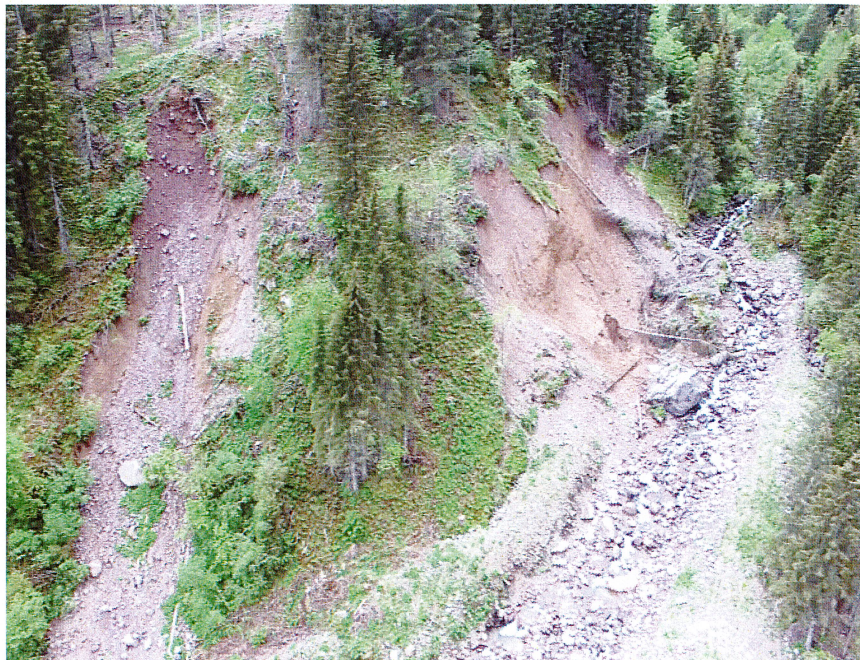


REGIONE LOMBARDIA
Provincia di BRESCIA
Comune di PAISCO LOVENO



STUDIO GEOLOGICO

A SUPPORTO DELL'INTERVENTO

PROGETTO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO
DELL'AREA DI FRANA IN LOCALITA' LE PRESE IN
COMUNE DI PAISCO LOVENO (BS)

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMITTENTE: Comune di Paisco Lovenò

Luglio 2021



Geol. Luca Maffeo Albertelli



INDICE

PREMESSA	3
INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELLE PROBLEMATICHE	4
INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
EVENTI PREGRESSI	7
LE OPERE DI SOMMA URGENZA ESEGUITE	9
LA SITUAZIONE ATTUALE	13
FASE DI INDAGINE	15
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	16
INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	18
ASPETTI IDROLOGICI E IDROGEOLOGICI	18
INDAGINI ESEGUITE	20
Indagine MASW	20
FASE DI ELABORAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI DATI	23
ANALISI MORFOMETRICA DEL BACINO	23
Pendenza ed esposizione bacino	24
CALCOLO DELLE PORTATE LIQUIDE	26
Metodo razionale	26
VINCOLI	30
Fattibilità	30
PAI e PGRA (Piano Stralcio Assetto idrogeologico e Piano Gestione Rischio Alluvioni)	32
IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi)	33
CLPV (Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe)	35
Pericolosità Sismica Locale	36
CARATTERI SISMICI DEL SITO	37
Analisi di secondo livello	37
Parametri sismici	38
CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	39
FASE DI SINTESI	41
MODELLO GEOLOGICO SEMPLIFICATO DI RIFERIMENTO (MGR)	41
RISCHI GEOLOGICI NATURALI E INDOTTI	42
INDICAZIONI PROGETTUALI	43

PREMESSA

La presente relazione GEOLOGICA è stata commissionata dal Comune di Paisco Lovenò a supporto del progetto di sistemazione della frana in località Le Prese, dove un dissesto avvenuto nel luglio del 2017 aveva in parte ostruito il corso d'acqua del Torrente Vivione e del Torrente Allione, nella zona di confluenza delle due aste. Oltre a tale intervento, l'amministrazione comunale ha in programma di adeguare un ponte della strada comunale di attraversamento del Torrente Allione alla quota di circa 1170 m s.l.m. (località Forno di Lovenò).

