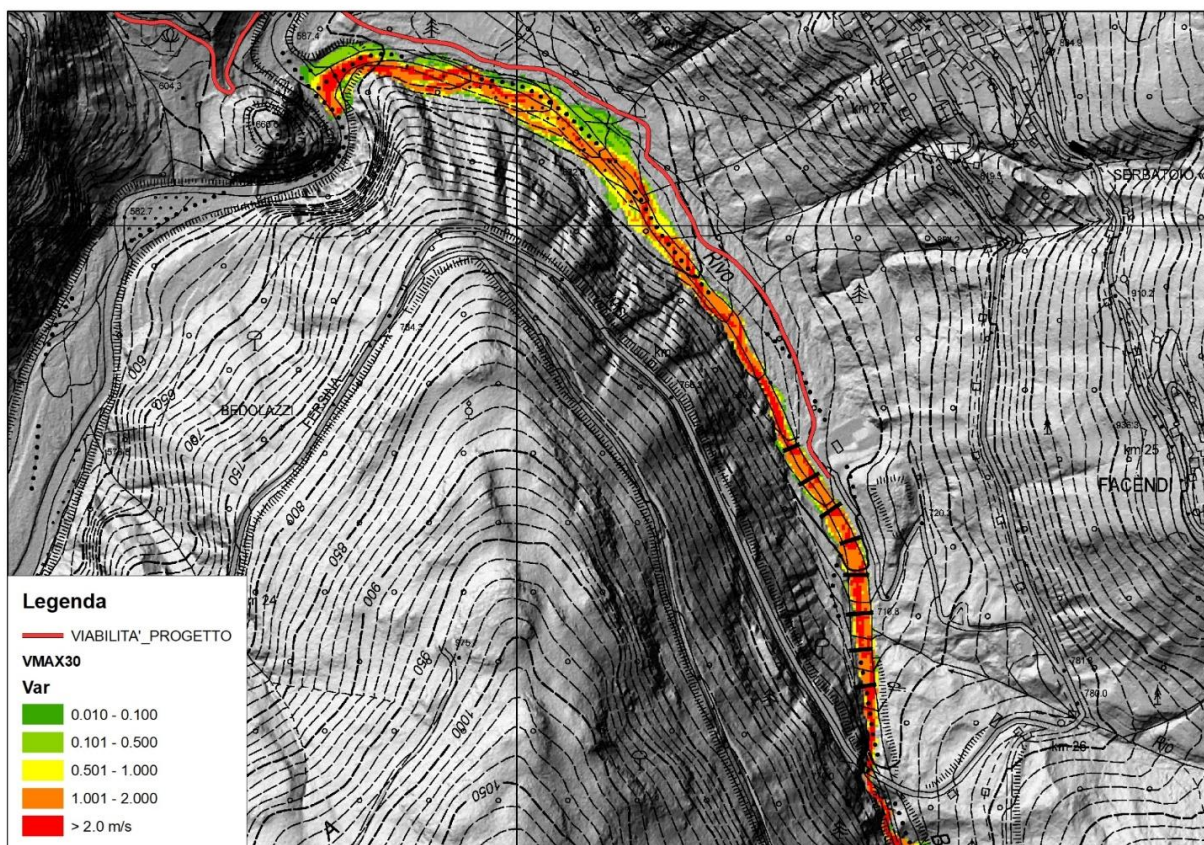


Fig. 3.30 – Massima velocità simulata TR30 anni

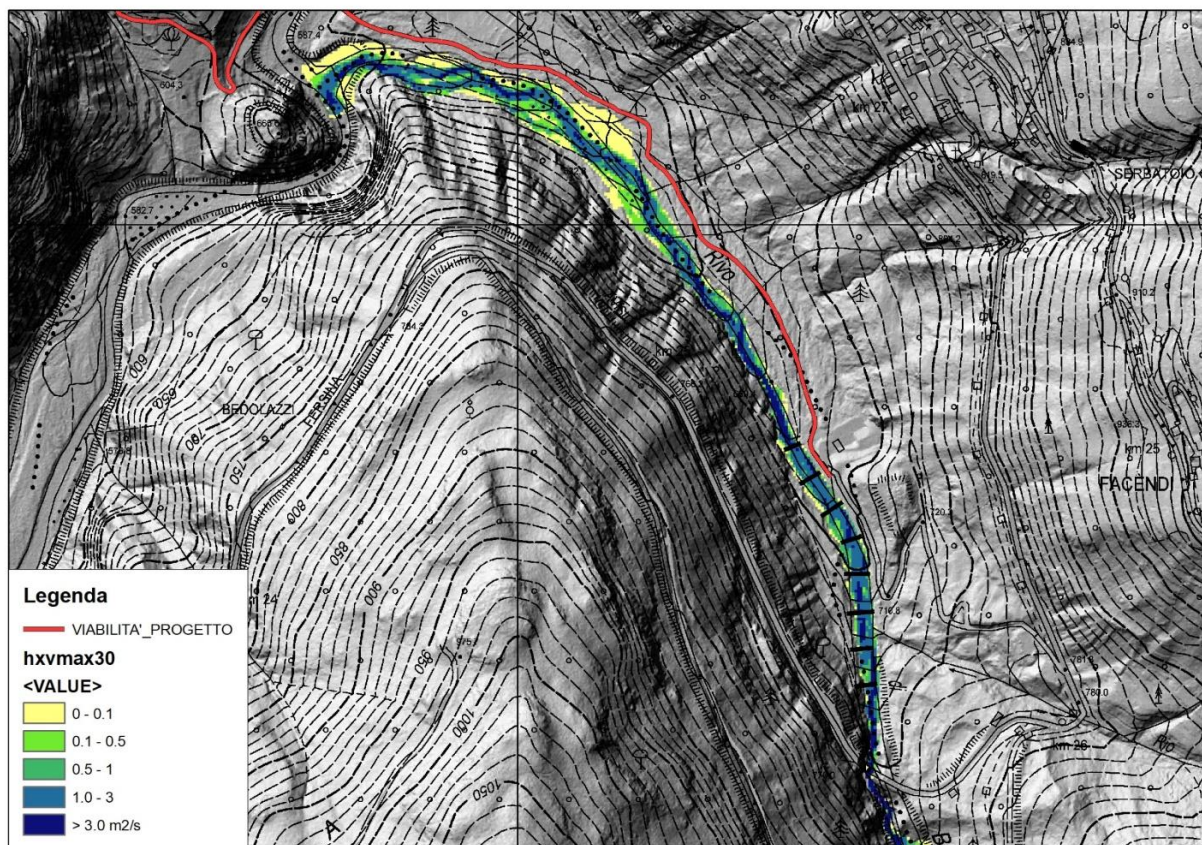


Fig. 3.31 – Massima forza di trascinamento (H x V) simulata TR30 anni

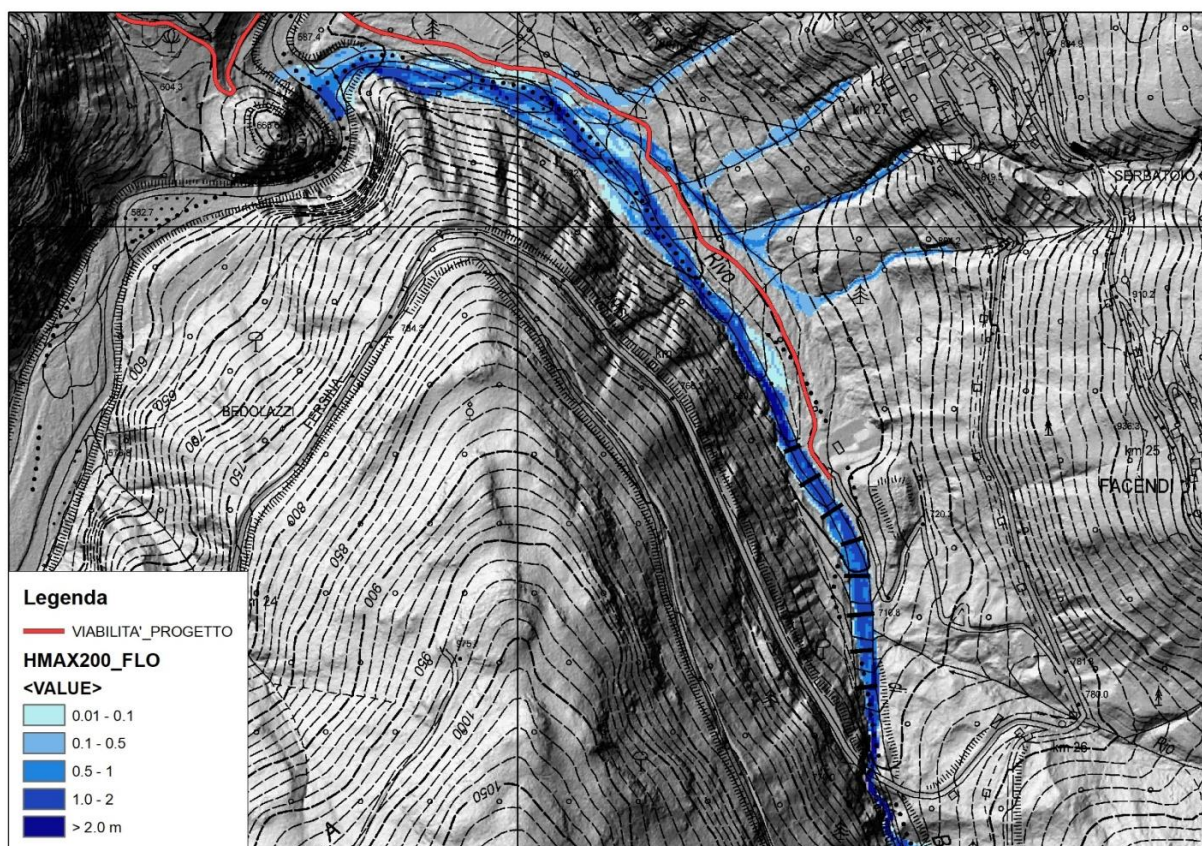


Fig. 3.32 – Massimo tirante simulato TR200 anni

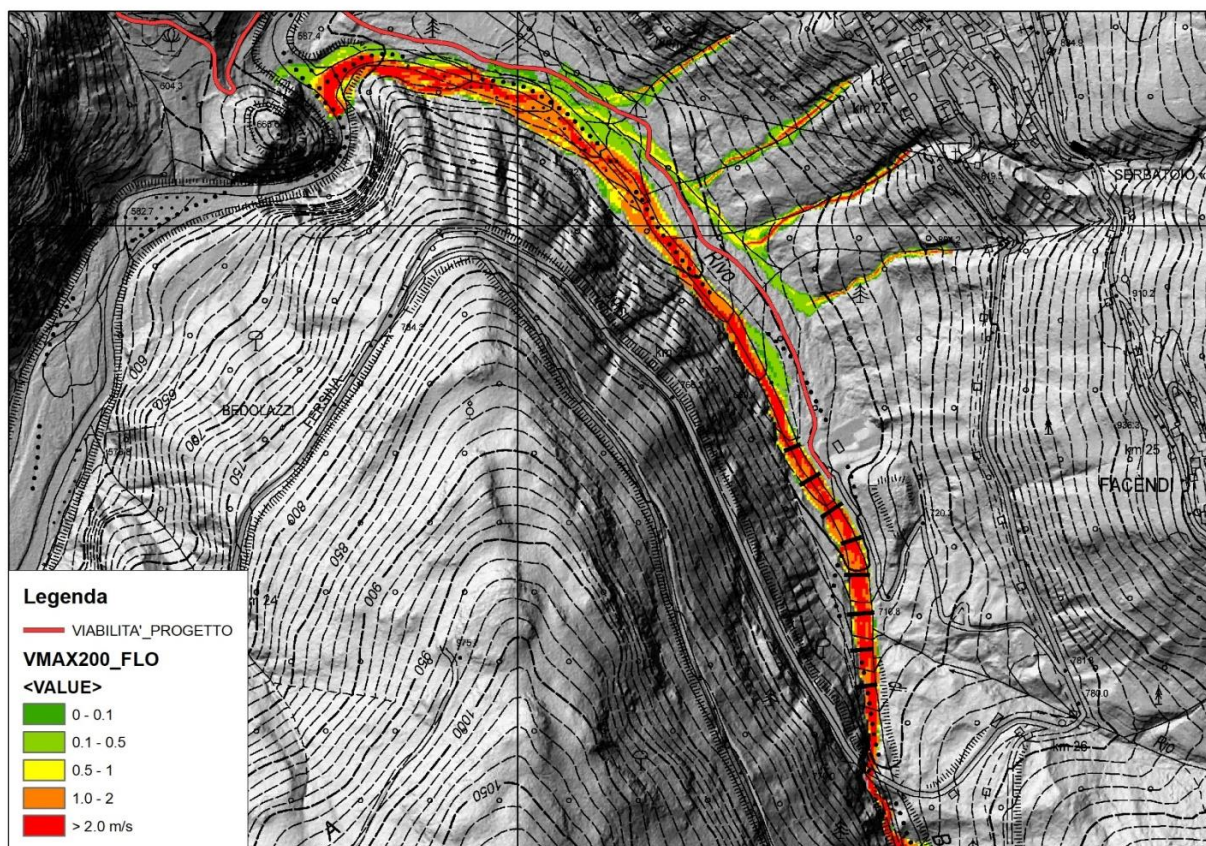


Fig. 3.33 – Massima velocità simulata TR200 anni

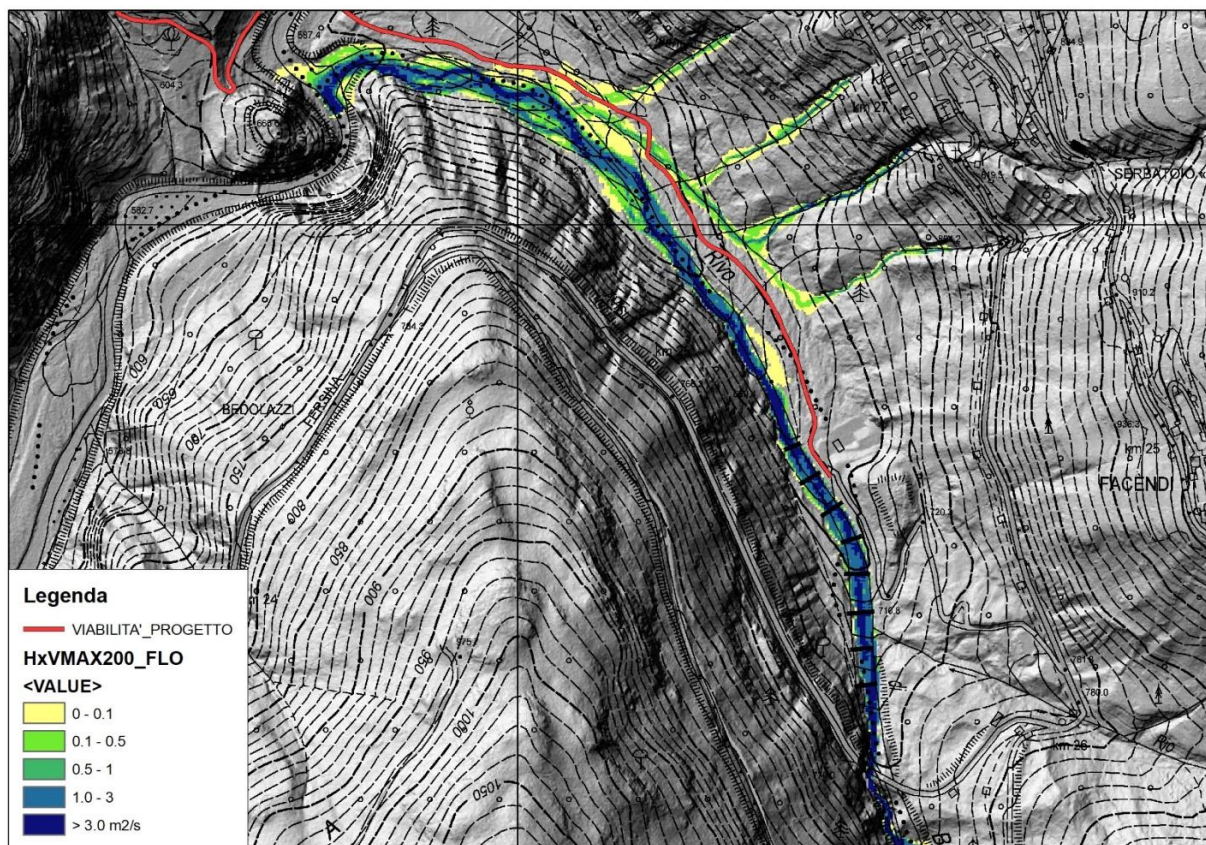


Fig. 3.34 – Massima forza di trascinamento (H x V) simulata TR200 anni



I risultati delle simulazioni propagatorie mettono in evidenza come l'attuale proposta di tracciato non sia del tutto esente da situazioni di oggettiva pericolosità idraulica.

In particolare la parte media-bassa del tracciato appare quella più facilmente interessabile dai fenomeni di esondazione sia del rio Brusago ma anche parzialmente dai fenomeni di trasporto massivo in arrivo dal versante di Sover. Seppur non interessata direttamente dai fenomeni simulati se non per un tratto centrale poco a monte della loc. Molini, il tracciato appare "sospeso" in una fascia leggermente sopraelevata tra la zona di potenziale esondazione del Brusago e la fascia interessabile dai fenomeni di trasporto massivo provenienti dal versante, seppur questi appaiano, anche dai sopralluoghi effettuati, più facilmente controllabili da una morfologia che tende a mantenerli addossati al versante. La simulazione, inoltre, evidenzia una condizione al limite all'esondazione anche nel tratto appena a monte del depuratore ove la simulazione non evidenzia fuoriuscite ma ove queste, in caso di eventi di magnitudo maggiore a quelli simulati, potrebbero interessare la strada in sponda destra indirizzandosi quindi verso la viabilità in progetto.

Per avere una conferma di quanto sopra, si è eseguita per confronto e controllo anche un'ulteriore simulazione propagatoria per l'evento con TR 200 anni con il codice bidimensionale a fondo mobile TRENT-2Dts, attualmente uno degli standard previsti dalle linee guida per la redazione della carta di pericolosità da fenomeni torrentizi del Servizio Bacini montani della Provincia di Trento.

Il modello matematico che sta alla base del codice TRENT2Dts, specificamente realizzato per la simulazione dei fenomeni di trasporto solido non di massa, si basa sulle ipotesi che il comportamento della corrente solido-liquida sia quello di una miscela bifasica di sedimenti e acqua in cui non vi sia sfasamento di velocità tra la fase liquida e quella solida né in termini direzionali né in termini di modulo del vettore velocità media sulla verticale. Una caratteristica fondamentale di questo modello è il fatto di considerare in maniera del tutto accoppiata la dinamica della miscela con quella dell'evoluzione morfologica del letto (per approfondimenti, si rimanda a Armanini et al. (2008); Rosatti e Fraccarollo (2006); Rosatti et al. (2008)).

Allo stato attuale, nonostante il pregio dato dalla robustezza del codice numerico utilizzato, il modello presenta ancora alcune limitazioni di cui bisogna certamente tener conto in fase di impostazione delle simulazioni e di valutazione dei risultati. In particolare, tali limitazioni sono date da:

- incapacità del codice di simulare zone completamente inerodibili su elevate pendenze (es. opere trasversali, strade, piazzali); in corrispondenza di queste il codice tende, ove la pendenza e le velocità superino una certa soglia, a scavare alterando i volumi complessivamente erosi e mobilizzati;
- impossibilità di settare diversi fattori di resistenza al flusso per i diversi usi del suolo presenti nel campo di moto (bosco, prato, asfalto, ecc.);
- impossibilità (o estrema difficoltà) di modellare il comportamento di opere d'arte quali briglie filtranti, ponti, sfioratori, tomi deviatori, opere spondali, se non con artifici topografici di difficile giustificazione fisica.

La formula di trasporto utilizzata per la stima della capacità di trasporto della corrente in Trent-2dts è la seguente:

$$c = c_b \beta \frac{|\vec{u}|^2}{gh}$$

dove la stima del parametro di trasporto β (adimensionale) può essere fatta con la seguente formula:

$$\beta = \frac{8gd(Bh)^3}{c_b Q^3} \left(\frac{R_h i_f}{\Delta d} - \theta_c \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{dg\Delta}$$

dove d è il diametro rappresentativo del materiale trasportato (nel caso in esame assunto pari al $d_{50} = 0.22$ m – stima idrologica), i_f è la pendenza del fondo nella sezione di entrata (nel caso in esame 23%), B la larghezza media dell'alveo (nel caso in esame 10 m), h il tirante e R_h il raggio idraulico di un tratto rappresentativo del campo di moto che si vuole simulare ed infine Q è la portata totale (solida+liquida) caratteristica, pari a 0.7-0.9 la portata di picco dell'onda di piena.

Nel caso in esame il parametro di trasporto risulta pari a 0.076 per il TR200, con un volume solido complessivo trasportabile dall'onda di piena nel tratto pari a 146.000 m³ del tutto confrontabili con quelli stimati con la metodologia di Lefort.

I risultati della simulazione sono di seguito proposti. Anche il codice bidimensionale a fondo mobile evidenzia sostanzialmente le stesse problematiche e sulle stesse aree di quanto già mostrato da FLO-2D, seppur con qualche leggera differenza nelle grandezze simulate (seppur sempre confrontabili) dovute ovviamente al diverso codice numerico utilizzato. Interessante notare come il codice a fondo mobile simula depositi di una certa entità nel tratto d'alveo poco a valle del depuratore, che in caso di eventi a magnitudo maggiore rispetto a quella simulata (eventi estremi) potrebbero dar luogo a fenomeni di fuoriuscita in destra idrografica ove al momento non vengono simulati.

Anche i fenomeni di scavo simulati evidenziano come si sia in corrispondenza di un tratto sostanzialmente ove prevalgono i depositi. Fenomeni di scavo localizzato maggiori sono simulati poco a monte della confluenza con l'Avisio ed in destra idrografica poco a valle del depuratore. Nel complesso vengono simulati nel tratto circa 60.000 m³ di deposito e 20.000 m³ di scavo.