La frana di Località Le Prese interessa il Comune di Cervenò, ma il materiale franato in alveo, interessa in buona parte il Comune di Paisco Lovenò e in parte quello di Schilpario, poiché il torrente rappresenta il confine comunale (cfr. corografia).

Il progetto delle opere è a firma dell'Ing. Fabio Fanetti.

A seguito del franamento avvenuto nel luglio 2017 Regione Lombardia erogò le somme per la somma urgenza tesa a ripristinare il deflusso delle acque e per garantire un minimo di sicurezza idraulica, opere che vennero eseguite e che portarono alla parziale deviazione del deflusso del T. Vivione per evitare l'erosione del piede del pendio.

Gli interventi previsti sono tesi a ridurre la pericolosità ed il rischio conseguente, per quanto possibile ed in relazione alle opere previste in progetto, alla luce della possibile dinamica morfologica del corso d'acqua per il tratto in esame.

La presente relazione geologica ha lo scopo di definire i caratteri geologici, geomorfologici ed idrogeologici delle aree interessate dagli interventi, secondo quanto contenuto nella normativa vigente, con particolare riferimento a:

- O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- O.P.C.M. 28.04.2006 N°3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"
- D.M. 18 gennaio 2018 Norme Tecniche per le costruzioni.
- D.G.R. 11 luglio 2014 n.2129 "aggiornamento delle zone sismiche di Regione Lombardia"

In riferimento alla normativa sopra richiamata, il presente documento analizza gli aspetti geologici finalizzati all'individuazione del modello geologico "semplificato" di sito, secondo quanto specificato nelle NTC 2018 § 6.2.1 e § 6.2.1 della Circolare esplicativa.