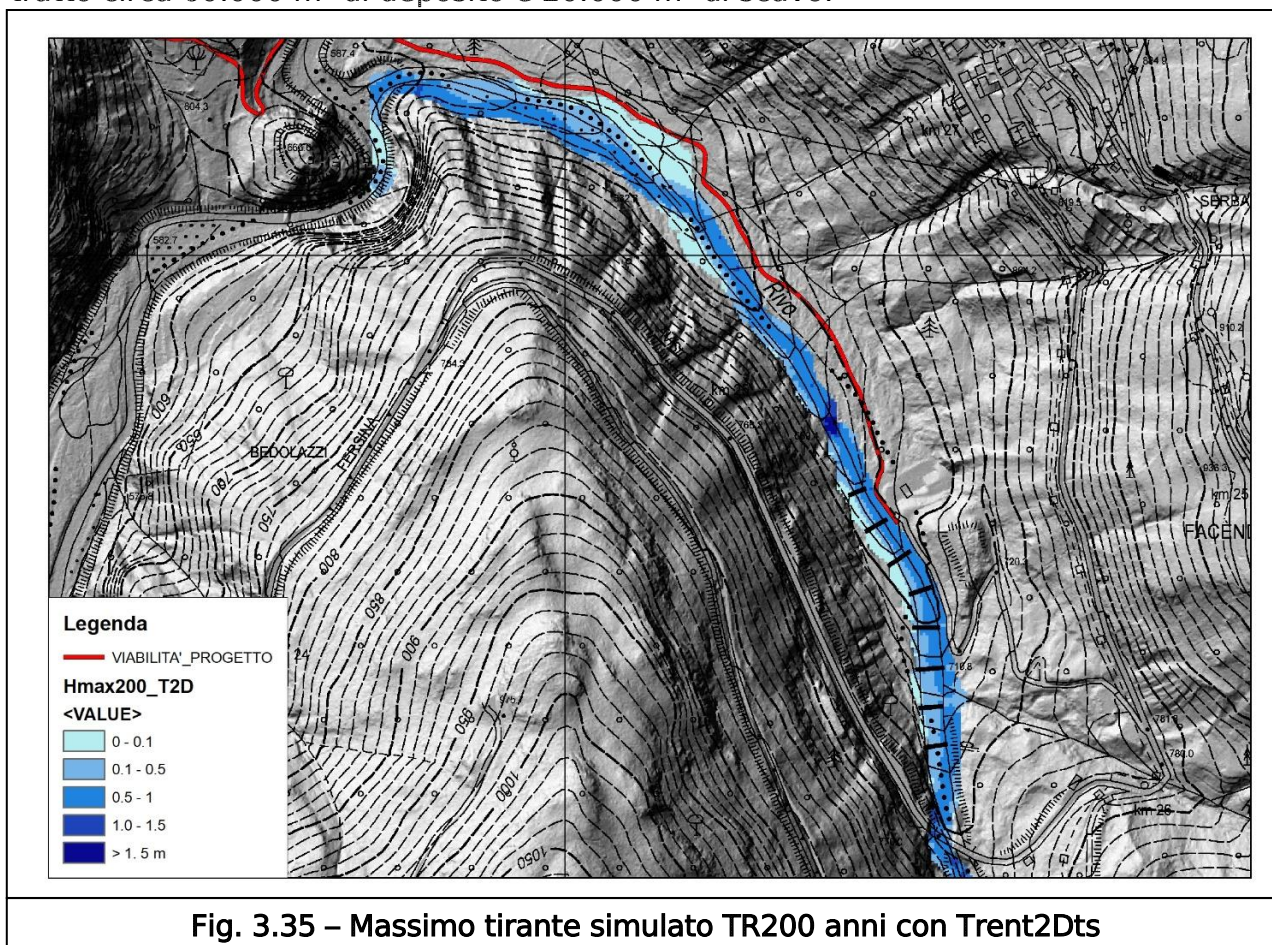


Fig. 3.35 – Massimo tirante simulato TR200 anni con Trent2Dts

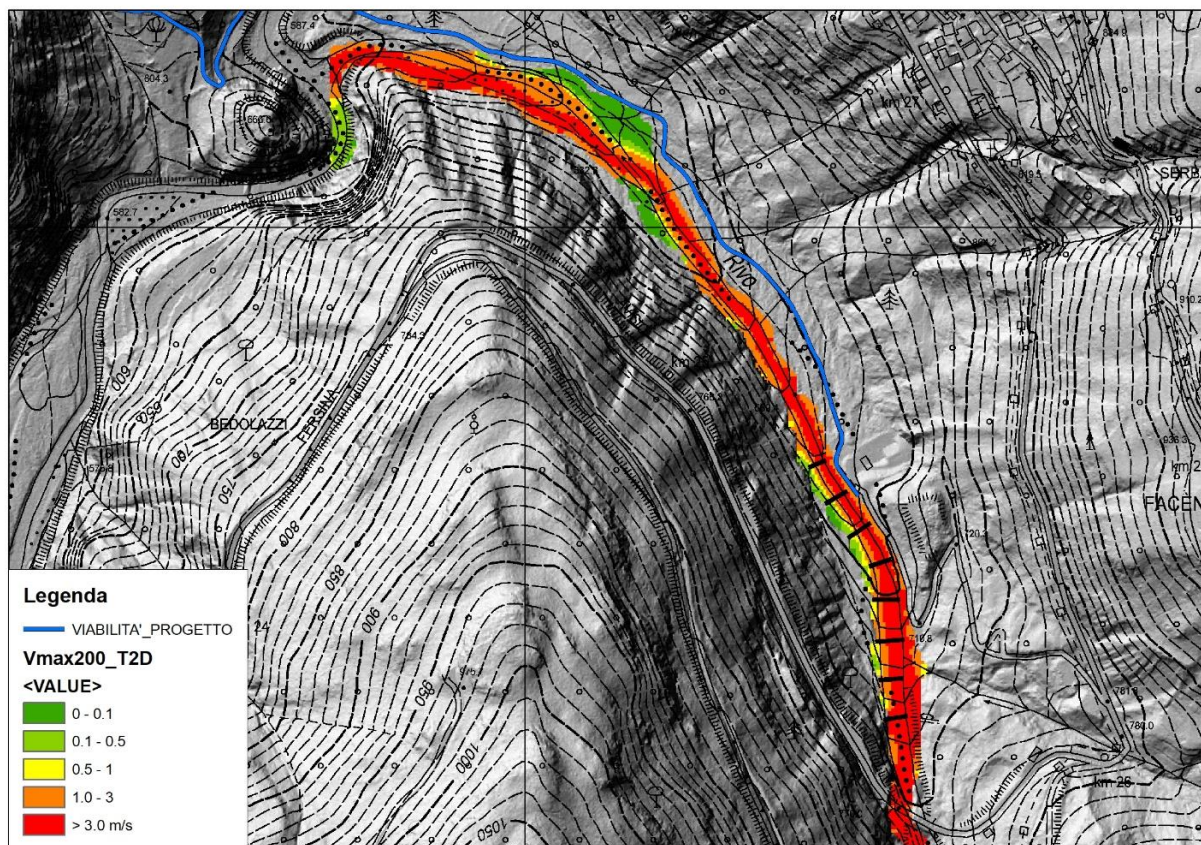


Fig. 3.36 – Massima velocità simulata TR200 anni con Trent2Dts

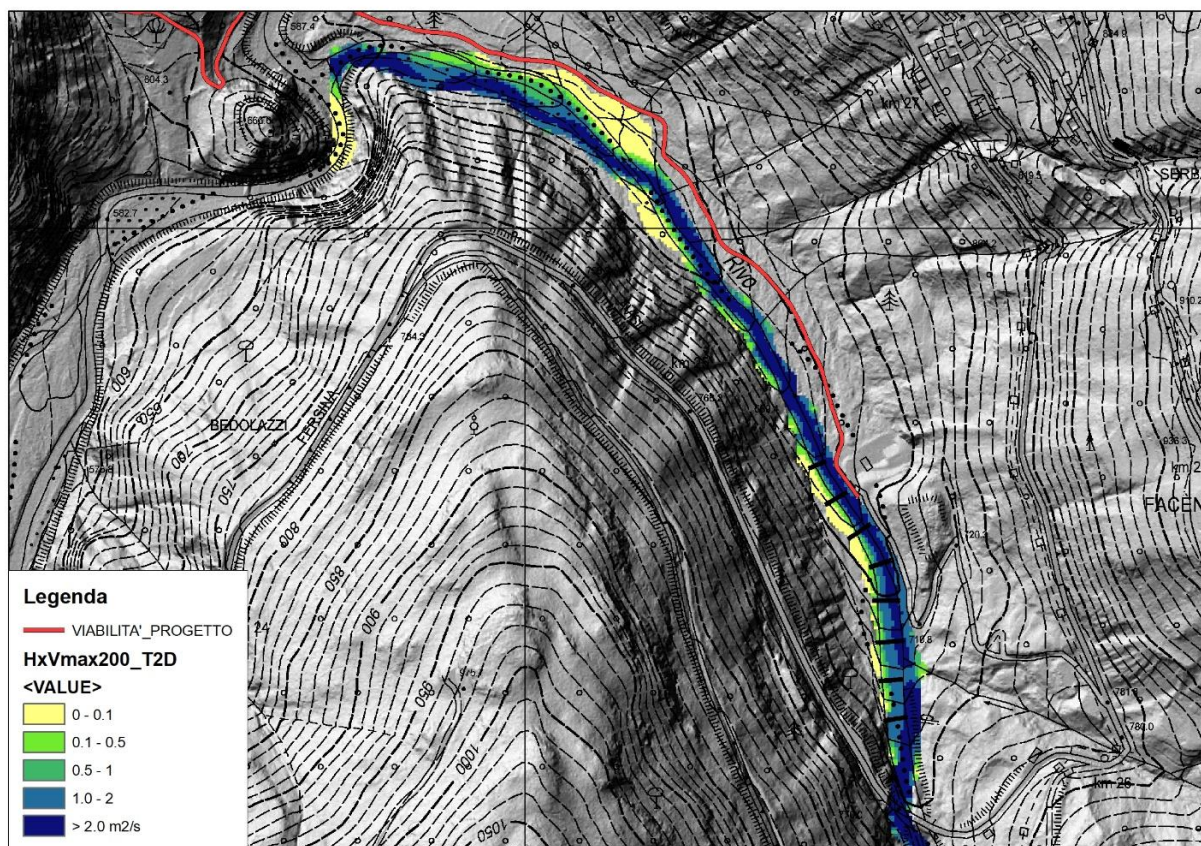


Fig. 3.37 – Massima forza di trascinamento (H x V) simulata TR200 anni con Trent2dts

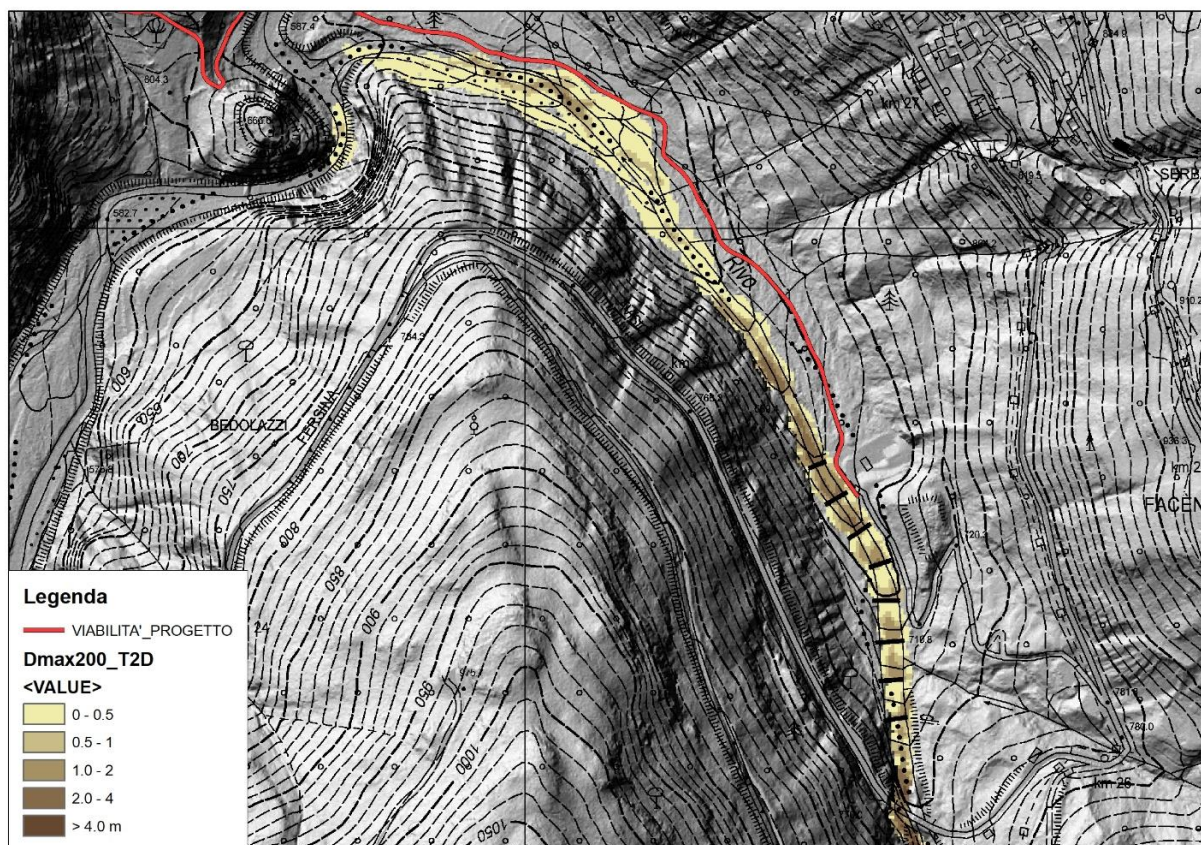


Fig. 3.38 – Massimo deposito simulato TR200 anni con Trent2dts

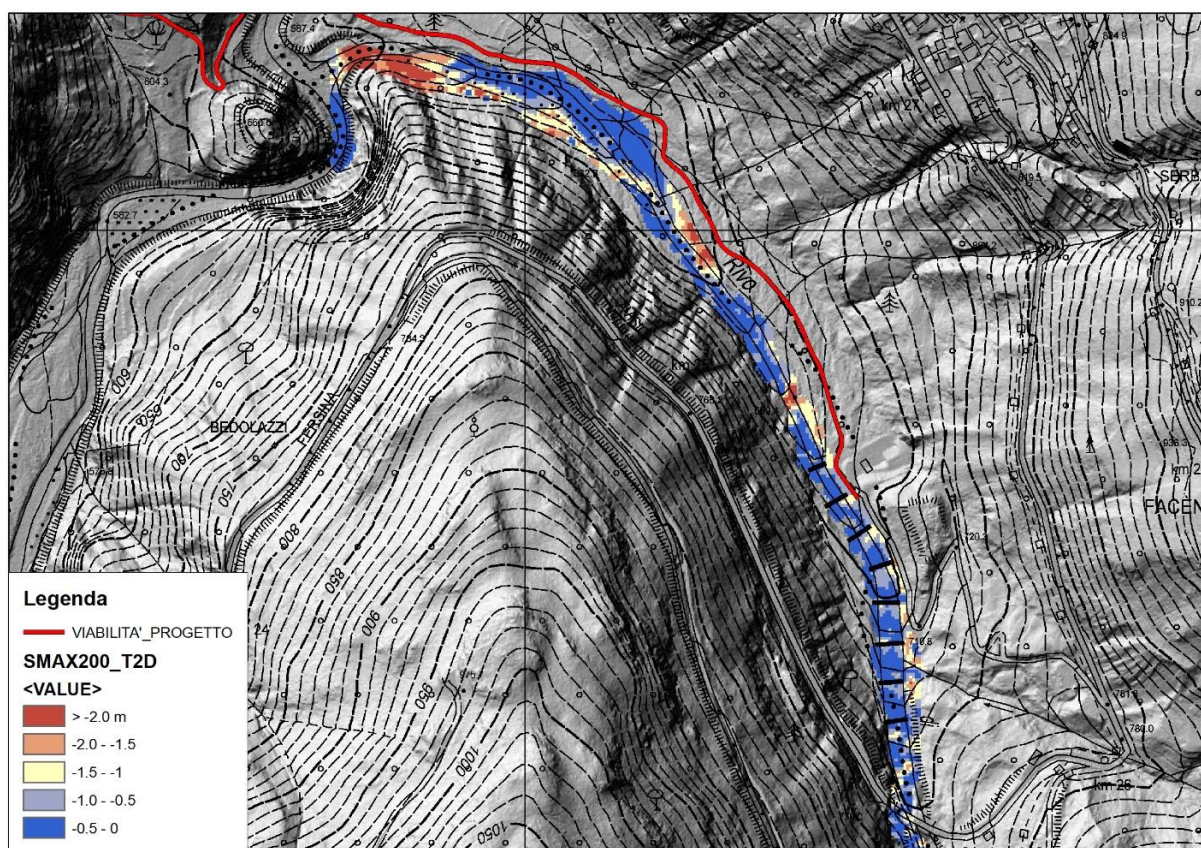


Fig. 3.39 – Massimo scavo simulato TR200 anni con Trent2dts

- Analisi della pericolosità:

Per entrambe le simulazioni con i diversi codici numerici, in scenari di pericolosità ORDINARIA come quelli qui simulati (volumi trasportati nell'ordine dei 100-150.000 m³) e statisticamente prevedibili con le serie di pioggia attualmente disponibili, si ritiene che la nuova viabilità, pur trovandosi oggettivamente in un'area certamente non definibile tranquilla, possa risultare compatibile anche se a seguito di una serie di interventi di mitigazione che devono rappresentare una conditio sine qua non per la sua realizzazione, di cui si discuterà più avanti.

Tale valutazione, invece, perde di significato e validità nel caso di eventi catastrofici e fuori scala come quelli di fine '800 e del 1966 ove i volumi convogliati nel tratto superano qualsivoglia capacità di smaltimento del corso d'acqua rendendo di fatto qualsiasi intervento nell'area (tra cui probabilmente anche il già realizzato depuratore) non compatibili.

Per avere un'idea più precisa di quali possano essere i fenomeni attesi nel caso di evento con magnitudo estrema, si sono effettuate altre due simulazioni di scenari con volumetrie coinvolte nell'ordine rispettivamente di 310.000 e 420.000 m³, ottenuti ipotizzando valori della concentrazione volumetrica dei sedimenti superiori a quelli teoricamente possibili. I risultati sono di seguito riportati.

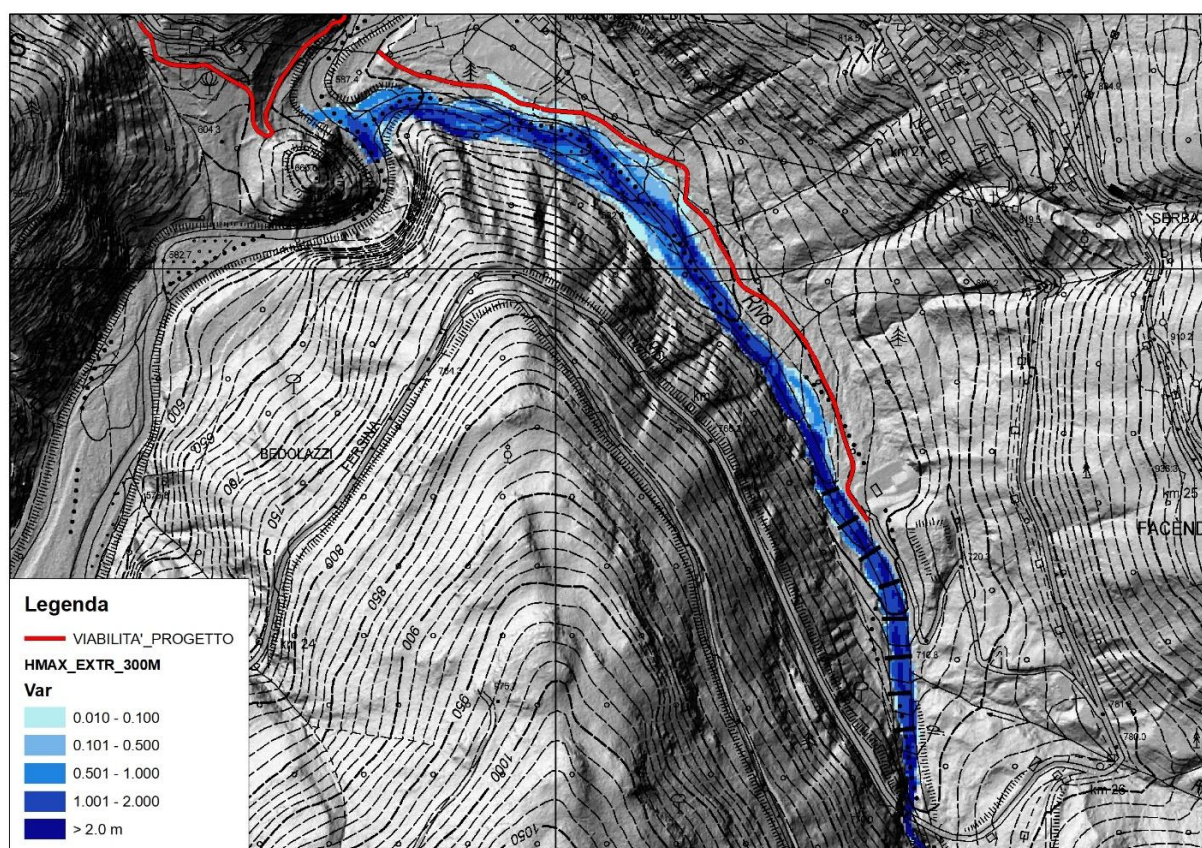


Fig. 3.40 – Massimo tirante simulato TR200 anni con FLO2D – Estremo Cv 0.31

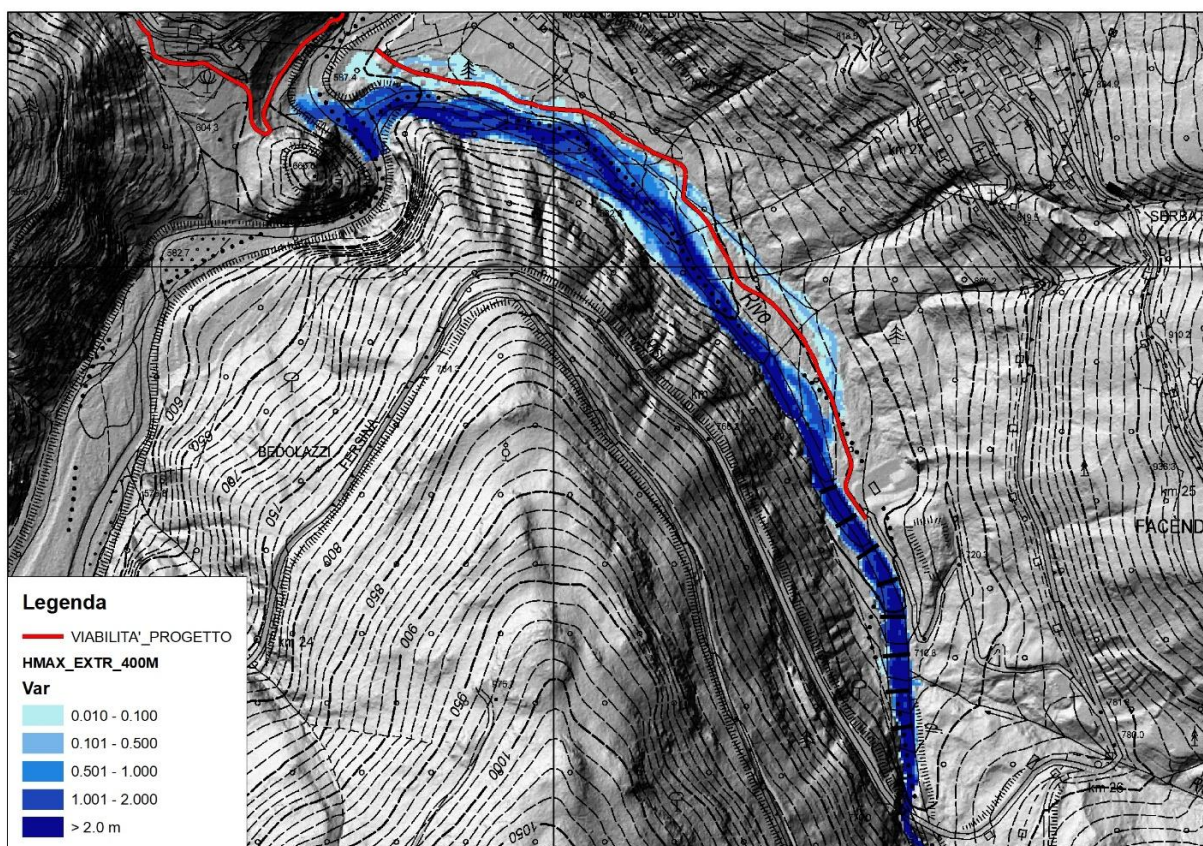


Fig. 3.41 – Massimo tirante simulato TR200 anni con FLO2D – Estremo Cv 0.33

- Massimi effetti prevedibili:

Come si nota dalle due figure sopra riportate, in caso di evento più estremo, rispetto a quelli ordinari in precedenza analizzati, il tracciato stradale viene come atteso maggiormente interessato dal fenomeno seppur con valori di tirante ancora abbastanza ridotti (< 1 m).

Interessante notare il comportamento del flusso nel caso del fenomeno a maggior magnitudo (Fig. 3.41): poco a valle del depuratore un ramo del flusso in esondazione si incanala in direzione del versante, andando a riprendere il canale naturale di gronda che raccoglie le acque del versante. La strada rimane quindi sospesa tra la parte più attiva dell'alveo e questo ramo secondario di propagazione. In quest'ultimo scenario la quasi totalità del tracciato è interessato dal flusso, seppur con valori di tirante oggettivamente non estremi.

- Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare:

Per ciò che riguarda la vulnerabilità dell'intervento proposto, ossia il grado di danno atteso sull'infrastruttura nel caso questa venga interessata da un fenomeno di esondazione del rio di Brusago, si ritiene oggettivo che questa possa risultare piuttosto elevata in quanto, per le infrastrutture di questo tipo sono attesi potenziali danni strutturali anche con valori di tiranti e velocità della corrente non elevatissimi.

Pochi decimetri di acqua e sedimento che si propagano a 1-2 m/s lungo una strada asfaltata possono certamente provocare già danni gravi al manto ed al cassonetto stradale, oltre che rappresentare un potenziale pericolo per gli utenti della strada stessa.

E' quindi indispensabile cercare in tutti i modi che questo non venga interessato direttamente dal flusso in propagazione. Fortunatamente la morfologia



dei luoghi ci consente di realizzare una buona parte dell'infrastruttura in rilevato, portandosi ad una quota di maggiore (ma non assoluta, come già detto) sicurezza almeno nel tratto compreso tra il depuratore e l'attraversamento con i 2 tubi da 80 cm. Da questo punto in poi, proseguendo verso valle, il tracciato si sviluppa in un'area decisamente troppo esposta al potenziale flusso in propagazione e l'unico modo per ridurre considerevolmente la possibilità di interessamento in caso di evento alluvionale appare quello di spostare il tracciato in zona più sicura.

Altri punti critici dal punto di vista idraulico lungo il nuovo tracciato

Si è analizzata sino ad ora la condizione di pericolosità nel tratto di viabilità di progetto previsto lungo il conoide del rio Brusago, tra il depuratore ed il ponte di attraversamento dell'Avisio. Si analizzano ora, in maniera puntuale, alcune altre situazioni di potenziale criticità e pericolo lungo il tratto di viabilità che dall'Avisio sale verso Grumes.

Dato per verificato idraulicamente il ponte sospeso sull'Avisio, sul quale non si eseguono valutazioni in merito, si evidenziano nel tratto almeno 3 punti potenzialmente critici o comunque su cui porre attenzione, nonostante la viabilità sia già esistente.

- 1) **Ponte di attraversamento del rio del Molino**, subito a monte della fraz. Maso Rio. Qui la sezione del ponte risulta con dimensioni utili al deflusso 6.0×3.0 m (18 m^2), con pendenza media del tratto 12-13%. La portata solido-liquida attesa in questa sezione (superficie drenante 8.9 km^2) è stata stimata, per eventi con TR 30-200 anni rispettivamente in 11 e $23 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, come di seguito riportato. Per verificare la criticità della sezione è stata eseguita una verifica idraulica del tratto in condizioni di moto permanente della corrente mediante il codice 1D HEC-RAS®, ritenuto sufficientemente adeguato visto il grado di confinamento dell'alveo, la morfologia delle sezioni abbastanza costante ed il comportamento newtoniano del flusso simulato. Per tener conto del probabile effetto del trasporto solido nell'influenzare le condizioni del moto, si è scelto di utilizzare un coefficiente di resistenza di Strickler su tutte le sezioni pari a $10 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$. I risultati della verifica sono riportati di seguito.

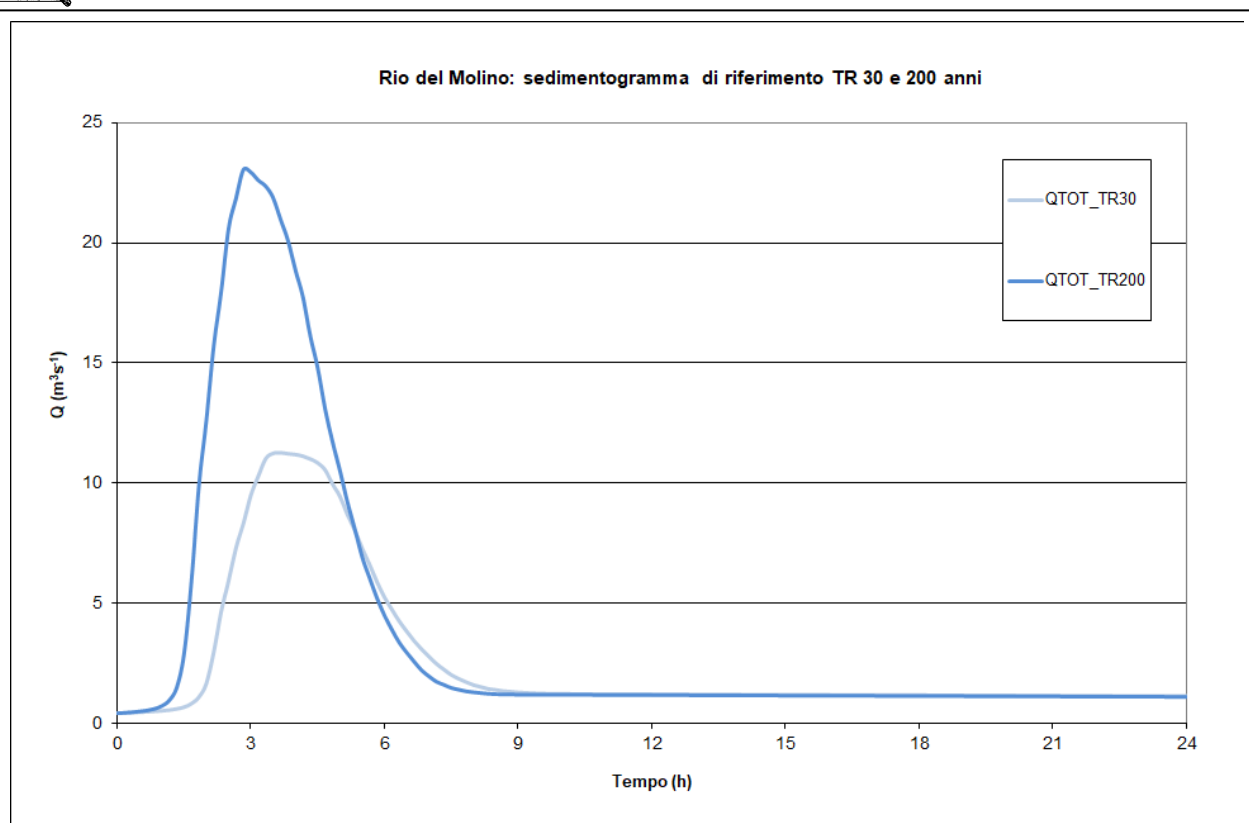


Fig. 3.42 – Sedimentogrammi (portata liquida + portata solida) stimati per il bacino del rio del Molino in corrispondenza del ponte in loc. Masi Rio

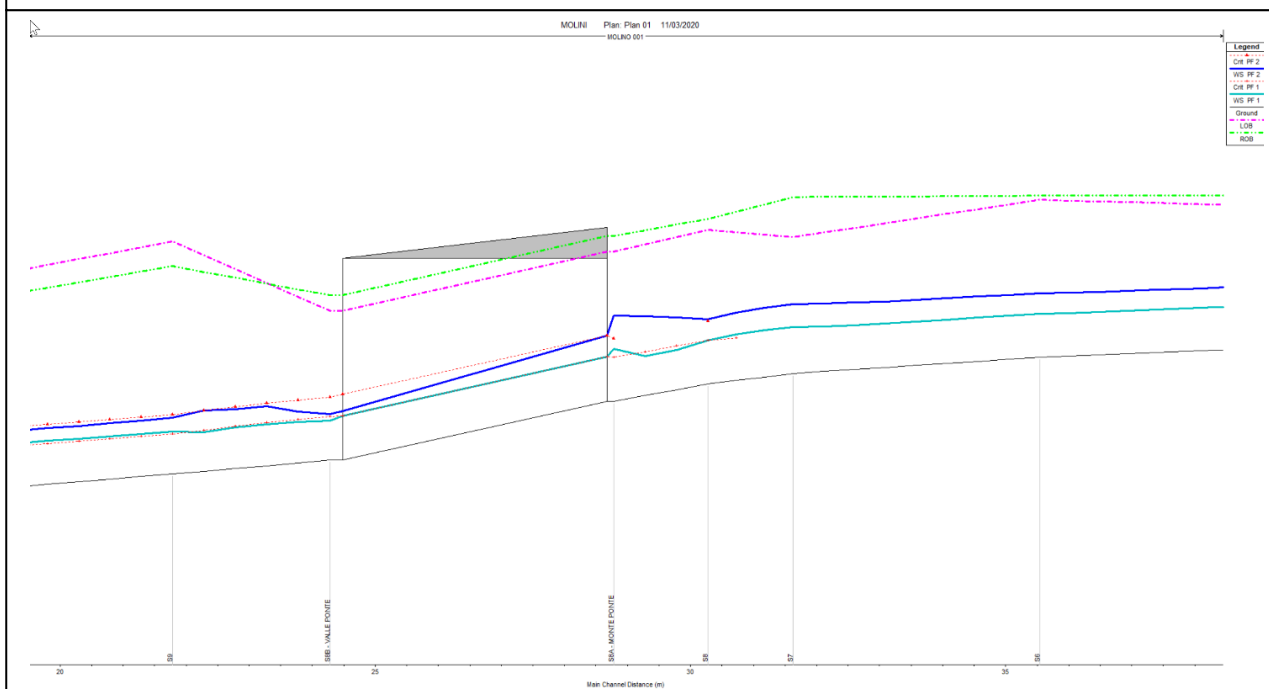
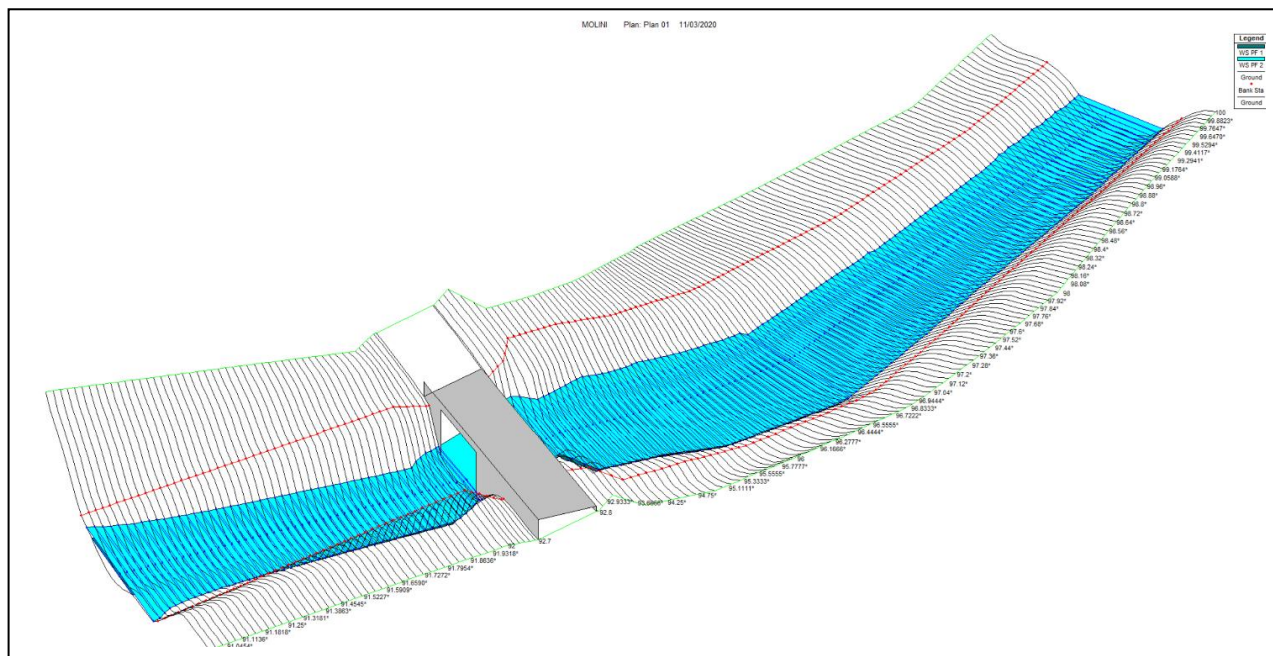
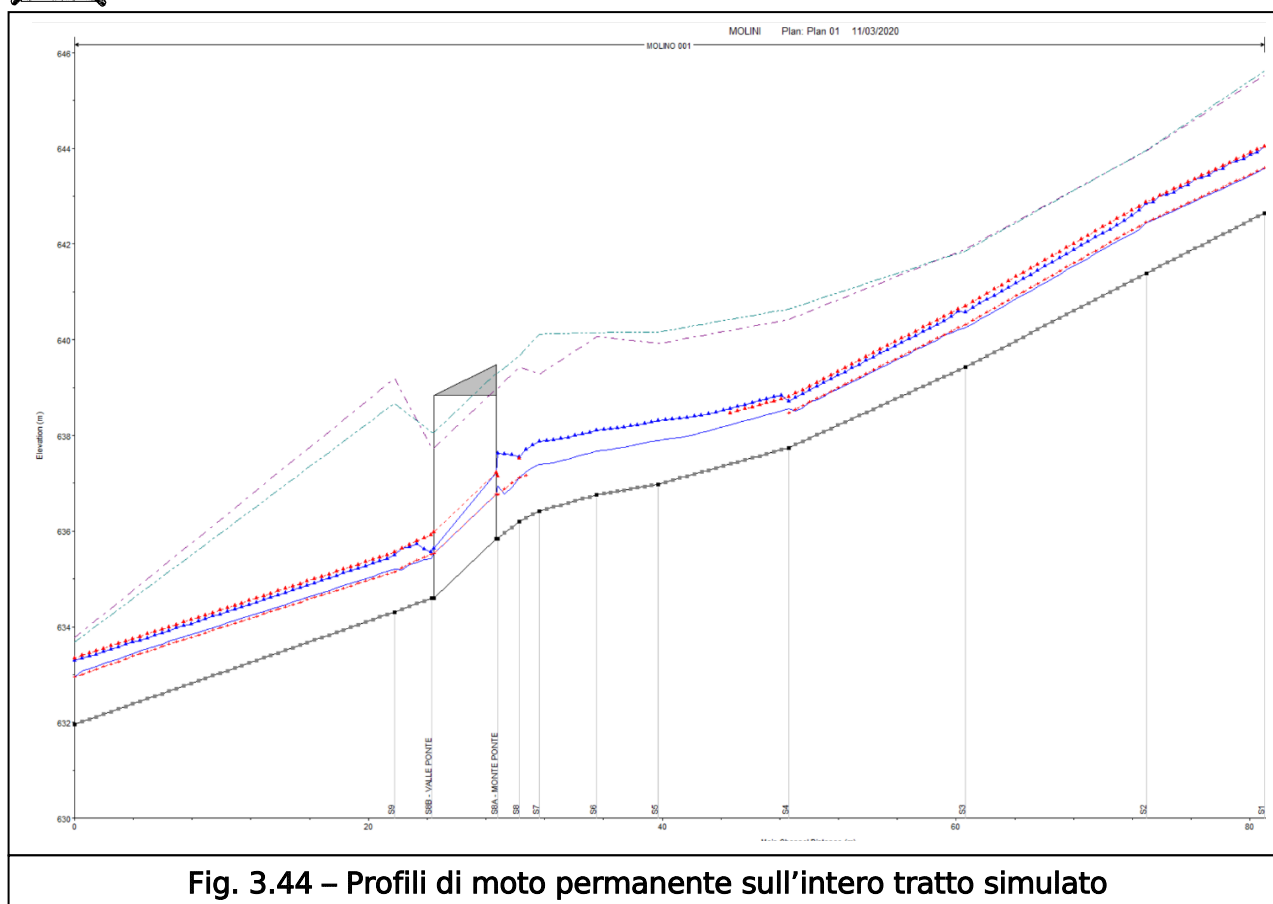
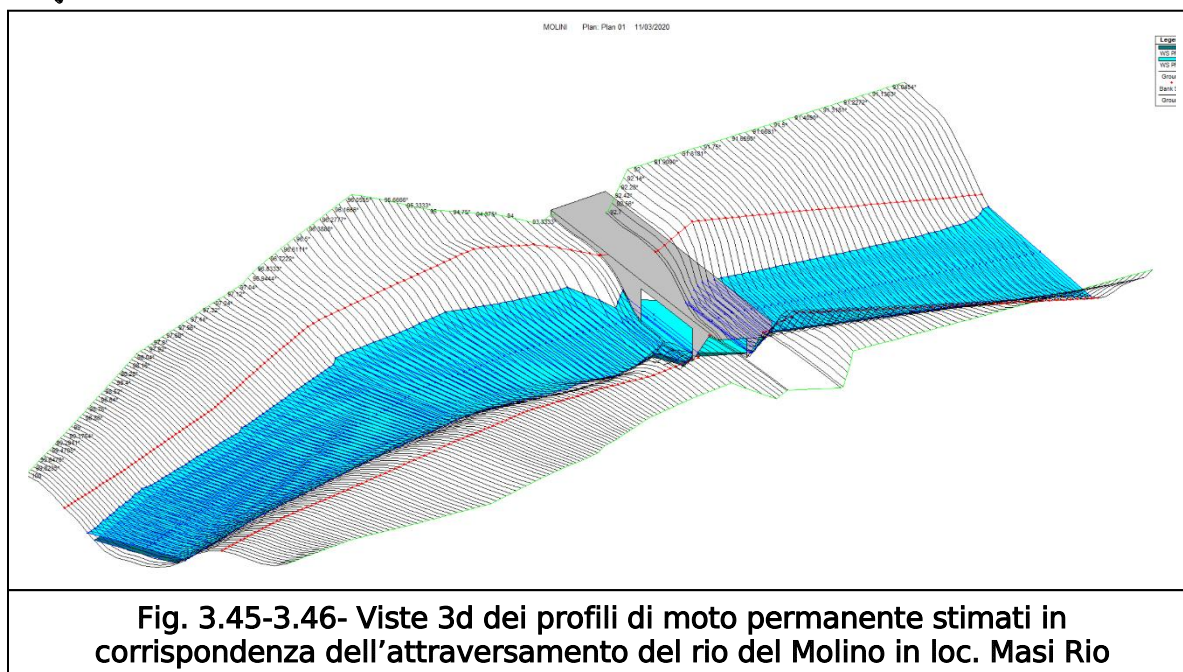


Fig. 3.43 – Profili di moto permanente simulati in corrispondenza del ponte sul rio del Molino in loc. Masi Rio





La simulazione evidenzia come, nel passaggio attraverso il ponte, le portate di riferimento TR 30 e 200 anni transitino mantenendo sufficiente franco idraulico (1.91 m TR30 - 1.22 m TR200) nonostante la formazione di un leggero risalto idraulico dovuto al restringimento che costringe la corrente a passare dallo stato di corrente veloce ($Fr > 1$) a quello di corrente lenta ($Fr < 1$).

Questi valori del franco dovrebbero garantire, almeno fino ad una certa entità, anche il transito di materiale fluitato senza complete ostruzioni della sezione.

- 2) **Tratto d'alveo tra il ponte precedente ed il tornante successivo;** la posizione del muro ad esterno della curva, ove in caso di piena importante potrebbero esservi fenomeni di sovrizzo della corrente, può favorire l'innescio di fenomeni erosivi al piede della struttura;



Fig. 3.47 – Tratto del rio del Molino ove realizzare un'eventuale protezione al piede del muro di sostegno della strada.

- 3) **1° tornante della strada a monte della Fraz. Maso Rio;** qui si rileva la presenza di un piccolo canale consolidato che drena una zona franosa sovrastante potenzialmente ancora attiva. Il collettore, con sezione abbastanza ridotta, lambisce l'esterno del tornante e potrebbe provocare esondazione sul tornante stesso nel caso di innesco di fenomeni di colata per evoluzione dei franamenti sovrastanti, anche per la presenza di un piccolo ponte di attraversamento di una pista forestale che potrebbe essere ostruito dal materiale solido o fluitato in arrivo da monte.



Fig. 3.48 – Canale consolidato tangente all'esterno del tornante. Eventuali fenomeni di fuoriuscita potrebbero essere causati dall'ostruzione dalla passerella.

Sulla bozza della nuova Carta della pericolosità idrogeologica della PAT, non ancora in vigore ma in fase di approvazione, viene evidenziato inoltre un canale a pericolosità **POTENZIALE** poco a monte del tornante. Dai sopralluoghi effettuati, però, tale canale sembra esservi solo sulla carta mentre non vi sono evidenze di campo che dimostrino all'interno dell'impluvio, tra l'altro morfologicamente non molto marcato, segni di deflusso permanente o intermittente, né tanto meno fenomeni erosivi in atto. Per questo motivo non è stato effettuato alcun approfondimento idrologico-idraulico del caso.

Definizione delle opere di mitigazione per la compatibilità dell'intervento

Definita la potenziale pericolosità dell'area e la vulnerabilità dell'infrastruttura in progetto, si definiscono di seguito le misure di mitigazione che appaiono imprescindibili per una compatibilità dell'intervento riferita ai fenomeni ordinari come sopra esposti e simulati. Nel caso di fenomeni di magnitudo maggiore e fuori scala rispetto a quelli qui previsti, nessuna compatibilità dell'intervento può venir garantita.

Partendo da monte verso valle gli interventi proposti/prescritti sono i seguenti:



- 1) Spostamento del tracciato stradale verso il versante di Sover sfruttando zone a quota maggiore rispetto all'area alluvionale più attiva. In tutto il primo tratto, tra il depuratore e l'attraversamento tubolare appare opportuno e possibile realizzare la piattaforma stradale leggermente in rilevato (almeno 1-1.5) rispetto al piano campagna, proteggendo la rampa verso il rio Brusago con eventuali opere in scogliera per evitare possibili erosioni in caso di esondazione; mantenere il dislivello esistente tra il canale di smaltimento dei collettori laterali, lungo cui si incanala il loro flusso solido-liquido (vedi simulazioni);
- 2) Rifacimento dell'attraversamento tubolare della strada sul canale di gronda del versante di Sover, sostituendo le due tubature da 80 cm con uno scatolare in cls di sezione quadrata o rettangolare correttamente dimensionato per smaltire le portate liquide anche più temibili provenienti dal versante stesso; subito a monte dell'attraversamento creare un volume di deposito chiuso da una soglia con pettine in acciaio per contenere eventuali flussi solidi in arrivo dal versante. Sembra sufficiente creare un volume di 150-200 mc.
- 3) A valle dell'attraversamento, spostamento del tracciato stradale sulla zona prativa sovrastante seguendo la traccia di una pista già esistente fino alla Loc. Molini Nogaredi, allontanandosi dal ciglio di erosione/esondazione più attivo del rio Brusago. In questo tratto appare opportuno realizzare un piccolo volume di invaso per contenere eventuali fenomeni di trasporto massivo provenienti dal Fosso dei Broili I. Sembra sufficiente creare un volume di 200 mc, mediante realizzazione di un vallo-tomo protettivo con scarico tubolare per lasciar defluire le acque naturali, che già ora attraversano l'area prativa.

Gli interventi di mitigazione proposti sono riassunti nell'immagine che segue:

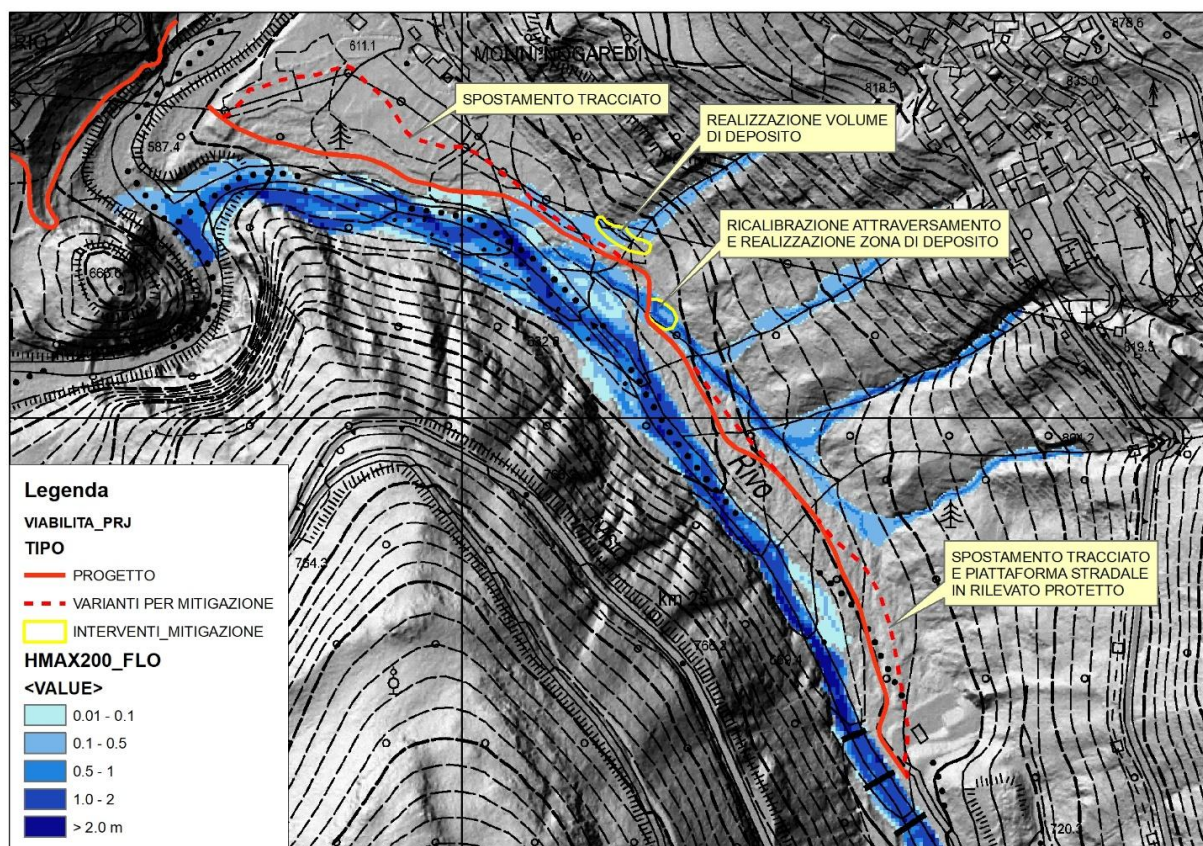


Fig. 3.49 – Interventi di mitigazione per la compatibilità dell'intervento nei confronti della pericolosità ORDINARIA



Accanto a queste misure di tipo attivo e diretto, utili per compatibilizzare l'intervento nei confronti degli eventi di pericolosità ordinaria e con TR da basso a medio, appare necessario da parte del futuro gestore della strada predisporre un Piano di allerta ed emergenza che contempli la chiusura preventiva della bretella in caso di emissione di bollettini probabilistici critici e avvisi di allerta almeno MODERATA da parte del sistema di allerta provinciale.