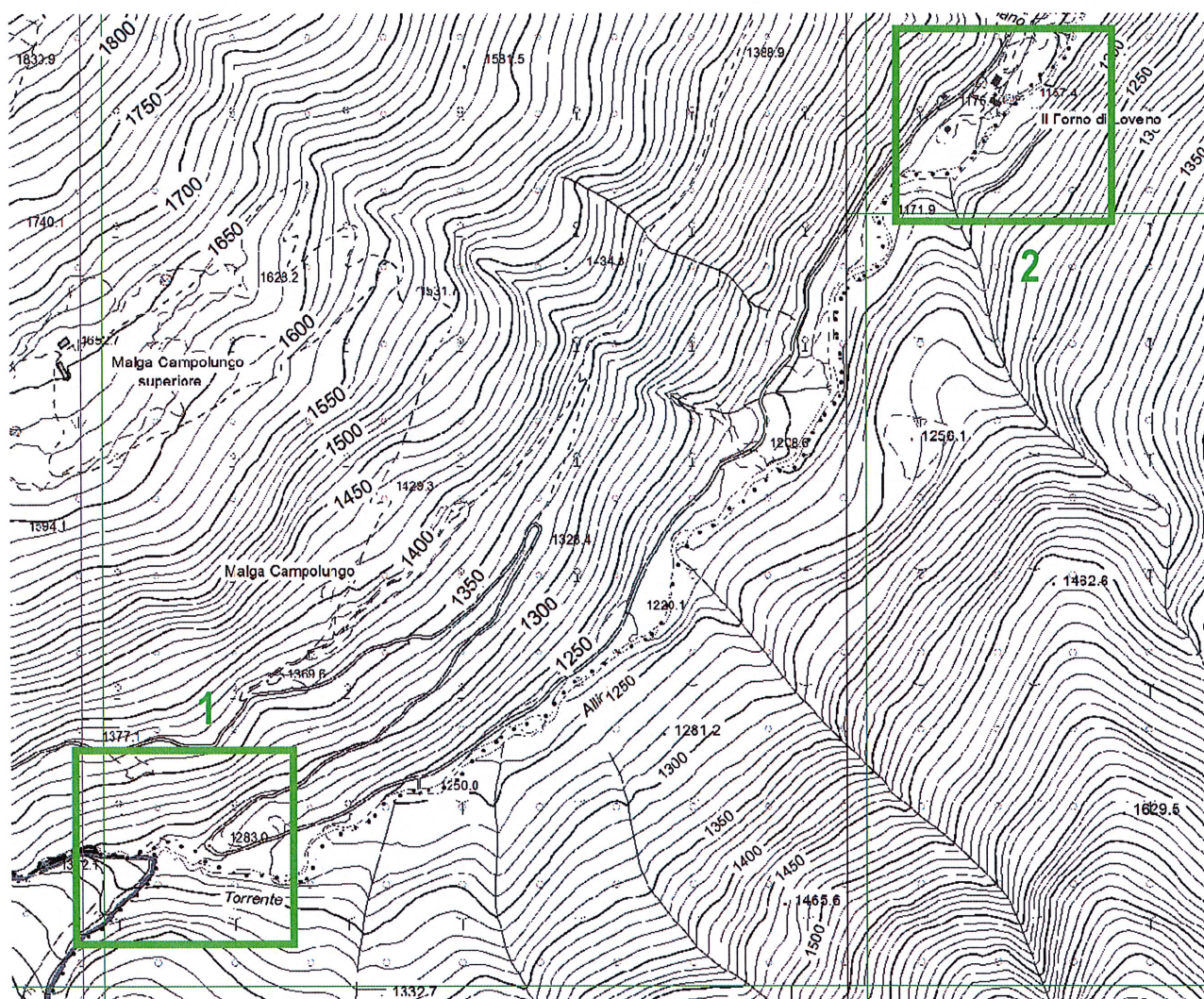
La presente relazione è da intendersi quale svincolo alla fattibilità dell'intervento, non prendendo in considerazione gli aspetti geotecnici delle opere, che sono disciplinati dalla normativa di settore (D.M. 2008 § 6.2.2 e § 6.2.2 della Circolare e tutti i suoi aggiornamenti).