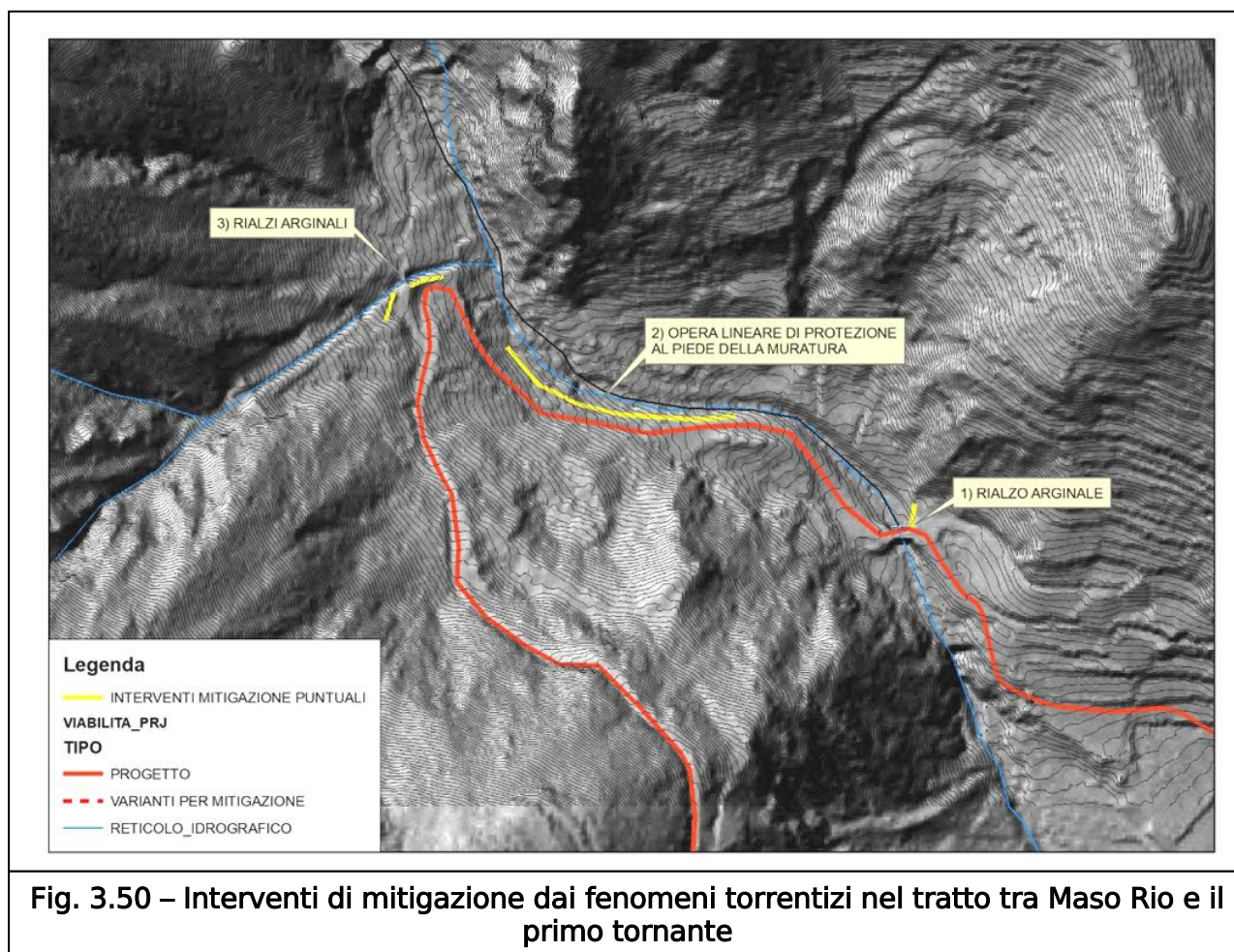
La dimensione del bacino e i suoi tempi di risposta alle precipitazioni più critiche, certamente non improvvisi, possono garantire al gestore sufficiente tempo per organizzare la chiusura al transito veicolare e pedonale della bretella, che per caratteristiche costruttive risulterà comunque sempre una viabilità secondaria ad uso prevalentemente locale-agricolo e difficilmente collaudabile per altri utilizzi più intensi.

Per gli eventi di trasporto solido massivo potenzialmente attesi lungo i quattro collettori del versante di Sover una pianificazione di emergenza non è ovviamente possibile vista l'imprevedibilità ed impulsività di tali eventi, spesso causati da temporali improvvisi, brevi e molto intensi. Per questi fenomeni valgono le misure di mitigazione attive già in precedenza elencate, che appaiono sufficienti a garantire la compatibilità dell'intervento.

Nel tratto di viabilità oltre l'Avisio, in salita verso Grumes, i principali interventi di mitigazione possono essere così riassunti:

- 1) Leggero innalzamento dell'ordine di 1 m) dell'argine di monte sulla spalla sinistra del ponte di attraversamento del rio del Molino per indirizzare eventuali flussi in fuoriuscita (dalle simulazioni attesi solo in caso di ostruzione della sezione) verso la sponda destra;
- 2) Protezione da possibili erosioni del piede della muratura di sostegno della strada verso il rio del Molino (esterno curva) con una piccola opera lineare in massi (tipo scogliera cementata);
- 3) Realizzazione di due tratti di rialzo arginale a monte e valle della passerella di attraversamento del collettore sistemato per contenere eventuali flussi che esondassero da questo.

La sintesi grafica degli interventi è di seguito riportata:



- Cronoprogramma opere:

I descritti interventi mitigatori dovranno essere realizzati prima o contestualmente alla realizzazione del tracciato di collegamento in progetto.

- Conclusioni:

Lo studio idrologico, sedimentologico ed idraulico presentato in questo capitolo ha analizzato la pericolosità dell'area interessata dalla nuova bretella di interesse comunale relativamente ai fenomeni torrentizi attesi lungo il rio di Brusago, sui quattro principali collettori secondari del versante di Sover, e sul rio di Molino (versante Grumes). Lo studio ha messo in evidenza in maniera oggettiva come il tracciato di progetto possa essere interessato da fenomeni torrentizi di varia natura seppur non in maniera diffusa ma solo parzialmente e localmente, in caso di eventi alluvionali con probabilità di accadimento molto bassa (TR 200 anni) ma comunque sempre statisticamente prevedibili e simulabili con le normali serie storiche attualmente a disposizione. Eventi con probabilità di accadimento media e elevata (TR 30 o minori) sembra non siano in grado di interessare il tracciato.

Si è visto invece come in caso di eventi estremi o "fuori scala", di magnitudo eccezionale, ascrivibili alle tipologie verificatesi a fine '800 e nel 1966, con coinvolgimento di volumetrie di milioni di metri cubi di materiale trasportato, e che hanno cambiato forma alla valle di Brusago, il tracciato risulti quasi completamente interessabile dai fenomeni.

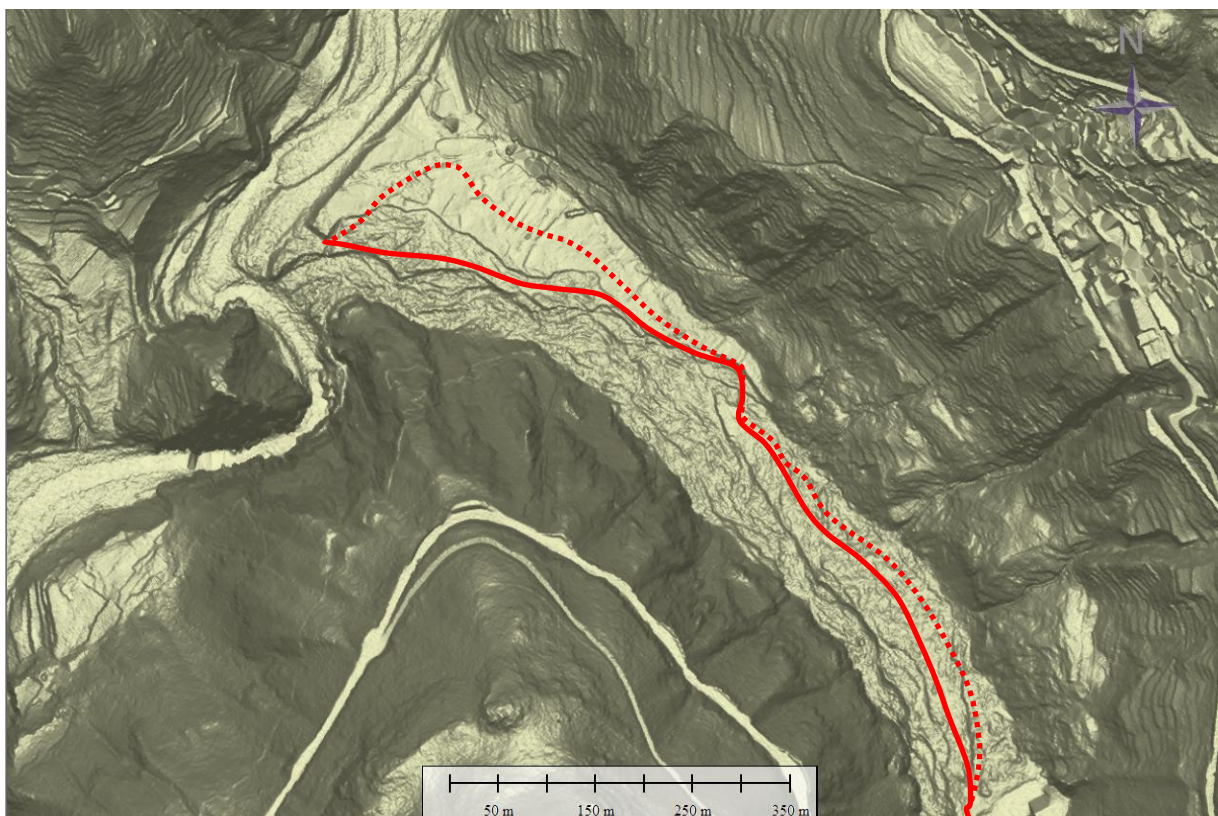
Sulla base dei risultati dello studio si ritiene che, data per assodata ed oggettiva la pericolosità dell'area, almeno per eventi con TR200 (pericolosità ordinaria) o maggiore (pericolosità residua), si ritiene che l'intervento proposto sia



ragionevolmente COMPATIBILE purché siano adottate tutte le misure di mitigazione come in precedenza elencate:

- alzare e spostare il tracciato, nel tratto fra il depuratore ed il ponticello a monte di loc. Molini Nogaredi (Fig. 3.16 e 3.17) in modo che esso venga a trovarsi sulla sommità di un cordone di alluvioni molto grossolane, presente più a E del tracciato previsto,

- da questo punto il tracciato dovrà venir allontanato ulteriormente rispetto alla previsione iniziale: allo scopo si potrà continuare, seguendo un tracciato esistente in direzione della località Molini, per poi piegare verso il ponte sull'Avisio: a seguire si evidenzia il tracciato proposto e quello in variante per ottenere la compatibilità idraulica.



Linea continua = tracciato previsto; linea a puntini = variante per minimizzare la pericolosità idraulica.



Le misure di mitigazione proposte di tipo diretto hanno più che altro l'obiettivo di ridurre la vulnerabilità e limitare il rischio per l'infrastruttura, per gli eventi con probabilità di accadimento da elevata e media.

Per gli eventi con probabilità di accadimento bassa, bassissima o per quelli "fuori scala", certamente meno prevedibili in termini quantitativi e di comportamento, ma più facilmente prevedibili in termini di allerta, si ritiene che la misura di mitigazione più efficiente sia rappresentata da un preciso e facilmente attuabile piano di allerta ed emergenza che consenta di gestire in maniera indiretta il rischio.

Solo con l'interdizione al passaggio di mezzi e persone in caso di allerta è possibile infatti affermare che la realizzazione dell'infrastruttura non comporti un aumento del rischio per l'incolumità delle persone.

Se infatti è sostenibile ed accettabile subire dei danni ad un'infrastruttura, tra l'altro non fondamentale per garantire i collegamenti principali all'interno della valle, in caso di eventi a bassa probabilità di accadimento, ciò non lo è nel caso si parli di pubblica incolumità.

IL TECNICO
Dott. Silvio Grisotto





3.2 Componente frane

A sua volta questa componente può essere suddivisa in più settori:

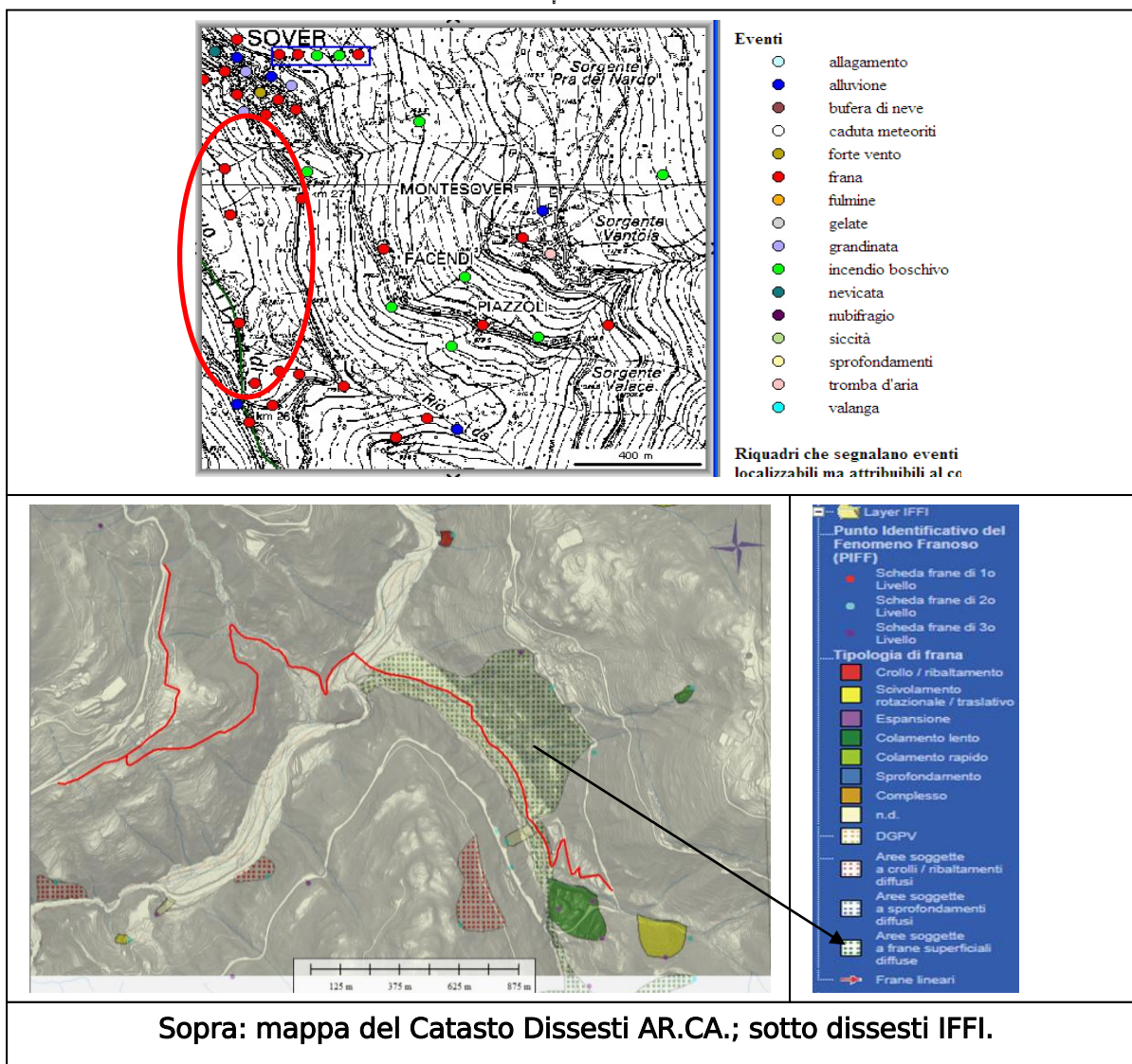
- zona discarica – depuratore di Sover,
- zona depuratore – ponte sull'Avisio,
- zona fra il ponte sull'Avisio e Maso Rio,
- zona sotto Grumes.

3.2.1 Componente frane: zona discarica – depuratore di Sover:

- Individuazione del tipo di fenomeno:

Il fenomeno individuato comporta una serie di lesioni osservabili sul manto stradale della strada che scende dalla Strada Provinciale fino alla zona del depuratore.

La segnalazione di tali lesioni risale al 2014, quando lo scrivente si è interessato del progetto di completamento della discarica di inerti ivi presente; la delicatezza geologica della zona era da tempo nota, basti ricordare il database ARchivio.CAlamità. del Servizio Geologico PAT, o la cartografia IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), realizzata dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome: questo data-base mostra ubicazione e tipologia dei fenomeni geomorfologici noti; parte del tracciato sotto Sover risulta coinvolto da frane superficiali diffuse.





COMUNE		ALUSO	mq.	Mese di settembre 1976
3	Movimento franoso su fondo privato in loc. "Piazzoli" in parte già sistemato.	Piazzoli in c.c. di Sover	mq. 200	
4	Idem come sopra in loc. "Vallette" di proprietà comunale e privata	"Vallette" in c.c. Sover	mq. 1200	-
5	Idem c.sopra, terreno di proprietà privata, in loc. Val di Cavalese.	Val di Cavalese in c.c. Segonzano	mq. 300	-
6	Idem c.sopra in loc. "Sotto abitato Frazione Gaggio" - terr. comunale	Gaggio in c.c. Segonz.	mq. 450	-
7	Corrosione delle sponde del Rio Regnana di propr. comunale e deman. causa abbondanti precipitazioni.	Rio Regnana in c.c. di Segonzano	ha. 1,5	-
8	Smottamento in loc. "Piazzole" terreno coltivato a vigneto di proprietà privata.	Piazzole-Pian in c.c. Lona-Lases	mq. 200	Marzo 1977
9	Movimento franoso causa erosione nella sponda destra del Rio Brusago e precisamente dal ponte a valle per circa al. 500, si prevede la sistemazione entro il 1981, da parte del E.B.M., il terreno è di proprietà privata, coltivato a bosco e pr.	Rio Brusago-Le Gole in c.c. di Sover	ha. 10,0	Marzo 1977

37	Smottamento causato da infiltrazioni di acqua e contemporanea erosione al piede	Bedollo - Becaria	0.15.00	1977
38	Smottamento causato da infiltrazioni di acque provenienti dal tombino della strada sovrastante	Bedollo Lavine	0.30.00	15.9.1976
39	Smottamento causa eccessiva imbibizione del terreno	Bedollo Checon	0.10.00	14.9.1976
40	Smottamenti causati da abbondanti precipitazioni meteoriche	Gabbio, Salè Casoti	2.00.00	3/4 ottobre 1976
41	Movimento franoso discarica cava porfirica	Albiano Pian Fogolar	3.00.00	5.4.1975
42	Movimento franoso su terreno privato	Sover Piazzoli	0.02.00	settembre '76
43	Idem come sopra	Sover Vallette	0.12.00	settembre '76
44	Idem come sopra	Segonzano Val di Cavalese	0.03.00	settembre '76
45	Idem come sopra	Segonzano Gaggio	0.04.50	settembre '76
46	Erosione sponde del Rio Regnana causa aumento portata per precipitazioni	Segonzano Rio Regnana	1.50.00	settembre '76

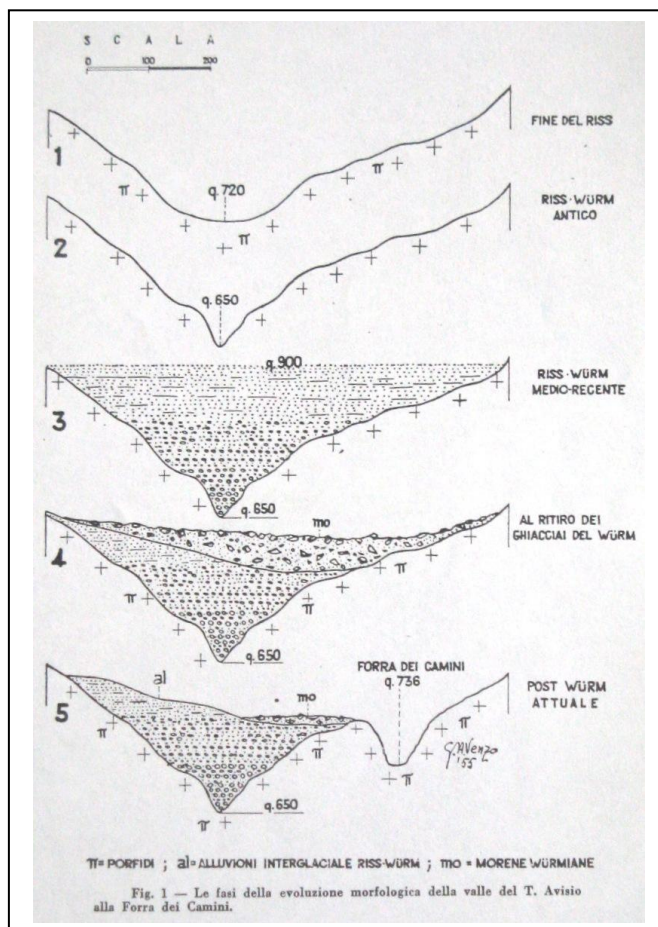
n.	SOMMARIO	DESCRIZIONE	EVENTO	Località	Estensione	D a t
47	Smottamento di terreno coltivato a vigneto -			Lona-Lases Piazzole Pian	0.02.00-	marzo 1977
48	Smottamento causa erosione al piede -			Sover Rio Brusago Le Gole	10.00.00-	marzo 1977

Informazioni sui dissesti di cui al database AR.CA.

Come si vede tutta la zona di interesse è interessata da movimenti gravitativi ed erosioni: anche testimonianze degli abitanti del luogo riferiscono di scivolamenti, dissesti vari ed erosioni.

La geomorfologia locale è definibile come una tipica valle alpina, percorsa dal Rio Brusago, incisione che qui ha andamento circa SSE - NNW, impostata su un disturbo tettonico: tutta la zona è ricoperta da bosco a conifere, alternato a pareti rocciose, ad esclusiva composizione geologica porfirica (F. di Ora del Gruppo Vulcanico Atesino) ed intersecato dalla viabilità provinciale e comunale.

Di questa zona sono note le alterne fasi geomorfologiche quaternarie, durante le quali si sono alternati imponenti fenomeni glaciali di erosione e deposizione: il T. Avisio ha scavato numerose incisioni del suo letto che ora sono sepolte sotto alle coltri glaciali e fluvioglaciali: G.A. Venzo ha descritto l'alveo sepolto ritrovato durante i lavori di realizzazione della diga di Stramentizzo ed ha individuato la presenza di altri alvei sepolti lungo il T. Avisio.



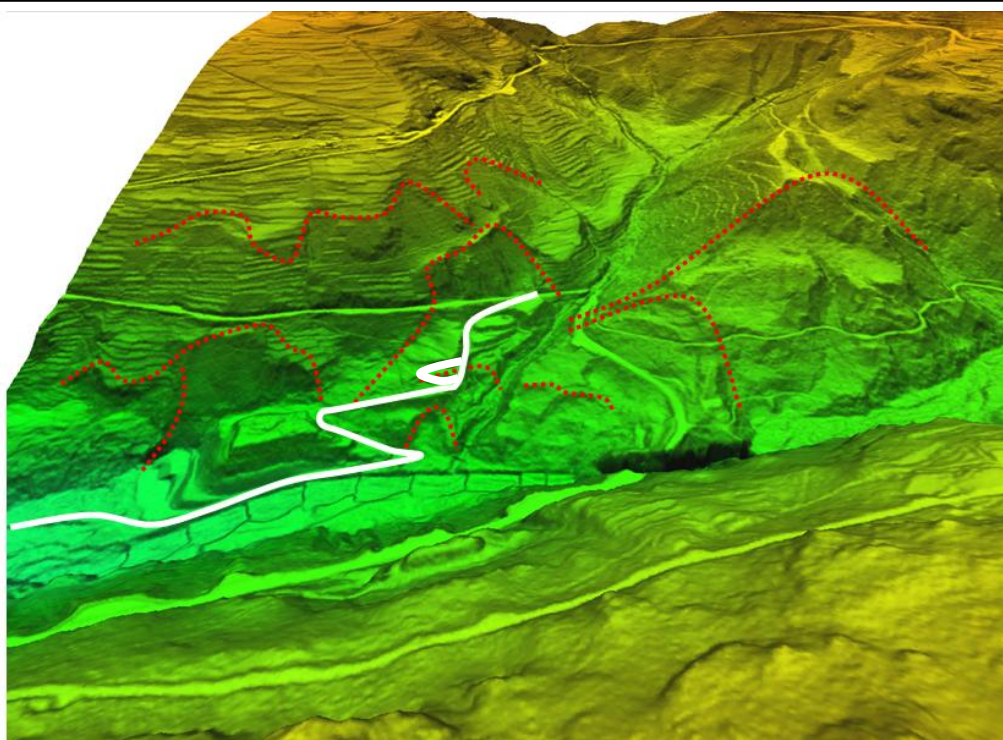
Stralcio da G.A. Venzo:

I depositi del quaternario e l'evoluzione morfologica della valle del T. Avisio fra Stramentizzo ed Ischiazza (Val di Fiemme - Trentino).

Si è parlato di questi fenomeni per spiegare l'origine della presenza di potenti alternanze di depositi ghiaiosi, derivanti dalla deposizione torrentizia (ambiente ad alta energia di trasporto), ad altrettanto potenti depositi a matrice limosa, caratteristici di ambienti a bassa energia di trasporto.

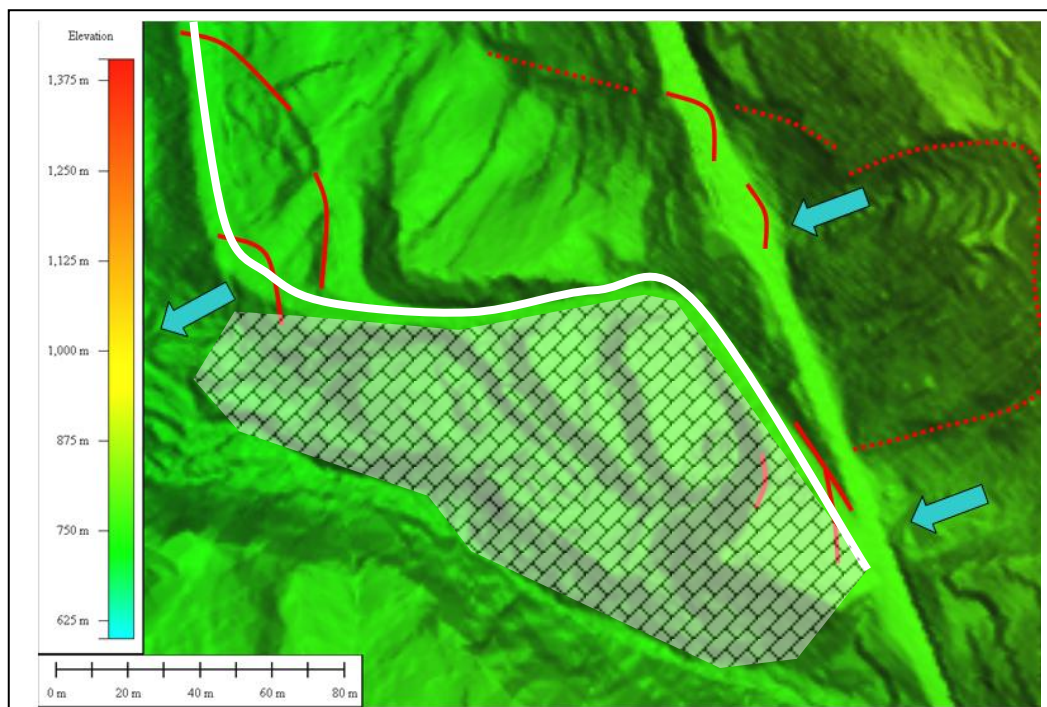
Venendo a periodi più recenti, non si può trascurare di menzionare l'evento alluvionale del 1966, durante il quale il Rio Brusago ha profondamente inciso le proprie alluvioni ed i versanti circostanti anche con presenza di abitazioni, causando ingenti danni e vittime.

Questo episodio erosivo ha abbassato il livello di base di molti versanti, innescando fenomeni di richiamo gravitativo sugli stessi: scoscendimenti, slump e creep sono i fenomeni più diffusi che si possono osservare in zona, qui visualizzati sul modello digitale del terreno Lidar della PAT.



Modello digitale del terreno Lidar (PAT) con ubicazione del tracciato del collegamento Sover – Grumes; indicate in rosso le più evidenti macro forme di dissesto gravitativo, alcune sicuramente derivanti da erosioni regressive.

Più nel dettaglio, nella zona attraversata da questo primo tratto del tracciato della viabilità in esame esistono evidenze di dissesti attualmente attivi, come illustrato nella figura a seguire.



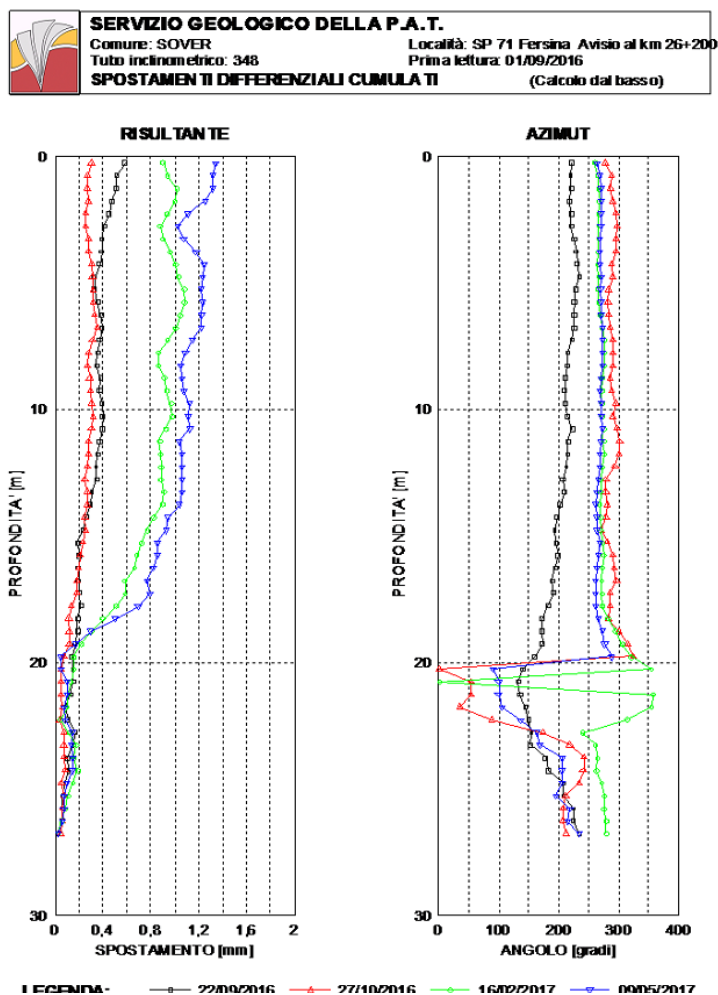
Dissesti sicuramente attivi (linea continua) e dissesti sicuramente presenti ma forse quiescenti (linea a tratteggio). Le frecce blu indicano le filtrazioni osservate. La linea bianca ubica il tracciato del collegamento Sover – Grumes, mentre l'area a tratteggio è l'impronta di una discarica di inerti esaurita.



A seguire sono alcune foto che mostrano le evidenze dei dissesti più vicini alla viabilità: alcuni sono recenti, altri riattivati, come al tornante sottostante o sulla strada provinciale soprastante, asfaltata nell'inverno 2013-2014 e poi nuovamente sede di crepe.



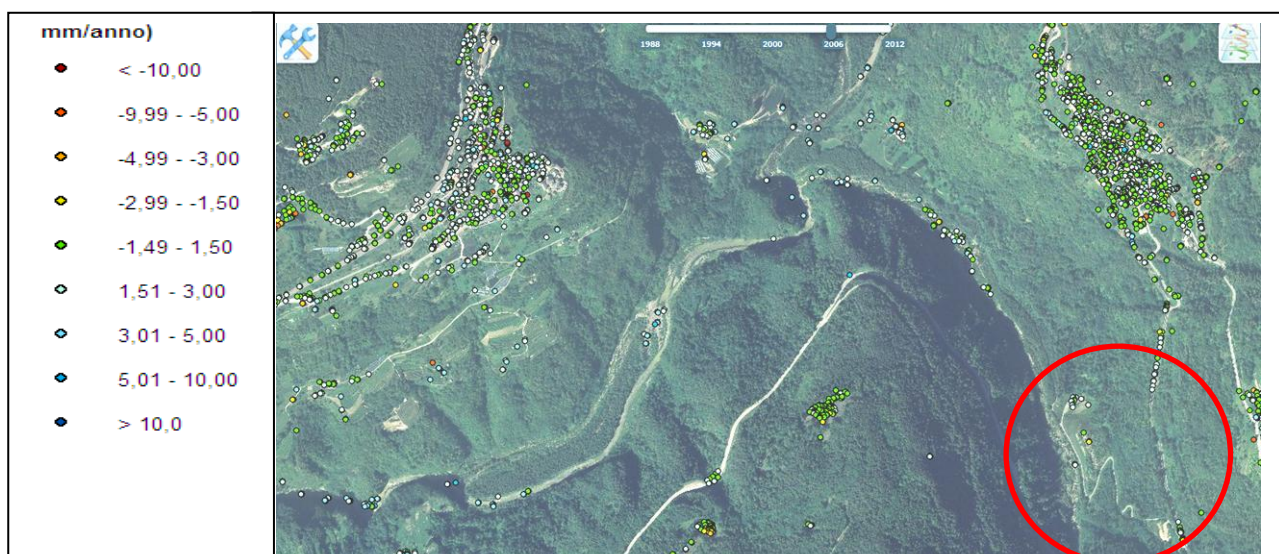
Evidenze (fessure di trazione e nicchie) ascrivibili al dissesto che coinvolge il tratto fra la strada provinciale ed il depuratore.



Letture inclinometriche (n° 348) del 2016 – 2017, che evidenziano la presenza di una superficie di taglio a circa 20 m di profondità.

Ancora da chiarire è, su questo tratto, il possibile effetto dei previsti interventi di capping della discarica di inerti esaurita.

Da citare la circostanza che nell'interferometria satellitare Cosmo SkyMed descending, sebbene vi siano alcuni segnali di deformazioni, non vi è un effettivo riscontro della situazione di dissesto descritta.



Geoportale Nazionale: Interferometria COSMO-SkyMed descending: i riflettori della zona evidenziano alcuni segnali deformativi.



- Analisi della pericolosità:

Il movimento della frana è di tipo lento, dell'ordine di circa 2 mm /anno, ma con possibili accelerazioni in occasione di periodi piovosi prolungati, come osservato in occasione dei sopralluoghi degli anni precedenti.

Si tratta di movimenti di grandi masse che, se non si sovrappongono scalzamenti per fenomeni idraulici, non appaiono di poter evolvere in colamenti rapidi, fenomeni che risultano maggiormente pericolosi per l'incolumità delle persone.

- Massimi effetti prevedibili:

Gli effetti massimi prevedibili causati dal processo deformativo in atto, nei confronti di una viabilità secondaria quale quella in esame (escludendo quindi i potenziali effetti su condutture o altri tipi di infrastrutture), sono di creare delle crepe e nicchie di deformazione al piano viabile, quali quelle già attualmente osservabili, e che non precludono, purchè sia attuata una periodica e tempestiva manutenzione stradale alle lesioni menzionate, la fruibilità della strada.

- Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare:

Il progetto non prevede alcuna opera sul tratto in esame, anche se è da prevedersi un aumento delle utenze nel caso si completi il collegamento stradale fino a Grumes. Da un lato quindi rimane valida la descrizione della vulnerabilità dell'infrastruttura riferita alla situazione attuale, mentre viene ad aumentare la platea delle utenze che devono confrontarsi con detta vulnerabilità.

- Definizione delle opere di messa in sicurezza:

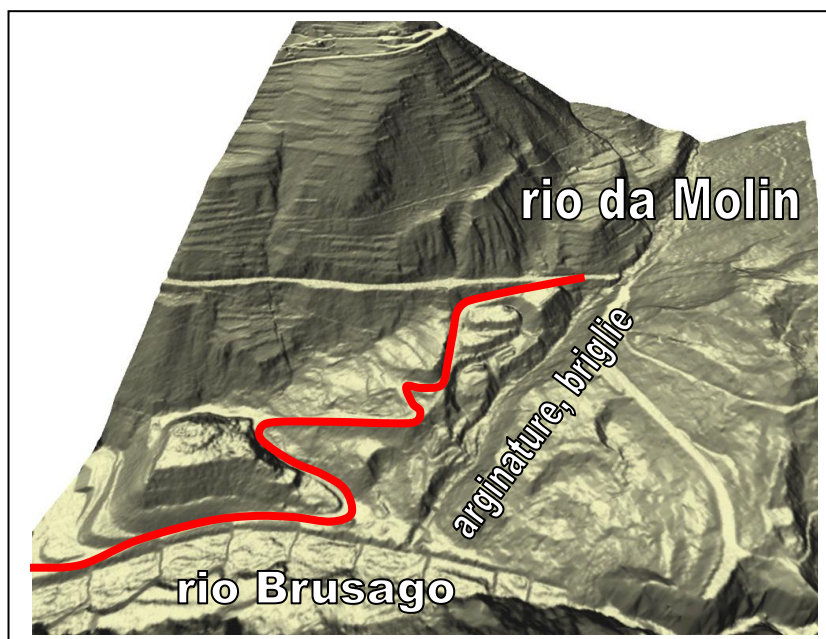
Rallentare o contrastare una frana con piano di taglio a 20 m di profondità -e nelle condizioni geologiche descritte- non è un compito che possa risolversi solamente con limitati interventi puntuali o localizzati.

L'ente gestore che ha già in carico questo tratto stradale esistente valuterà gli interventi più opportuni eventualmente da attuarsi: a seguire si forniscono delle proposte tipologiche di intervento che vengono fornite dallo scrivente, sulla base delle conoscenze geologiche acquisite, quali indicazioni utili per poter aumentare la sicurezza alle utenze di tale tratta stradale.

Questi interventi potranno comprendere anche l'attuazione di interventi di impermeabilizzazione della superficie della discarica di inerti, in modo da agevolare lo scolo delle acque meteoriche piuttosto che la loro infiltrazione in profondità, verso le zone basali della frana.

Altri interventi da citarsi sono la regimazione e allontanamento delle acque di piattaforma della strada provinciale e del versante ad esso soprastante.

Anche interventi idraulici sul Rio da Molin (a partire dalla strada provinciale e fino all'innesto sul Rio Brusago), quali arginature, briglie, ecc sono sicuramente interventi che, rinforzando il piede del versante instabile e prevenendo lo scalzamento idraulico, sono molto efficaci e quindi mitigatori della pericolosità idrogeologica.



Il tratto del Rio da Molin adiacente alla frana principale e che va rinforzato con arginature, briglie, ecc..

- Cronoprogramma opere:

Non essendo previste nuove opere nel tratto di interesse, ed essendo tale tratto già in gestione ai competenti enti, non vengono definite con dettaglio delle tempistiche di implementazione delle citate opere di mitigazione. Quello che si può affermare è che, se si vuole completare questo collegamento fra Sover e Grumes, l'implementazione di dette opere è ritenuto propedeutico e necessario, anche in vista dell'aumento di importanza e del carico di utenze che verrà a gravare su tale collegamento.

- Conclusioni:

Questo tratto di percorso insiste già su una strada asfaltata di interesse locale nonché di collegamento con il depuratore di Sover: sebbene le condizioni geologiche non siano di stabilità, i movimenti gravitativi sono di tipo lento, dell'ordine di 1 – 2 mm/anno in condizioni ordinarie.

Nell'ottica del potenziamento della strada attuale, che finora si è dimostrata compatibile alle funzioni svolte, è comunque sicuramente necessario che la situazione sia soggetta a monitoraggio e che avvengano regolarmente interventi di manutenzione ordinaria.

Fra gli interventi straordinari che possono risultare determinanti per mitigare la pericolosità, si citano l'impermeabilizzazione della discarica di inerti esaurita (capping), la regimazione delle acque del versante e di quelle della piattaforma stradale della strada provinciale e, ugualmente importante, il consolidamento idraulico del Rio da Molin, elemento che, qualora attivasse fenomeni erosivi parossistici, potrebbe scalzare ulteriormente la base del pendio.



3.2.2 Componente frane: zona depuratore – ponte sull’Avisio

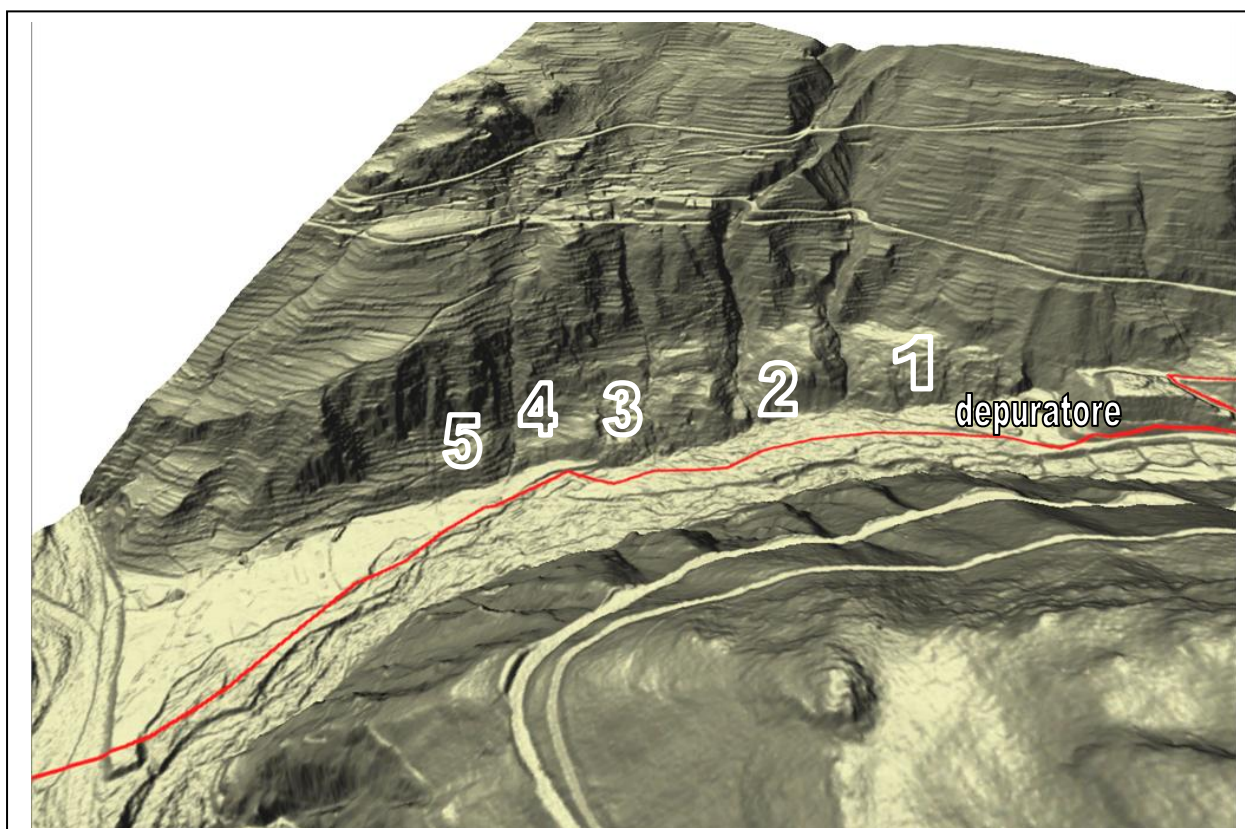
- Individuazione del tipo di fenomeno:

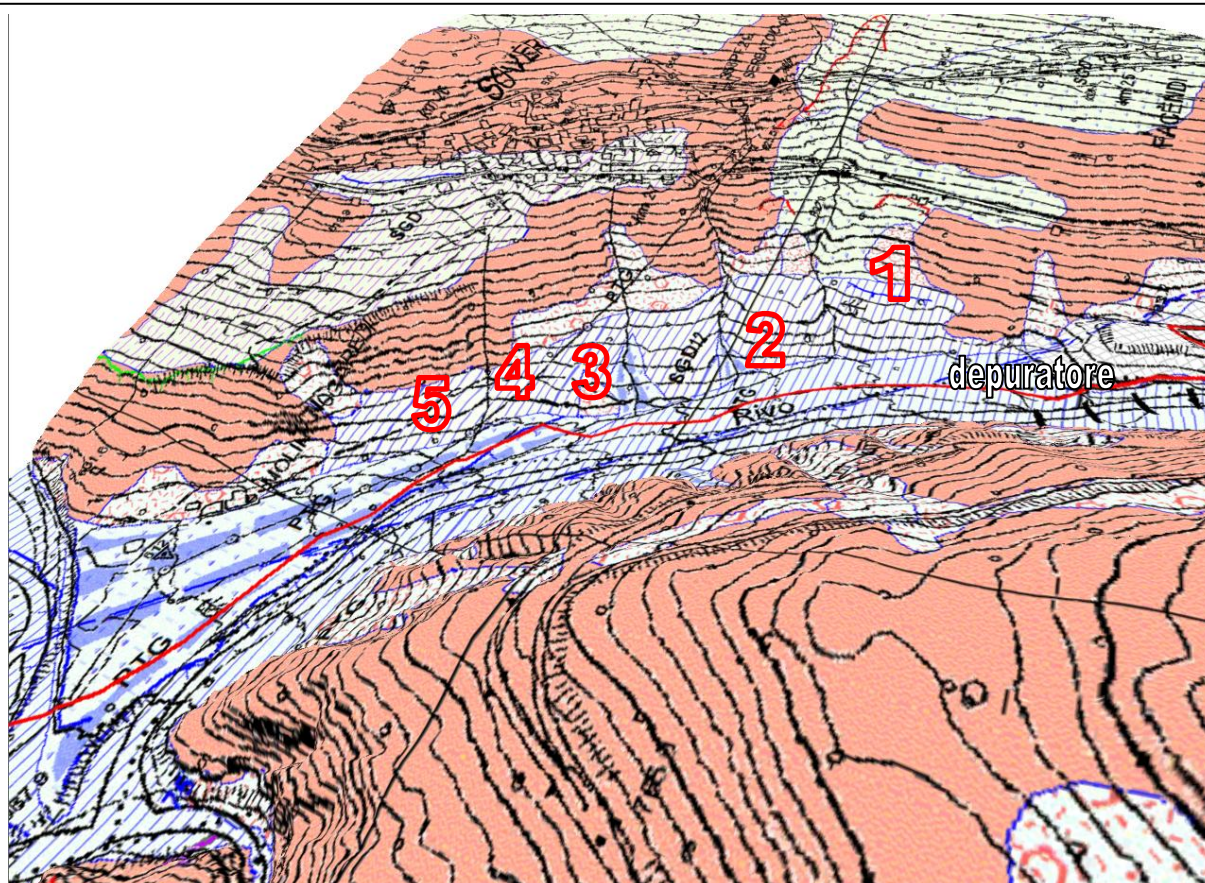
Tutto il settore fra il depuratore ed il Torrente Avisio, sulla Carta di Sintesi delle Pericolosità, è indicato come soggetto a pericolosità per frana: interessante notare che la maggior pericolosità per frana (pericolosità molto elevata) sia indicata sul fondovalle, mentre sul versante, a parte delle zone specifiche, la pericolosità sia indicata essere di grado inferiore, pur restando “elevata”.

Durante i sopralluoghi sono state effettivamente individuate delle condizioni di generale delicatezza del versante, molto acclive, che risulta geomorfologicamente interrotto da un evidente terrazzamento la cui litologia viene definita “Deposito alluvionale fluvioglaciale, SINTEMI: SGD12 - SINTEMA DEL GARDA - Subsintema di Lisignago”.

Sulla parte alta del versante vi sono delle nicchie erosive regressive di raccordo al terrazzamento su cui sorge il paese di Sover, mentre altre evidenze sono variamente distribuite anche sulla parte inferiore del versante, sia alla base che al raccordo con il terrazzamento intermedio: una prima zona in dissesto è stata individuata già a partire immediatamente a ridosso del depuratore (frana 1):

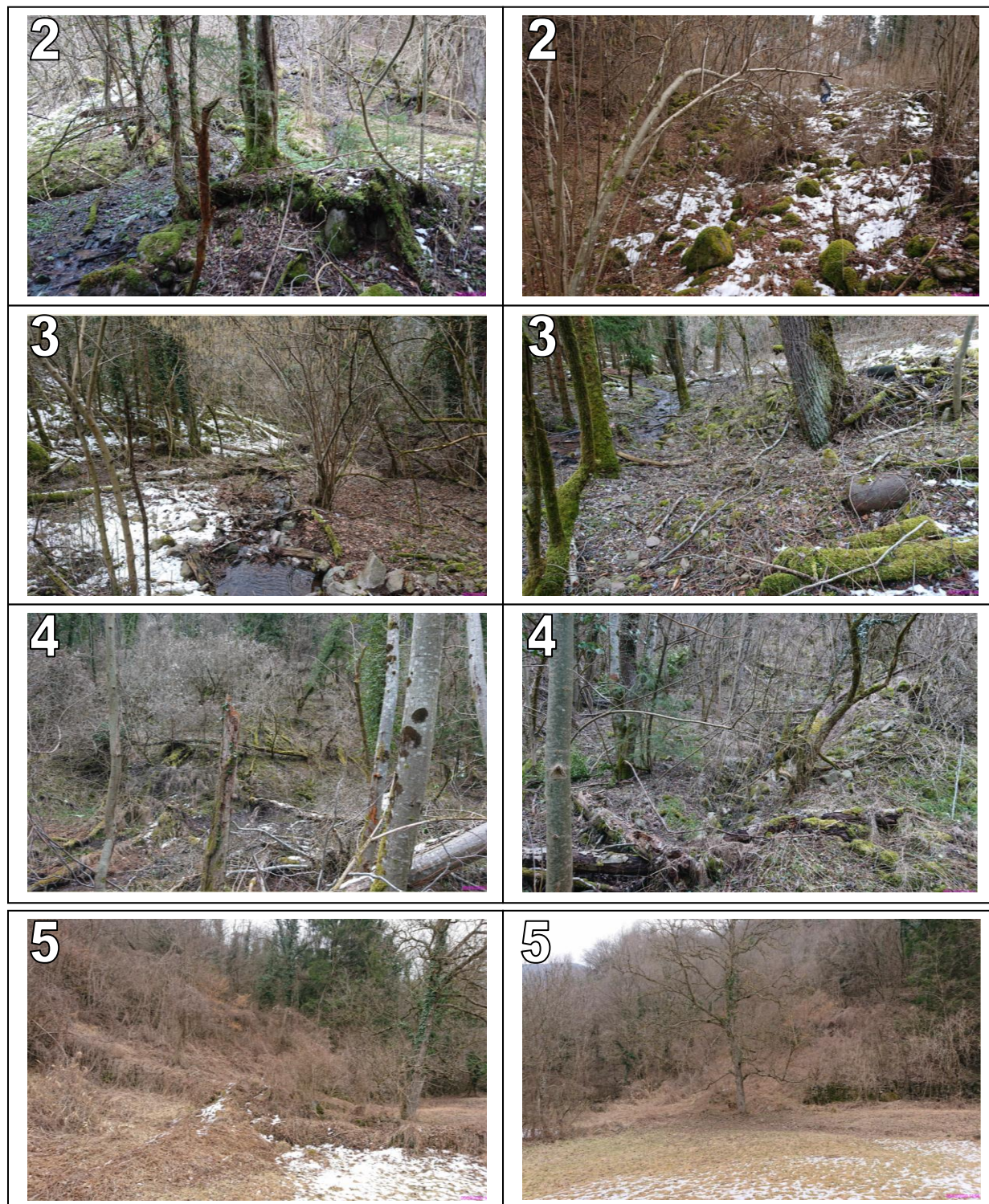
Si rinvia al capitolo della compatibilità idraulica per quanto riguarda la discussione sulle potenziali interferenze fra la viabilità ed i fenomeni torrentizi potenzialmente innescati lungo le piccole incisioni che scendono da Sover verso il fondovalle.





Indicazione delle principali situazioni di dissesto rilevate nella parte inferiore del versante: sopra su base Lidar, sotto su base della Carta Geologica, Servizio Geologico PAT. I numeri dei dissesti si riferiscono alle foto a seguire.





La frana 1 appare la più estesa e strutturata, con evidente zona di dissesto e di accumulo: le frane da 2 a 4 sono più limitate, con piccoli scoscendimenti sul versante e piccoli accumuli di macereto verso la base del pendio.

La frana 4 coinvolge anche il conoide di un piccolo rivo proveniente dal versante: il piccolo conoide appare infatti costituito da materiale piuttosto fine, con fenomeni di creep al piede, dove vi sono delle scaturigini idriche.

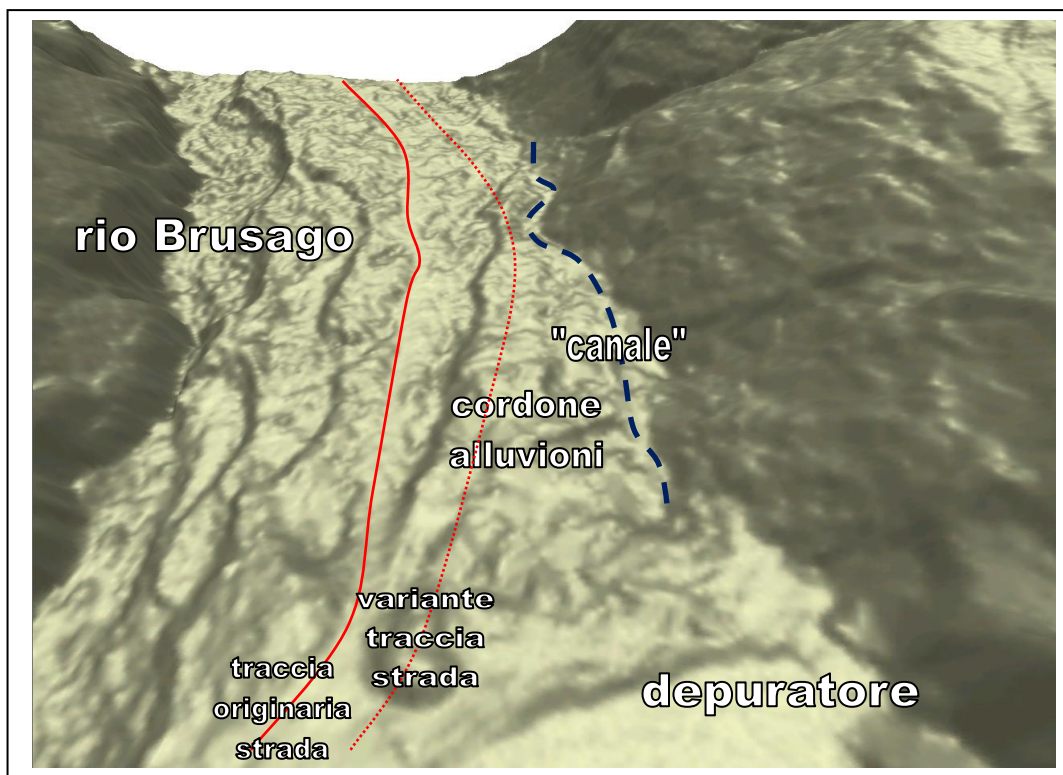
La frana 5 è più piccola delle precedenti e tuttavia ha coinvolto, spostandoli e deformandoli, anche dei muretti a secco presenti sul versante.



Tutte le frane descritte appaiono essere attivate non soltanto dall'acclività, quanto anche e soprattutto dalla presenza di risorgenze idriche: le frane 2, 3 e 4 sono prossime o coincidenti a piccole incisioni, lungo le quali sono presenti anche dei materiali antropici, costituiti sia da riporti e sterri e sia anche da rifiuti, trasportati dalla zona del paese di Sover verso il fondovalle.

- Analisi della pericolosità:

Per tutte le frane indicate è interessante notare come il loro piede sul fondovalle sia posto in corrispondenza di una sorta di avvallamento interposto fra il versante e le alluvioni di fondovalle. Questo avvallamento costituisce un "canale" venutosi a creare per la presenza di un netto cordone di colata costituito da materiale alluvionale molto grossolano, evidentemente depositato dal Rio Brusago in occasione di precedenti eventi parossistici (si ritiene verosimilmente riferibili all'alluvione del 1882).



Di fatto i materiali dei dissesti per frana citati, per via della presenza di detto "canale" non hanno alcuna possibilità di arrivare fino in corrispondenza del tracciato stradale in esame.

A riguardo si veda anche quanto indicato per la componente idraulica della pericolosità derivante dalle piccole incisioni presenti fra il fondovalle ed il paese di Sover: le verifiche idrauliche, si ricorda, hanno dimostrato, che gli stessi eventi di colata, che hanno possibilità di mobilitare in forma di colate anche i materiali delle frane presenti in corrispondenza di detti impluvi, non possono arrivare ad interessare la viabilità in esame, ancorchè essa venga spostata (per mitigare la pericolosità derivante dal Rio Brusago) dalla posizione inizialmente prevista sino alla sommità del citato argine alluvionale.

- Massimi effetti prevedibili:

Sebbene i dissesti descritti possano evolversi con regressione dell'erosione ed ulteriori deformazioni localizzate sul versante, si conclude che tali fenomeni non



possano arrivare ad influenzare la viabilità in esame, che risulta separata dal versante per la presenza del citato avvallamento.

- Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare:

Conseguentemente a quanto sopra, non si è riscontrata una reale vulnerabilità, nei confronti di detti fenomeni franosi, nei riguardi della viabilità in esame.

- Definizione delle opere di messa in sicurezza:

La conseguenza di tale affermazione è che non si ravvisa la necessità di predisporre delle specifiche opere, ulteriori a quelle già previste per mitigare la componente idraulica della pericolosità -da colata- di messa in sicurezza dalle frane del versante sotto Sover.

- Cronoprogramma opere:

Non essendo ritenute necessarie delle specifiche opere di compatibilizzazione per la messa in sicurezza di tali fenomeni, non si applica questo aspetto.

- Conclusioni:

Il settore del tracciato stradale in esame interposto fra il depuratore ed il ponte sull'Avisio, pur risultando sul fondovalle, non è interessato dalle conseguenze dei dissesti per frana individuati sul versante ed alla base dello stesso, per via della presenza di un avvallamento che lo separa dalla base del versante: restano certamente valide le opere di difesa previste per la componente idraulica.

3.2.3 Componente frane: zona fra il ponte sull'Avisio e Maso Rio

- Individuazione del tipo di fenomeno:

Sulla sponda destra (N) dell'Avisio il tracciato in esame deve superare un tratto che presenta delle notevoli difficoltà geologiche e geomorfologiche, sia per dissesti attuali – vedasi foto a seguire - che potenziali.





In particolare, fra la spalla rocciosa del ponte ed il tornante che sale a Maso Rio, vi è stato uno smottamento, verosimilmente attivato dall'erosione di un argine al piede operata dal T. Avisio, che ha coinvolto anche una parte del versante soprastante.

Sulla parte alta del dissesto sono visibili delle opere di rinforzo, quali un cordolo in cls (verosimilmente con fondazioni profonde), dei rimodellamenti coticali e delle tubazioni di drenaggio.

Il tracciato in esame dovrebbe passare proprio in posizione arginale, a metà strada fra il torrente e l'apice della nicchia: in questa posizione è visibile un cambio litologico: in alto si notano prevalenti sabbie e ghiaie, mentre dal tracciolo esistente verso il basso si notano terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso – limosi.

- Analisi della pericolosità:

Il fenomeno erosivo è sicuramente attivo, come dimostrato da nicchie e fessure di trazione laterali rispetto alla nicchia principale: il versante soprastante, al momento, non presenta evidenze di deformazioni. La situazione è comunque in evoluzione e non consente di realizzare il tracciato se non dopo la stabilizzazione completa del dissesto.

- Massimi effetti prevedibili:

Se non contrastati, infatti, i fenomeni di dissesto ed erosione osservati possono ampliarsi regressivamente e lateralmente fino all'asportazione di un ampio settore di argine e fino a dar luogo a fenomeni di erosione regressiva in grado di risalire ulteriormente sul versante. Tali fenomeni porterebbero alla completa rovina di un tracciato realizzato sul versante non risanato.

- Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare:

Una viabilità impostata in questo tratto risulterebbe di difficile realizzazione e finirebbe inevitabilmente asportata dal procedere dei fenomeni di dissesto, in particolare erosivi, ma anche di richiamo gravitativo a partire dalla nicchia arginale esistente.

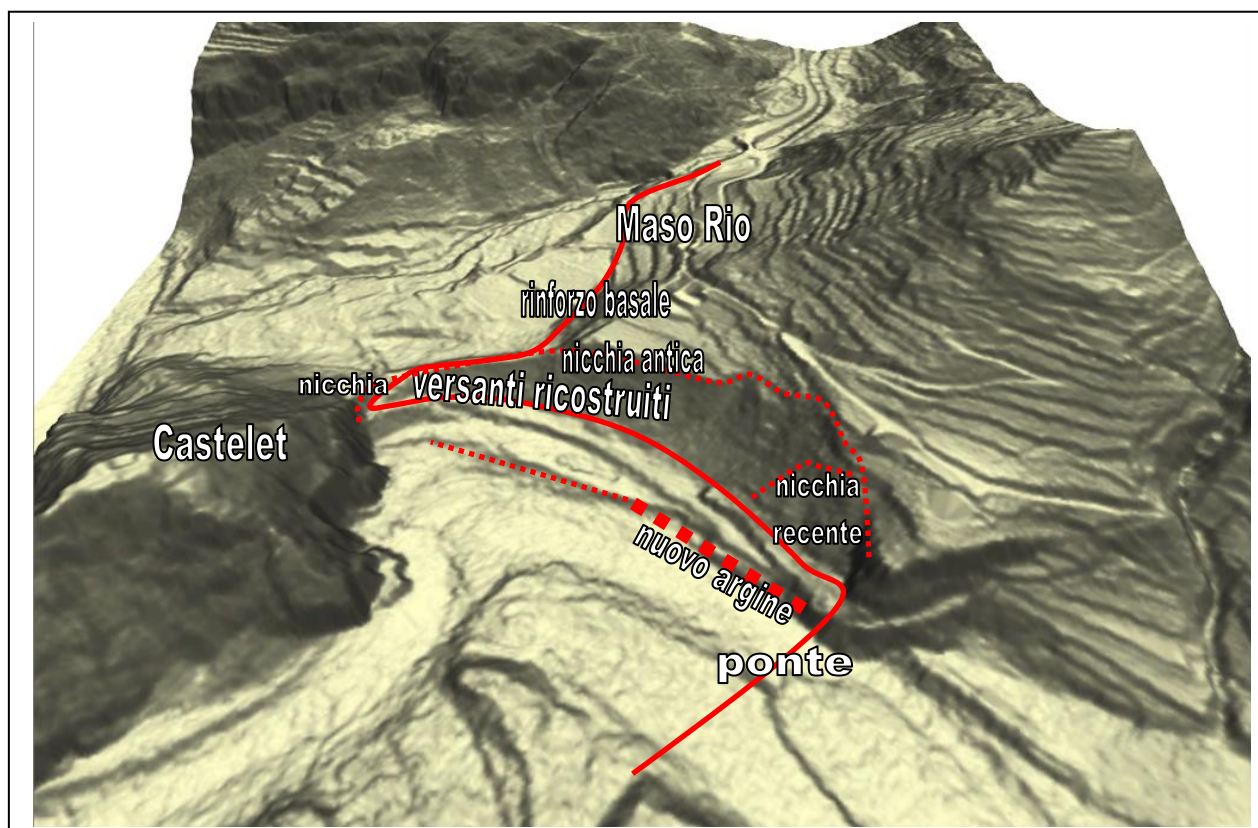
- Definizione delle opere di messa in sicurezza:

Per rendere compatibile il tracciato in esame vanno previsti interventi di mitigazione piuttosto importanti:

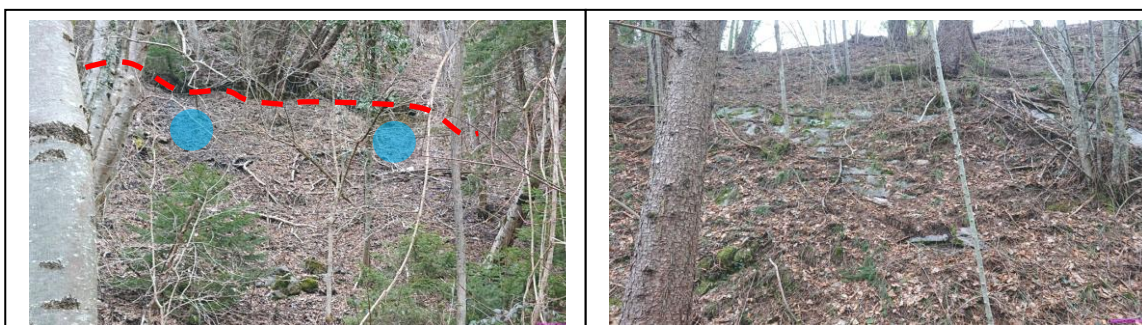
- ricostruire un argine che, a partire dall'affioramento sotto la spalla del ponte, prosegua per almeno 50 metri verso il rilievo del Castelet, dove la corrente del T. Avisio è forzata a compiere una inversione di direzione a causa del sovralluvionamento della sua incisione originaria: per una completa sicurezza idraulica tale arginatura andrebbe estesa fino al rilievo del Castelet.

Il nuovo argine dovrà essere fondato in profondità (pali) per evitare ulteriori fenomeni di scalzamento: questo argine dovrà aver altezza fino alla quota del tracciolo esistente, quota sulla quale impostare poi il tracciato stradale in esame.

Per consolidare il versante soprastante, già oggetto di interventi di rinforzo, ma che pare opportuno integrare, si raccomanda di utilizzare una rete metallica in aderenza, rinforzata con funi ancorate con chiodature o barre autoproforanti.



In nessun caso per la realizzazione del tracciato si dovrà adottare la tecnica “a mezza costa” che comporti di incidere il versante: in varie posizioni del versante fra il ponte ed il tornante sotto al “Castelet” vi sono infatti tracce di piccole nicchie, anche con zone di risorgenza di umidità e filtrazioni. Sempre in questa zona si nota come il rilevato che unisce il Castelet a Maso Rio sia stato rinforzato, verso valle, con un rivestimento di corazzatura in pietrame.



Piccole nicchie e scaturigini di filtrazioni fra il ponte e il Castelet: intervento di rivestimento in pietrame della scarpata.

Il nuovo tracciato, anche sotto Maso Rio, dovrà essere realizzato consolidando la base di appoggio con un piccolo rilevato, sul quale si potrà impostare la strada: tale intervento potrà rafforzare la scarpata sottostante il parcheggio di attestamento posto a fianco di Maso Rio, che presenta blandi segnali di deformazione. Infine anche il tratto di raccordo fra la strada asfaltata ed il nuovo tracciato presenta piccoli segni di deformazione, attribuibili ad ammaloramento dei muri a secco esistenti: sarà necessario ricostruire tali opere.



Posizione del nuovo tracciato nella zona sotto Maso Rio.

- Cronoprogramma opere:

Tutte le descritte opere di compatibilizzazione e rinforzo dovranno essere contestuali alla realizzazione del collegamento stradale in esame.

- Conclusioni:

Sulla sponda destra idrografica del T. Avisio il tracciato dovrà essere realizzato ricostruendo (con fondazioni profonde oltre la quota di possibile scalzamento) un tratto di argine eroso e che presenta anche fenomeni di erosione regressiva che risalgono il versante. Lo stesso versante dovrà essere rinforzato con reti in aderenza: la zona sotto Maso Rio dovrà essere preparata compattando un piccolo rilevato di rinforzo e riammodernando delle opere a secco che sostengono sia il versante del parcheggio sia il raccordo con la strada asphaltata comunale esistente.

Attuando tali interventi, che risaneranno anche una situazione di pericolosità che è in evoluzione geomorfologica, si potrà ottenere la mitigazione della pericolosità e quindi ottenere la compatibilità dell'inserimento del tracciato stradale in esame.

3.2.4 Componente frane: zona sotto Grumes

- Individuazione del tipo di fenomeno:

Il versante sottostante a Grumes presenta almeno due tipologie di fenomeni di frana: verso N vi è una vallecola con presenza di depositi sciolti a matrice anche fine, mentre nel settore centrale vi sono accumuli di detriti e blocchi rocciosi costituenti un antico macereto di corpo di frana in roccia.

Si tenga tuttavia presente che qui il tracciato in esame coincide con la viabilità comunale e che pertanto non sono previste nuove opere di tipo stradale.

La vallecola verso N, sede di evidenti fenomeni franosi, è già stata oggetto di interventi di risanamento comportanti anche la regolarizzazione dello scolo delle acque: anche il tracciato della strada comunale è stato deviato in modo che non passi più sotto lo sbocco di tale vallecola.



Circa la compatibilità idraulica fra questo rivo e la strada in esame si rinvia al capitolo dedicato, dove si conclude con l'opportunità di rinforzare (alzare) la parte inferiore dell'argine destro.

Subito a Sud di tale nicchia vi è una seconda ampia vallecola, questa direttamente incombenente sulla strada comunale esistente: anch'essa presenta, alla sommità di raccordo con il paese di Grumes (ove sono presenti evidenze di scarico di materiali vari) delle evidenze di blande deformazioni gravitative, di tipo creep.

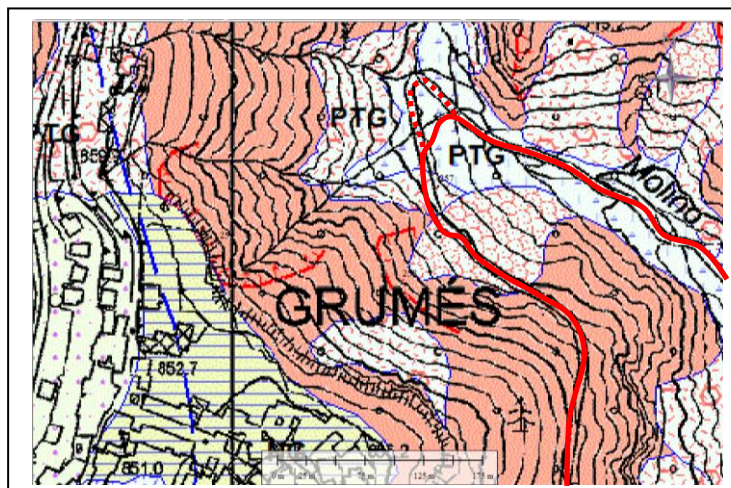


Blande evidenze di creep; scarico di materiali vari sulla scarpata.



Questa nicchia presenta minori deformazioni in quanto, a partire dalla rottura di pendenza, vi sono estesi affioramenti delle rocce permiane eruttive del Gruppo Vulcanico Atesino (porfido), F. di Ora.

Risulta evidente che la parte inferiore del pendio è interamente ricoperta dal materiale franato da tali affioramenti sommitali, con formazione di accumuli di macereto in corrispondenza e sotto alla viabilità in esame.



Carta Geologica PAT: il tracciato attraversa l'accumulo di frana.

- Analisi della pericolosità:

Come meglio descritto nell'apposito capitolo, il dissesto più rilevante nei confronti della sottostante viabilità non è tanto il richiamo erosivo della copertura, quanto piuttosto è rappresentato dai fenomeni di crollo e rotolamento dei massi porfirici disarticolati degli affioramenti.

Anche a quote più basse si sono notati dei fenomeni di erosione sui materiali precedentemente franati: tali fenomeni hanno scala ridotta e verranno ricompresi nella discussione della tematica del crollo.



Erosioni nel materiale di frana presente sul pendio: più che franamenti in massa, tali fenomeni danno origine a rotolamenti.

- Massimi effetti prevedibili:

Gli effetti massimi prevedibili causati dal processo di franamento sommitale e di erosione sul pendio sono riferibili a volumetrie limitate, il cui contenimento viene demandato alle opere di prevenzione da crollo, di seguito esposte.



- Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare:

Il tracciato della sottostante strada è più verosimile che venga coinvolto da fenomeni di crollo di singoli elementi piuttosto che dall'arrivo di masse di terreno in frana.

- Definizione delle opere di messa in sicurezza:

Per prevenire l'espandersi del processo indicato sono possibili sia interventi attivi, di prevenzione, e sia interventi passivi, di contenimento: fra i primi si cita il controllo dello sgrondo delle acque provenienti dall'abitato di Grumes ed anche il controllo degli scarichi di materiali che vanno a sovraccaricare i cigli della nicchia.

Molto efficaci risultano poi i sistemi di contenimento passivi (tipo paramassi) per i crolli, opere in grado di contenere anche dell'eventuale materiale di frana.

In ogni caso si ricorda che la strada è già attualmente esistente per cui spetta a chi ne ha la gestione di decidere sugli interventi di messa in sicurezza che sono stati indicati.

- Cronoprogramma opere:

Ricordando che si tratta di opere a protezione di una viabilità già esistente e soggetta a gestione di apposite strutture tecniche, si demanda a tali competenti uffici la programmazione degli interventi.

Quello che lo scrivente può contribuire a chiarire è che le erosioni sul pendio possono mobilitare degli elementi in grado di impattare sulla viabilità pubblica e che pertanto, nel rispetto delle funzioni tecniche, è sicuramente necessario preventivare delle azioni correttive per mitigare la pericolosità riconosciuta, specialmente nell'ottica del potenziamento stradale in esame e che comporterà un aumento delle utenze.

- Conclusioni:

Si è riconosciuta la presenza di fenomeni di frana sul pendio soprastante la viabilità in esame: tali fenomeni possono generare interferenza con la fruizione della strada sottostante, della quale si esamina una proposta di potenziamento.

Sono state quindi descritte, quale contributo all'ente gestore che ha in carico la strada, delle azioni di mitigazione della pericolosità, quali il controllo e regimazione dello sgrondo delle acque del paese, la prevenzione di ulteriori scarichi di materiale alla sommità e la predisposizione di opere paramassi di protezione della viabilità esistente.



3.3 Componente crolli

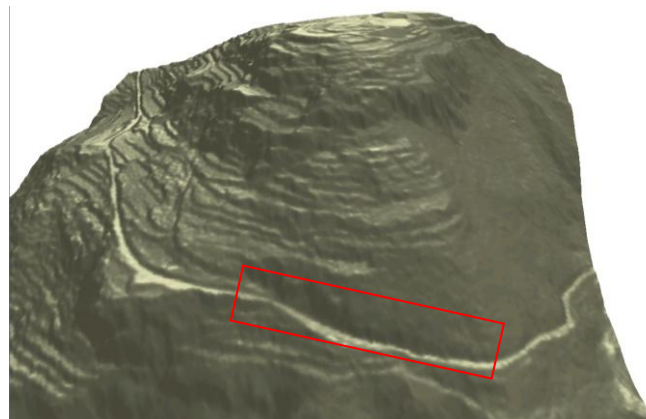
Lungo il tracciato in esame si sono riscontrati dei settori soggetti a vari gradi di pericolo per crollo: il settore di maggior interesse a riguardo è quello fra Maso Rio e Grumes, tratto che a seguire viene analizzato in dettaglio.

Altre zone potenzialmente soggette a crollo, secondo la Carta di Sintesi della Pericolosità, sono nel tratto che scende dalla strada provinciale a Sover fino al depuratore, un tratto sotto al paese di Sover, la spalla destra del ponte sull'Avisio ed il tornante presso il rilievo del Castelet.

3.3.1 Componente crolli: versante sotto Grumes

- Individuazione del tipo di fenomeno:

Scendendo da Grumes, inizialmente la pericolosità da crollo è limitata alla sola cicatrice di scasso realizzata per incassare la strada esistente nel versante.





Proseguendo con i rilievi si è verificato che esiste un intero costone costellato di massi più o meno instabili con, alla sommità, ulteriori sorgenti di crollo dovute ad affioramenti rocciosi disarticolati.



**- Analisi della pericolosità:**

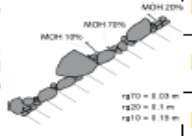
Utilizzando il rilievo PAT LIDaR quale base topografica, si è inizialmente ricostruito il modello numerico del versante: date le dimensioni del problema da analizzare si è scelto di utilizzare i dati con precisione di 1 metro, cioè generando una griglia di punti con maglia quadrata di 1 x 1 m cui associare le varie caratteristiche geomorfologiche e geologiche del modello (attributi).

Oltre ad annotare le posizioni dei potenziali punti sorgente si è preso nota delle loro dimensioni e delle caratteristiche morfologiche del terreno del versante (es. rugosità), della presenza di vegetazione, del tipo di suolo, ecc..

Per raccogliere le informazioni necessarie, in campagna si è pertanto rilevato tenendo sempre registrati tutti i dati di input necessari alla definizione dei parametri richiesti dal programma.

A seguire si riporta una scheda – tipo, utilizzata in campagna che esemplifica le registrazioni dei dati eseguite.

Tabella 1: Osservazioni di campo per le simulazioni con Rockyfor3D

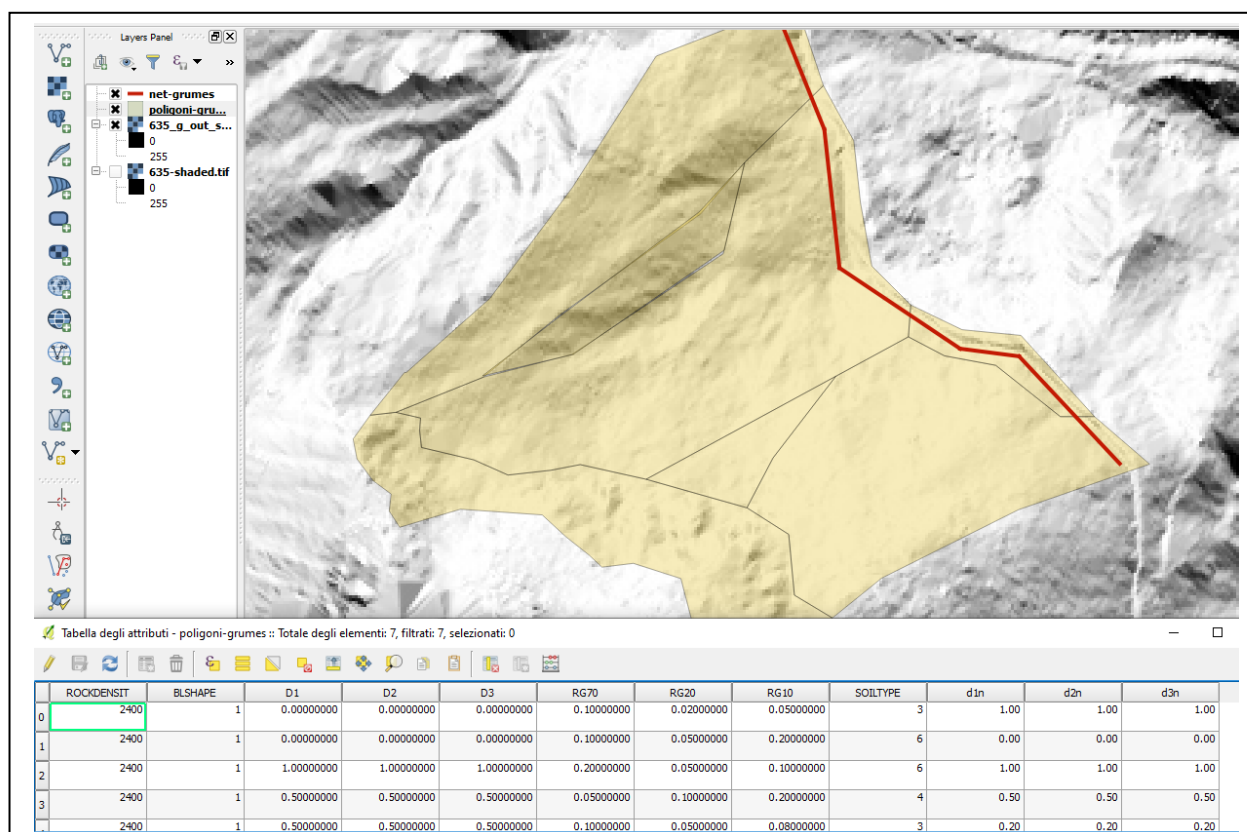
Informazioni generali						
Data*		Nr. Poligono*		* ogni poligono rappresenta un'unità omogenea; dimensione dipende dalla scala di mappatura		
Sito*		Inclinazione*	(° / %)			
Nome*		Zona di:*	☐ stacco ☐ transito ☐ deposito			
Caratteristiche del poligono						
1. Caratteristiche del blocco (depositato nel poligono o potenzialmente caduta dalla zona di stacco)						
Forma del Blocco	☐ 1. blocco parallelepipedo ☐ 2. blocco ellissoidale ☐ 3. blocco sferico ☐ 4. blocco discoidale					
Dimensioni del blocco (d1, d2, d3): (m) x (m) x (m)						
Densità (kg.m ⁻³):						
2. Tipo di suolo						
Suolo	☐ Fiume; palude; materiale in cui un masso potrebbe penetrare completamente	☐ Materiale fine (spessore > ~100 cm)	☐ Materiale fine (spessore < ~100 cm) / sabbia/ghiaia a mista	☐ Detrito di falda (Ø < ~10 cm); suolo compatto medio con piccoli massi; strade forestali	☐ Detrito di versante (Ø > ~10 cm); o suolo compatto con grandi massi	☐ Substrato roccioso con materiale fine di degradazione meteorica
(soiltype) Valori per Rockyfor3D	0	1	2	3	4	5 6 7
3. Scabrezza della superficie inclinata						
MOH: altezza di un ostacolo (MOH) rappresentativa per il 70%, 20% e 10% della superficie senza una zona omogenea sul pendio. Il parametro deve essere misurato guardando il pendio verso valle, nella direzione di discesa del masso. 				MOH 70% della superficie (rg70)	0 - 100 (m)	
				MOH 20% della superficie (rg20)	0 - 100 (m)	
				MOH 10% della superficie (rg10)	0 - 100 (m)	
Lying tree stems*	Altezza media=		m	Area covered =		%
4. Foresta*						
Superficie di interpretazione: m x m						
DPU* (cm)	* DPU: Diametro medio a petto d'uomo Registrare tutti i DPU ≥ 5 cm misurato nella superficie di interpretazione: p.e., 8, 31, 17, 13, ...					
Densità alberi / ha						
DPU medio (cm)						
Deviaz. std. DPU (cm)			Conifere (%)			
Specie*						
5. Indicatori di attività di caduta massi*						
nr. d'impatti sugli alberi*			altezza d'impatti sugli alberi (m)*			
profondità d'impatto (m)*			recenti blocchi depositate in poligono*		si / no	
6. Commenti / schizzo*						

Scheda di campagna utilizzata per il rilevamento geologico.



Queste informazioni sono state ordinate in apposito ambiente GIS (utilizzato il software QGIS ®) generando uno shape file contenente tutte queste - ed altre - caratteristiche delle aree di interesse.

Come detto, l'areale sorgente potenziale dei crolli non si è limitato alla parete dello scasso stradale, ma è stato esteso fino alle parete posta ancora più in alto, presso le case di Grumes.



Modello numerico del versante per le verifiche di rotolamento massi: indicate le aree e gli attributi associati a ciascun poligono.

Per la simulazione delle traiettorie di rotolamento dei massi lungo il versante si è utilizzato uno specifico programma – Rocky for 3D (Rockyfor3D_v52_14-install2020) - messo a punto da Ecorisq.org.

Si tratta di un programma di recente concezione, utilizzato anche presso il Servizio Geologico della PAT, che fornisce ottimi riscontri fra le simulazioni e la realtà oggettiva di campagna.

Tabella 2: Tipi di suolo da Rockyfor3D e relativi valori di R_n

Tipo di suolo	Descrizione generale del suolo	R_n valori medi	R_n intervallo di valori
0	Fiume, o palude, o materiale in cui un masso potrebbe penetrare completamente	0	0
1	Materiale fine (spessore > ~100 cm)	0,23	0,21 - 0,25
2	Materiale fine fluviale (spessore < ~100 cm) o sabbia/ghiaia mista	0,28	0,25 - 0,31
3	Detrito di falda ($\varnothing$ < ~10 cm); o suolo compatto medio con piccoli massi; o strade forestali	0,33	0,30 - 0,36
4	Detrito di versante ($\varnothing$ > ~10 cm); o suolo compatto con grandi massi	0,38	0,34 - 0,42
5	Substrato roccioso con materiale fine di degradazione meteorica	0,43	0,39 - 0,47
6	Substrato roccioso	0,53	0,48 - 0,58
7	Strade asfaltate	0,35	0,32 - 0,39



Valori di scabrezza superficiale (MOH)	Valori possibili per Rg (m)
scabrezza nulla, assenza di ostacoli	0
> 0 – 10 cm	0,03, 0,05, 0,08, 0,1
> 10 – 50 cm	0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4, 0,5
> 50 cm – 1 m	0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1
> 1 – 2,5 m	1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 2, 2,5
> 2,5 – 10 m	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
> 10 m	100

Valori tabellati di alcuni dei parametri necessari per l'utilizzo del codice utilizzato. Tab. 2 = tipi di suolo; sotto valori di rugosità e coeff. di restituzione dell'energia.

Per eseguire le simulazioni di caduta massi con la definizione delle varie traiettorie, questo codice necessita della preparazione preliminare di numerosi elaborati, che elenchiamo di seguito:

- 1 griglia con il modello digitale del terreno:
si è utilizzato il rilievo Lidar PAT (DTM con precisione 1 x 1m) ritagliando la zona di interesse.
- 1 griglia con il peso di volume dei diversi litotipi:
l'area di interesse è stata suddivisa in varie sotto-aree litologicamente omogenee e per ciascuna area i valori sono stati definiti sulla base dei rilievi di campagna e sulla scorta anche dei dati di letteratura specializzata.
- 1 griglia con la tipologia geometrica dei massi:
la scelta della forma dei massi (prisma a 3 assi) deriva dalle osservazioni di campagna sui massi già rotolati e dalle indicazioni ottenute dallo studio delle fratturazioni dei punti sorgente individuati sulle pareti rocciose soprastanti.
- 3 griglie con le dimensioni degli assi del masso di progetto:
anche in questo caso i parametri utilizzati sono stati definiti in funzione dei rilievi sui massi e sulle pareti rocciose con frammenti pericolanti: si sono così suddivise numerose aree caratterizzate da volumetrie di massi specifiche per ciascuna sotto-area. il programma consente poi anche di aumentare e diminuire fino al 50%, in modo statisticamente casuale, delle dimensioni dei 3 assi dei massi di progetto.
- 3 griglie con la definizione della "rugosità" del terreno:
duranti i rilievi di campagna, particolarmente alla base delle pareti rocciose, ma non solo, si sono definiti, traguardando il pendio verso il basso, i parametri delle asperità che i massi incontreranno rotolando lungo il pendio e suddividendo il pendio in zone ad asperità omogenea.
- 1 griglia con la definizione del tipo di sottosuolo:
per tale elaborato ci si è basati principalmente sulle osservazioni di campagna, ma si sono anche scavati dei piccoli pozzetti, con piccone, per verificare se la copertura humica mascherasse tipologie di suoli diverse da quelle direttamente osservabili in superficie.



Si sono predisposte tutte le griglie sopra elencate (con codici Grass e Saga si è eseguita la conversione da raster a griglia vettoriale) e poi si sono definiti anche gli altri parametri necessari alle simulazioni (fra parentesi è il parametro utilizzato):

- numero di massi lasciati rotolare da ogni cella 1 x 1 m sorgente (10)
- possibile variazione % del volume dei massi (50%)
- altezza iniziale (velocità) di caduta dei massi (0)

Circa la scelta delle dimensioni del masso di progetto si è fatto riferimento a quanto osservato sulla parete rocciosa e sul pendio dove si sono osservati i massi già precipitati nel passato.

Altra considerazione è relativa ai massi osservati nella zona del macereto compresa fra la curva a tornante della strada che scende a Maso Rio: vi sono massi anche di dimensioni superiori a 2 – 3 m³.

Nelle simulazioni si è preferito non inserire volumi dei massi paragonabili a quelli più grandi osservati: si è infatti considerato che:

- il crollo principale, verosimilmente avvenuto in fase di deglaciazione, ha di fatto ridotto la disponibilità di elementi maggiori ancora instabili,

- si è inoltre ipotizzato che alcune situazioni particolari dei blocchi instabili più grandi presenti sulle pareti rocciose sommitali – la cui estensione è tutto sommato limitata - siano soggette ad interventi di consolidamento, in modo di ridurre la volumetria dei blocchi che possono crollare e rotolare.

- inoltre si è considerato anche che, sulla parete e sullo stesso pendio detritico, avvengano operazioni di disaggancio preliminari, in modo di ridurre la probabilità di innesco di rotolamenti non controllati.

Con questi assunti iniziali il codice - programma ha generato 296.420 massi aventi dimensioni da 0.007 a 1.5 m³ con lati da 1.0 a 1.5 m che sono stati lasciati rotolare lungo il pendio partendo, in numero di 10, da ogni cella di 1 m² presente sul versante.

```
simulation settings:
- rock volume variation = +/- 50
- nr. of simulations per source cell = 10
- nr. of simulated falling rocks (total nr. simulations) = 296420
- additional initial fallheight = 0.000000 m
- Simulation without forest and with nets

Overall simulated block volumes:
- min = 0.007000 m3
- mean = 0.489000 m3
- max = 1.500000 m3

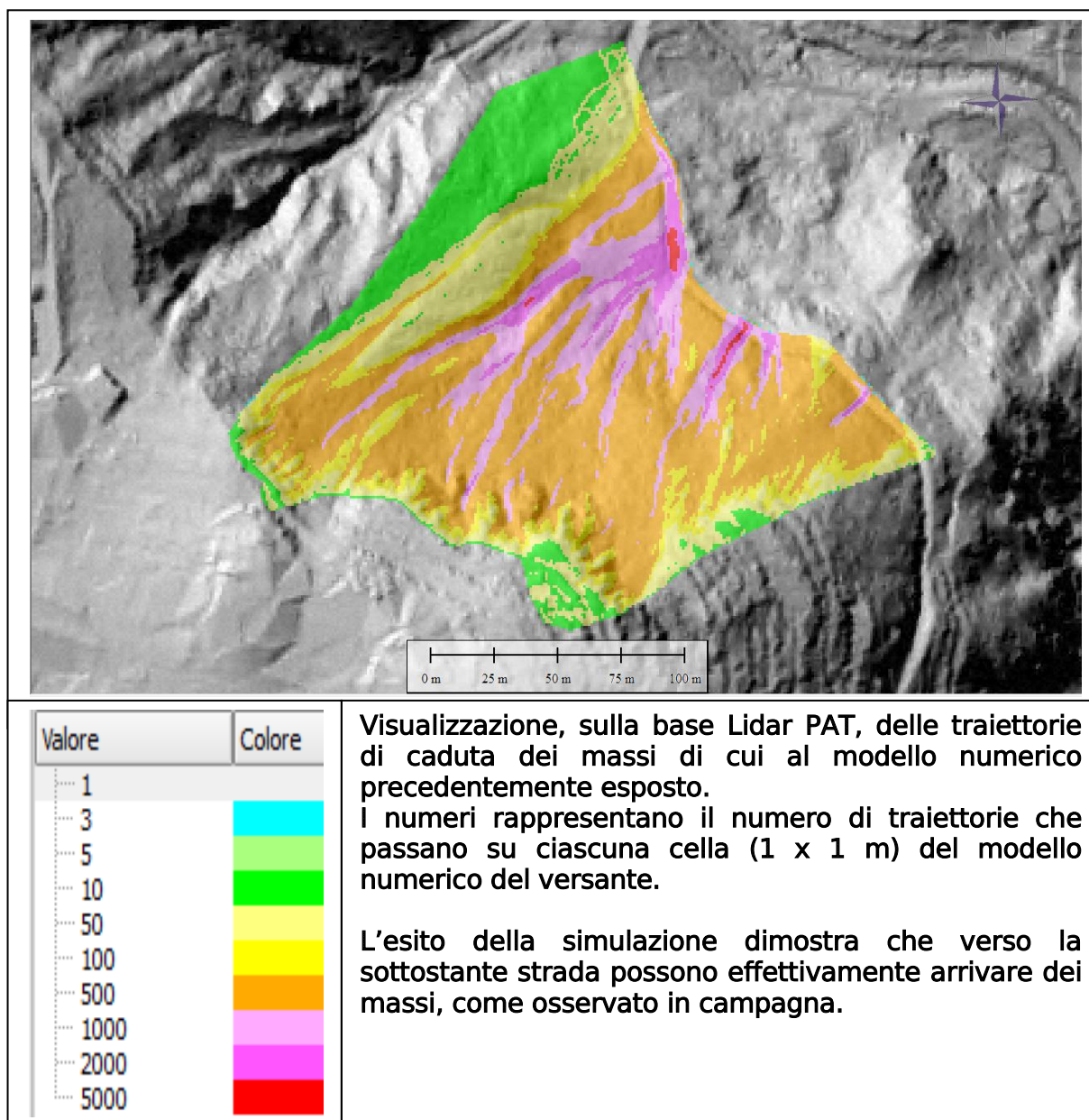
Overall simulated energy values:
- maximum of the mean energy values = 622.500000 kj
- maximum energy value = 1338.500000 kj
```

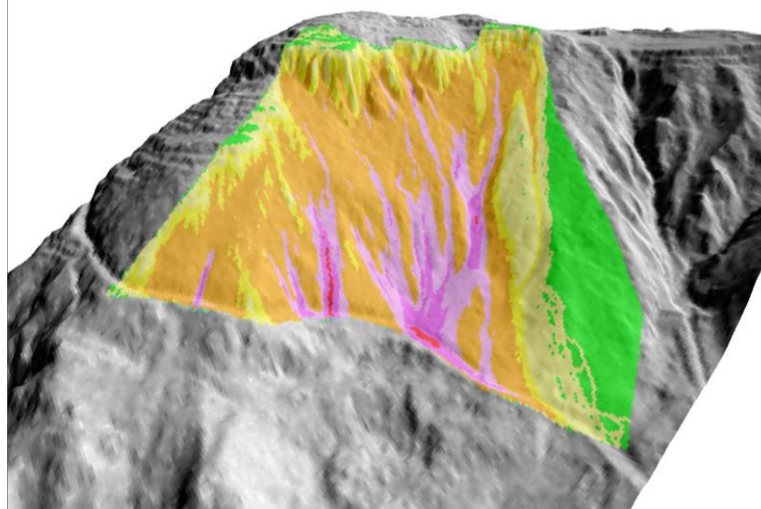
La simulazione è stata eseguita senza tener conto della presenza dei fusti degli abeti, sia per tener conto della non remota possibilità che un incendio possa distruggere il bosco, sia per tener conto che il bosco presente non è particolarmente fitto.



Prima di passare al commento dei risultati si vuole ricordare ancora che le simulazioni hanno comportato il "crollo" virtuale di un numero notevolissimo (296.420) di massi, 10 da ogni 1 m² del versante: ciò comporta che questi calcoli simulano degli eventi che possono sì accadere sul versante, ma non in un singolo istante, bensì in un periodo di anni non quantificabile, ma comunque molto elevato.

Appare pertanto una situazione di pericolo, che ancorchè reale (basta un singolo masso per determinare il pericolo), risulta enfatizzata.

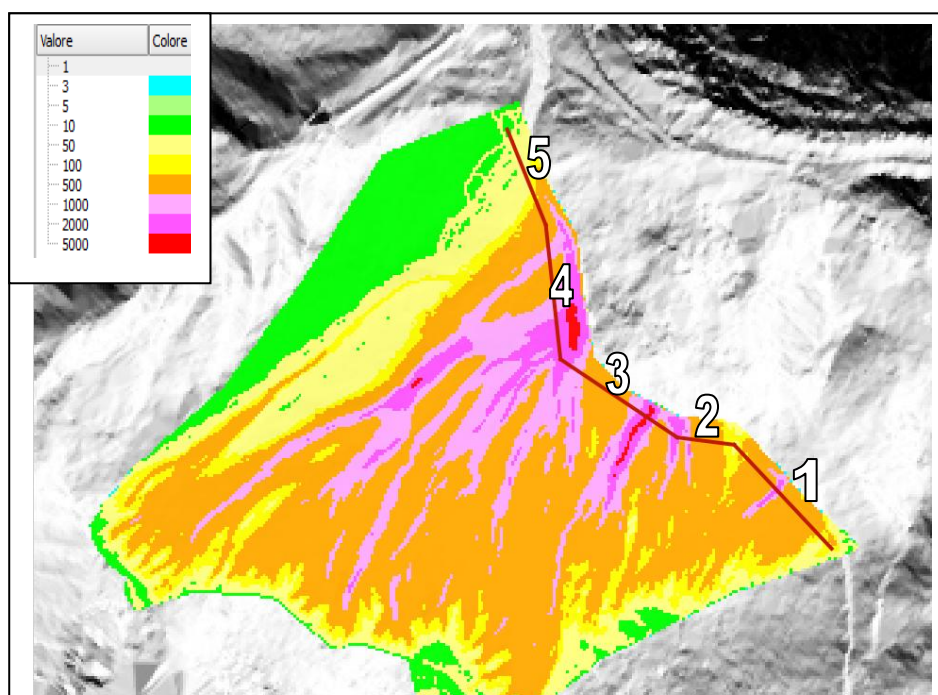




Visualizzazione 3D della precedente.

- Massimi effetti prevedibili:

Per conoscere l'intensità e magnitudo del crollo si sono inserite delle linee di controllo poste sul fianco di monte della strada: tali linee di controllo sono state simulate come ipotetiche barriere paramassi "virtuali", inserite nel modello matematico per conoscere le caratteristiche geometriche e cinematiche delle traiettorie dei massi che impattano tali elementi.



Ubicazione ed identificazione delle barriere paramassi "virtuali" sovrapposte alla mappa della frequenza dei passaggi.



Rockyfor3D_v5.2.6_CalC_SCR_10-3-2020_11h15.txt - Blocco note di Windows

Modifica Formato Visualizza ?

scr_nr	n	E_50	E_90	E_95	E_98	Ph_50	Ph_90	Ph_95	Ph_98	V_50	V_95	Vrot_50	Vrot_95	Imp_a50	Imp_a95
1	9196	80.4	210.4	259.4	330.4	0.6	1.0	1.1	1.3	7.5	11.5	11.1	17.1	-51.3	-39.3
2	4976	150.5	341.5	411.5	487.5	0.8	1.7	2.1	2.5	10.4	14.8	13.8	20.8	-57.9	-41.9
3	26667	260.0	595.0	725.0	872.0	0.9	1.9	2.2	2.6	12.5	18.3	19.8	32.8	-50.0	-24.0
4	23057	418.0	760.0	865.0	982.0	0.7	1.1	1.3	1.6	14.5	18.9	27.7	36.7	-25.7	-13.7
5	1786	275.0	693.0	828.0	945.0	0.6	1.3	1.6	2.0	11.8	19.3	21.9	33.9	-34.1	-13.1

Output rasters (for explanation see also: www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D.pdf, chapter 4)

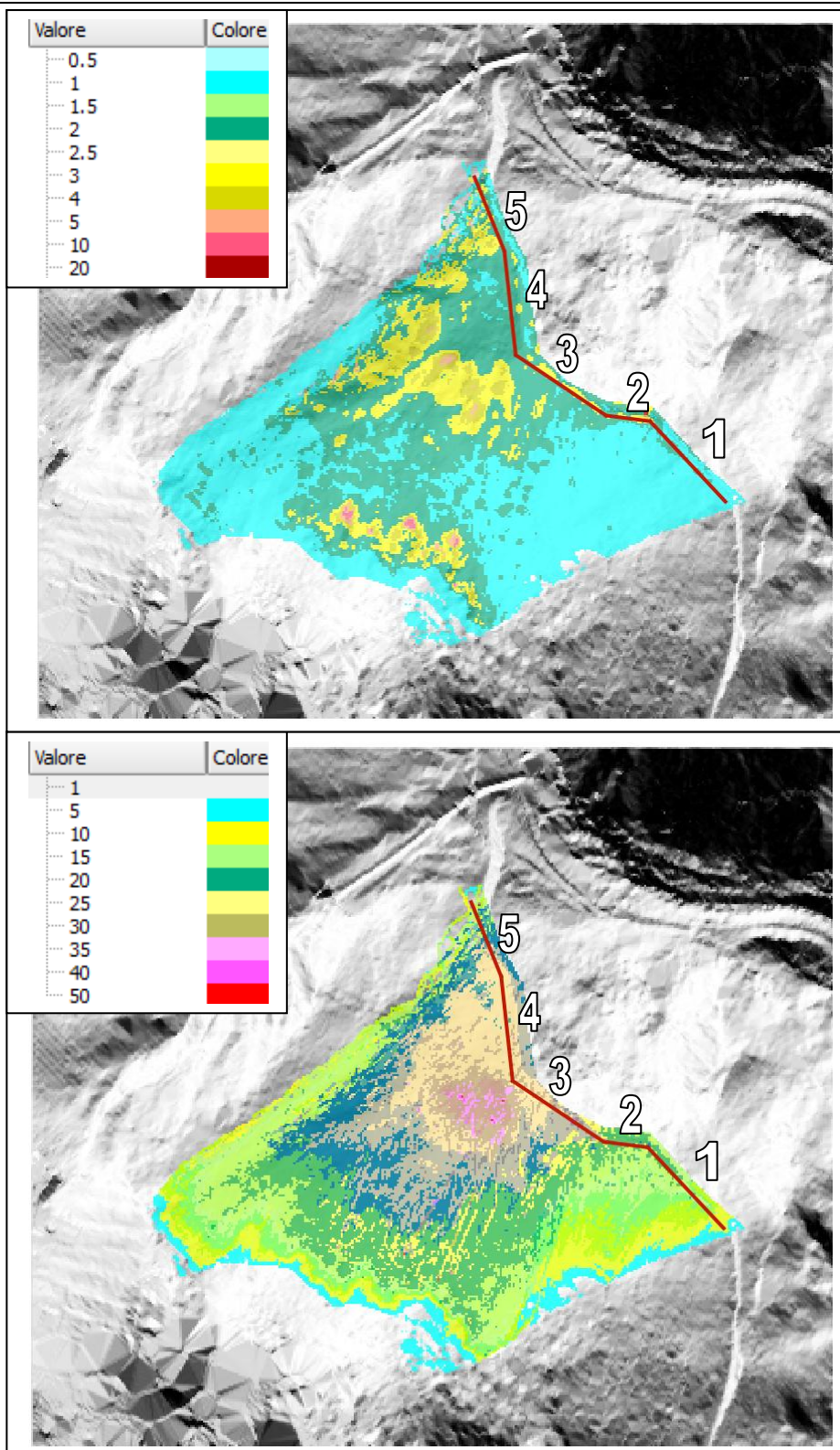
- E_mean.asc: mean kinetic energy (Etrans + Erot) per raster cell [kJ]
- E_95.asc: 95% CL of the kinetic energy values per raster cell [kJ]
- Ph_mean.asc: mean normal passage height per raster cell [m]
- Ph_95.asc: 95% CL of the normal passage heights per raster cell [m]
- Nr_passages.asc: number of blocks passed through each raster cell [-]
- Nr_sourcecells.asc: number of source cells the simulated blocks originated from per raster cell [-]
- Reach_probability.asc: $(Nr_passages * 100) / (Nr_sourcecells * Nr_simulations_per_source_cell)$ [%]
- Nr_deposited.asc: 1 number of blocks stopped in each raster cell [-]
- Rvol_deposit.asc: maximum block volume stopped in each raster cell [m³]
- Traj_time.asc: minimum time needed to reach a raster cell from the defined source areas [s]
- V_max.asc: absolute maximum simulated velocity per raster cell (m/s)
- EL_angles.asc: minimum recalculated Energy Line angle in each raster cell [°]

I seguenti dati sono registrati per ogni blocco che arriva nella rete (barriera di calcolo):

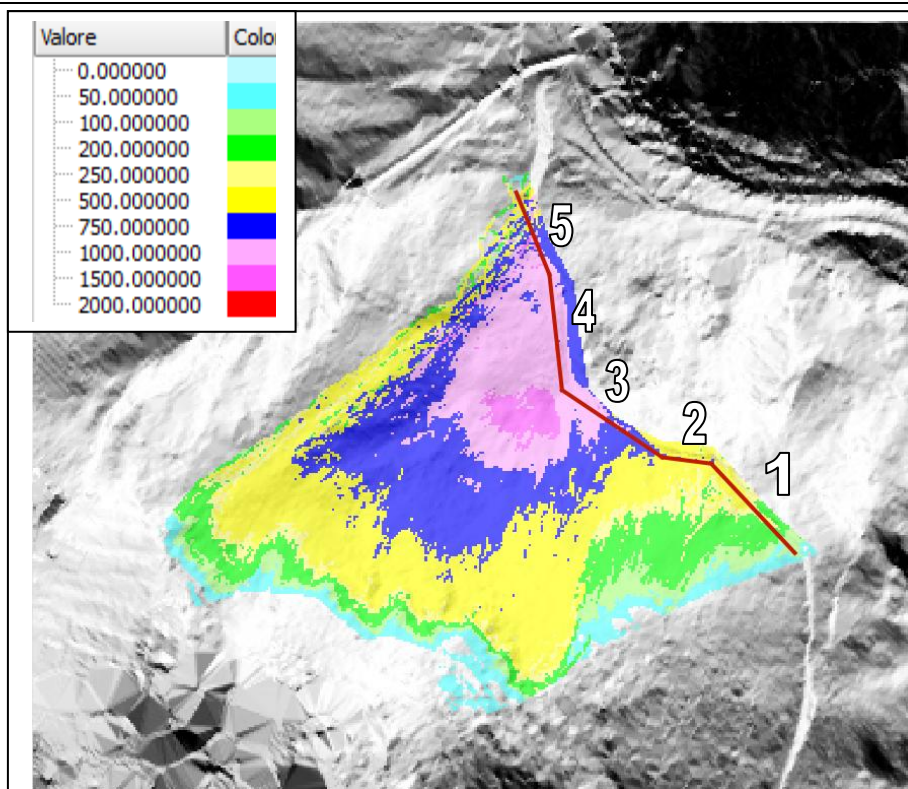
- E: energia cinetica di traslazione e di rotazione in kJ;
- Ph: altezza del passaggio calcolata in metri nella direzione normale alla superficie del pendio
- V: velocità calcolata in m s⁻¹
- V_{rot}: velocità rotazionale calcolata in rad s⁻¹
- Imp_a: angolo di impatto (corrisponde all'angolo tra il piano orizzontale e la traiettoria del masso all'istante in cui arriva nella rete; i valori negativi indicano un masso che sta cadendo, mentre i valori positivi indicano un masso si allontana dalla rete, verso l'alto - verosimilmente dopo un rimbalzo).

Viene inoltre memorizzato il numero totale di blocchi (n), che arriva nella rete (o barriera di calcolo). Il file di testo di output contiene sia i valori post-processati sia i valori simulati per le barriere di calcolo. I valori post-processati contengono ad esempio la mediana, i valori corrispondenti al 90%, 95% e 98% (resp. x50, x90, x95 oder x98) della funzione densità di probabilità della variabile data sopra, per ogni numero di barriera di calcolo (scr_nr), che corrisponde al numero di rete paramassi descritta nel capitolo 2.3.

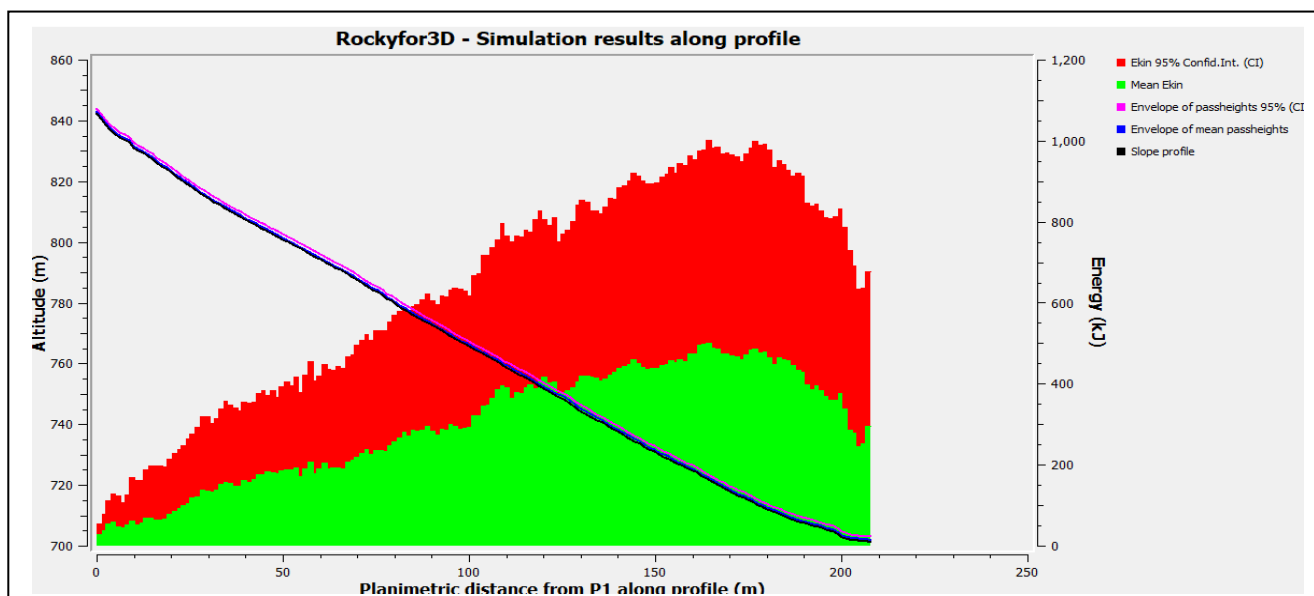
Da tali elaborazioni si possono dunque conoscere nel dettaglio le caratteristiche della pericolosità per crollo lungo le diverse tratte della strada.



Visualizzazione, sulla base Lidar PAT: sopra sono le altezze di traslazione (95° percentile) dei blocchi (m) e sotto, sono le velocità di traslazione (95° percentile) dei blocchi (m/sec). Indicati, con le linee rosse, gli allineamenti di controllo da 1 a 5.



Visualizzazione, sulla base Lidar PAT, dell'energia cinetica traslativa (95° percentile) dei blocchi (kj). Indicati, con le linee rosse, gli allineamenti di controllo da 1 a 5.



Visualizzazione di un profilo con l'involuppo caratteristico delle traiettorie dei massi nella zona centrale della barriera virtuale 4. In nero è il profilo del pendio, in blu è l'altezza media delle traiettorie, in magenta le traiettorie del 95 %ile dei massi.

Si noti che la modellazione è stata limitata al ripido tratto di versante fino alla strada esistente: ciò non significa che il tratto di strada posto ancora più a valle, dopo il tornante, non sia soggetto a pericolosità di crollo, anche per elementi sorgente di crollo posti nella fascia interna al tornante stesso.



Il motivo di questa scelta è che eventuali opere di protezione per le sorgenti di crollo sopra alla strada saranno efficaci anche per proteggere la strada sottostante, mentre tutte le poche e potenziali sorgenti di crollo riconosciute essere interposte fra il tratto alto della strada e quello basso possono essere agevolmente eliminate con una semplice operazione di ricognizione e disgaggio.

- Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare:

La strada è esistente per cui non risulta che siano previste opere di nuova realizzazione, mentre è prevedibile che si abbia un aumento delle utenze: questo tratto di strada, in ogni caso, è certamente sottoposta ad una reale pericolosità per fenomeni di crollo.

La vulnerabilità in caso di crollo non risulta tanto riferita ai danni all'infrastruttura stessa (limitati ad eventuali crateri da impatto sull'asfalto), quanto piuttosto alle conseguenze dell'impatto dei massi contro i veicoli o pedoni che si trovassero a percorrere la strada nel momento di un crollo. E' pleonastico ricordare che la vulnerabilità di un veicolo e/o di un passante nei confronti di un masso che rotola è totalmente inaccettabile, con potenziale perdita di vita.

- Definizione delle opere di messa in sicurezza:

Essendo la strada esistente, si demanda senz'altro al gestore di tale infrastruttura la decisione sull'opportunità di intervenire e sulla scelta delle opere di messa in sicurezza.

Nella riflessione dello scrivente, che si confronta con un aumento delle utenza a seguito del completamento del collegamento fino a Sover, le azioni di messa in sicurezza possono essere così definite:

- ricognizione e disgaggio sul versante per rimuovere le situazioni più pericolose e quindi permettere la prosecuzione dei lavori in sicurezza,
- consolidamento, sulle pareti rocciose sommitali, delle situazioni di maggior pericolosità: questo può essere attuato mediante posa di reti e pannelli in fune rinforzati con chiodature e funi passanti,
- consolidamento con rete e funi dei tratti del ciglio della scarpata stradale di monte instabile (mostrati nelle foto precedenti) attualmente non protetti o per i quali le sole reti esistenti non paiono essere dimensionate con sufficiente margine di garanzia,
- messa in opera, in corrispondenza del tratto stradale di cui alle verifiche precedenti, di barriere paramassi elastiche in grado di assorbire, con adeguato fattore di sicurezza, le energie delle traiettorie di crollo e rotolamento indicate. Indicativamente le barriere dovranno avere altezza, a seconda delle posizioni lungo il tracciato, non inferiore a 2.5 / 3 m ed essere in grado di assorbire energie non inferiori a 1,000 / 1,500 kJ,
- ricognizione sul versante interposto al tornante, con rimozione e disgaggio di alcune situazioni di potenziale dissesto relative a blocchi presenti sul macereto della frana principale. Utile anche, nel tratto di avvicinamento al ponte sul Rio da Molin, potenziare una sorta di tomo già esistente che separa la strada dal versante.



**- Cronoprogramma opere:**

Come per tutti gli altri tratti di strada già asfaltata esistenti, è a carico del gestore di questa infrastruttura la decisione sugli interventi e sulle tempistiche dei lavori di messa in sicurezza nei confronti di una pericolosità geologica - da crollo - che può definirsi, in questo tratto, conclamata.

Il contributo dello scrivente relativamente alla tipologia e successione degli interventi è contenuta al paragrafo precedente: sicuramente tali interventi vanno messi in atto precedentemente al potenziamento del collegamento in esame.

- Conclusioni:

Il potenziamento del tracciato stradale comporterà un aumento delle utenze che fruiranno di un tratto di strada che già attualmente è sicuramente soggetto a pericolosità da crollo.

Lo scrivente raccomanda pertanto che, sia in caso di potenziamento del collegamento con Sover, e sia in caso del mantenimento della situazione attuale, siano eseguiti tempestivamente i descritti interventi di messa in sicurezza.

3.3.2 Componente crolli: zona fra discarica Sover e depuratore

Nel tratto fra la discarica ed il depuratore, ove vi è una viabilità pubblica asfaltata, la pericolosità da crollo indicata nella Carta di Sintesi della Pericolosità di prossima adozione appare molto contenuta. Non si è ritenuto utile procedere ad approfondire ulteriormente questo aspetto che appare marginale e con remota possibilità di accadimento: pertanto si demanda senz'altro al gestore di tale infrastruttura la decisione sull'opportunità di investire risorse per tale tipologia di interventi.

3.3.3 Componente crolli: zona spalla destra ponte Avisio

Sulla spalla destra del ponte sull'Avisio, sovrastata da uno sperone roccioso, la tematica del crollo appare essere già stata parzialmente affrontata, esistendo già dei presidi (rete in aderenza rinforzata) in parete, particolarmente sul lato Sud della roccia.

Si ritiene comunque opportuno che sia eseguita la pulizia dalla vegetazione potendosi così verificare la situazione della roccia ed anche le condizioni statiche del muro a secco ivi presente sulla zona sommitale della roccia.

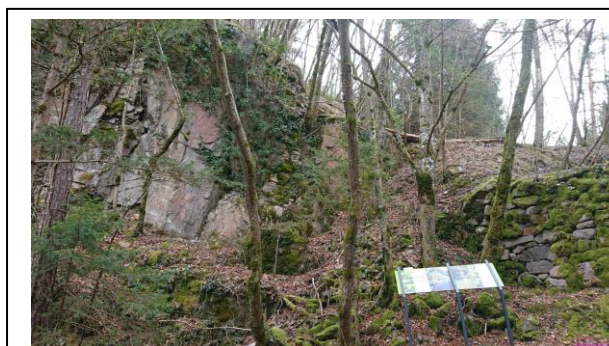
Indipendentemente dagli esiti di tale operazione di pulizia, lo scrivente ritiene che, anche in vista delle lavorazioni e movimentazioni di macchinari in grado di generare vibrazioni, sia necessario intervenire a scopo preventivo sulla roccia, predisponendo sia pannelli in fune (sulla porzione rocciosa immediatamente soprastante i cartelli informativi- vedi foto), sia posando reti armate sulla restante parte dell'affioramento.





3.3.4 Componente crolli: zona in prossimità del Castelet

In corrispondenza del tornante sottostante alle pareti del rilievo Castelet, vi sono dei muretti deformati ed anche delle piccole porzioni rocciose ritenute instabili.



La pericolosità per crolli è elevata al di sotto delle pareti strapiombanti, mentre si affievolisce spostandosi verso il tornante stradale esistente, che al momento risulta defilato rispetto a tale pericolosità.

Qualora il progetto del collegamento comportasse un ulteriore avvicinamento della strada alle pareti rocciose, allora sarà necessario prevedere delle opere di messa in sicurezza, che potranno limitarsi alla realizzazione di un piccolo tomo sul tornante e/o alla posa di una rete in aderenza sugli affioramenti più vicini alla sede stradale.



4. CONCLUSIONI

Il presente Studio di Compatibilità è relativo a: **"Piano Territoriale della Comunità della Valle di Cembra / Piano stralcio in materia di viabilità e delle reti per la mobilità di valenza sovracomunale - Collegamento Sover – Grumes B2"** commissionato dalla Comunità della Valle di Cembra allo Studio Tecnico Gorfer arch. Giuseppe.

Si sono consultati gli strumenti urbanistici in vigore e quelli in previsione, riscontrando che il tracciato attraversa delle zone che, con il cambio di destinazione d'uso del suolo derivante dalla realizzazione del progetto, normativamente (PGUAP) diventeranno anche classificate come a rischio idrogeologico "elevato R3" e "molto elevato R4".

I rilevamenti sul terreno hanno in buona sostanza confermato che le penalizzanti classificazioni geologico – urbanistiche attribuite alle aree attraversate dal tracciato trovano riscontro nella realtà sostanziale dei luoghi, anche se non mancano situazioni in cui delle pericolosità effettivamente riscontrate sul terreno non sono indicate in tali strumenti urbanistici (frana nella zona della discarica di Sover) e, viceversa, delle pericolosità indicate non trovano completo riscontro sul terreno (es. crolli, sempre per la zona della discarica di Sover).

In ogni caso, distinguendo le varie componenti della pericolosità così come previste dalla Carta di Sintesi delle Pericolosità (in via di adozione), sono risultate essere presenti, e particolarmente gravose, le seguenti tipologie di pericolosità:

- pericolosità idrauliche (sia torrentizie che fluviali),
- pericolosità per frana,
- pericolosità per crolli.

Constatata la presenza di tali situazioni di pericolosità, utilizzando le più moderne metodologie di modellazione e computazione, si sono quantificate, le magnitudo e le intensità delle diverse componenti della pericolosità: per gli aspetti idraulici ci si è avvalsi della preziosa collaborazione del Dr. Grisotto Silvio.

Si sono poi discusse le opere ed i protocolli necessari per rendere compatibile l'inserimento del collegamento in progetto rispetto alle riconosciute condizioni idrogeologiche del territorio.

Sono così risultate necessarie varie tipologie di interventi di compatibilizzazione:

- nella zona del tracciato esistente sotto al paese di Grumes e fino al ponte sull'Avisio è risultata necessaria la realizzazione di opere di protezione, quali dei disgaggi, reti in aderenza e paramassi per contrastare la pericolosità da crolli, e delle arginature per contrastare la pericolosità torrentizia del Rio Molino,

- fra il ponte sull'Avisio ed il depuratore di Sover è risultata necessaria la previsione della delocalizzazione di una parte del tracciato, allontanandolo dall'alveo del Rio Brusago per mitigare la potenziale interferenza derivante dalla manifesta pericolosità torrentizia di tale rivo,

- sempre per la zona del Rio Brusago, si deve comunque anche evidenziare come non vi sono reali possibilità di contrastare eventi alluvionali -non ordinari- cioè con tempi di ritorno fuori scala, tipo le alluvioni del Rio Brusago del 1882 o del



1966): in occasione di tali eventi vi sono stati fenomeni di erosione parossistica con la mobilitazione di milioni di m3 di materiale.

E' pertanto risultato necessario, per la compatibilizzazione dell'inserimento del collegamento in esame prescrivere che siano messi a punto dei protocolli operativi tali per cui sia prevista l'interdizione all'utilizzo della strada in concomitanza di previsioni avverse - a partire dal grado moderato - emanate dal sistema di allerta della Protezione Civile trentina. L'adozione di tali protocolli consentirà di gestire la pericolosità per le persone, impedendo che sia messa a repentaglio l'incolumità delle utenze del tracciato.

- ancora per il tratto fra il depuratore ed il ponte sull'Avisio, sono risultate necessarie delle piccole opere di protezione idraulica (piazzole di deposito) per mitigare le interferenze sul tracciato da parte delle potenziali colate detritico alluvionali provenienti dalle vallecole sottostanti il paese di Sover.

- relativamente ai fenomeni franosi in corrispondenza del depuratore di Sover, caratterizzati da basse velocità di movimento, per rendere compatibile l'implementazione del tracciato di interesse è necessario che sia mantenuta monitorata la situazione (esistono 3 inclinometri installati e gestiti dal Servizio Geologico PAT). Si dovranno anche eseguire tempestive manutenzioni alle lesioni presenti sulla sede viaria e che possono riattivarsi. Si sono comunque anche descritti degli interventi attivi (capping della discarica di inerti, regimazione delle acque stradali e del versante, rinforzo arginale del Rio da Molin) utili per contrastare, mitigandolo, il fenomeno franoso.

Con l'adozione di tutti questi accorgimenti si viene ad ottenere la compatibilità dell'opera nei confronti dell'incolumità delle persone: la riduzione della pericolosità tramite le opere ed i protocolli indicati comporta che il rischio lungo il tracciato sia da considerarsi non superiore a "Medio R2".

San Cristoforo, 15 marzo 2020



Studio Geologico Associato GeoAlp
dott. geol. Icilio Vigna