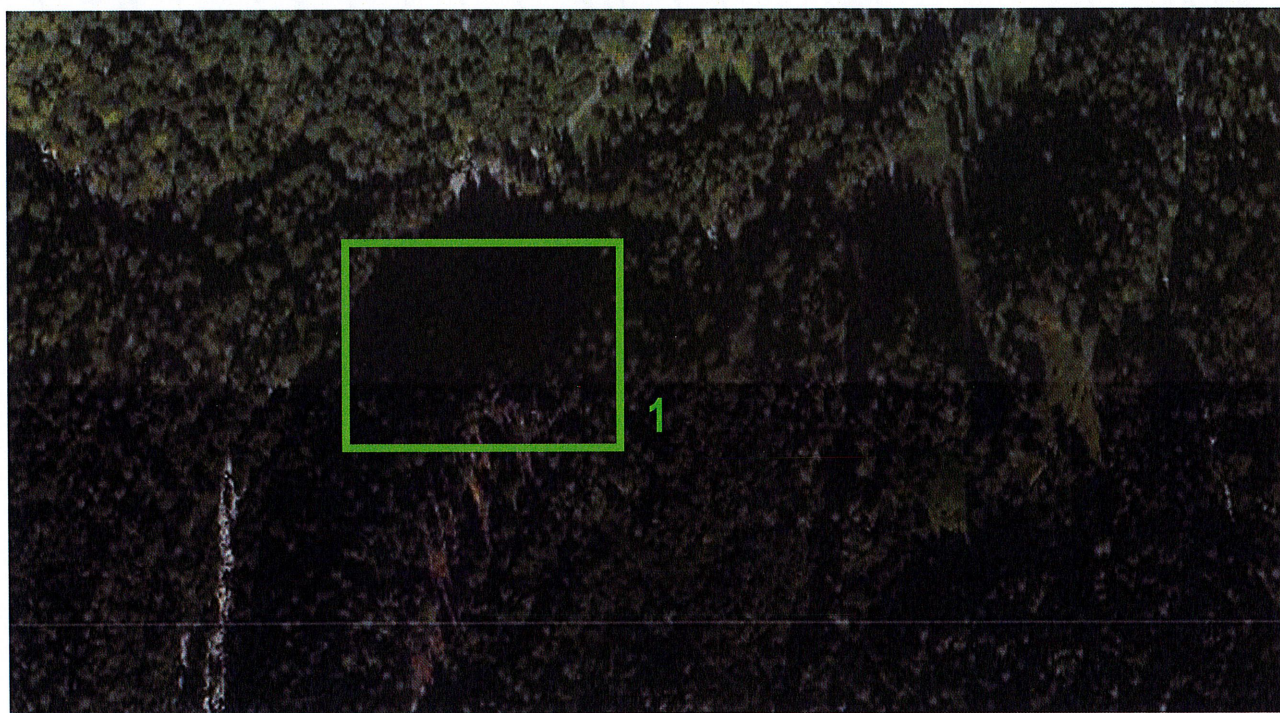
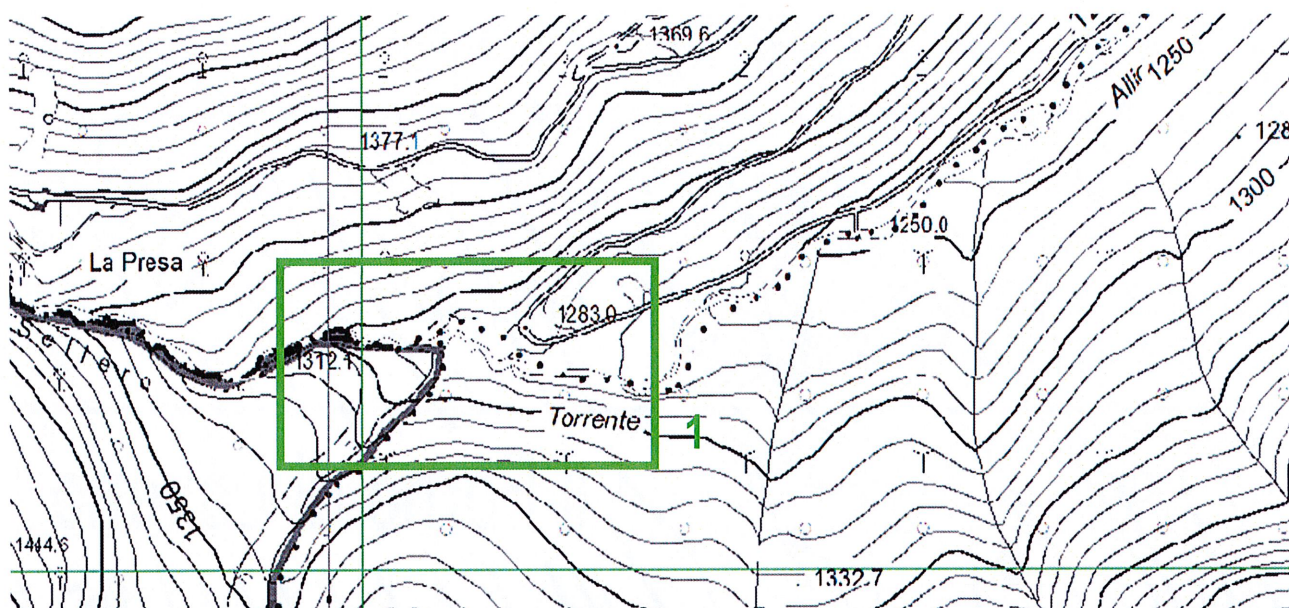
La presente relazione è da intendersi quale svincolo alla fattibilità dell'intervento.

INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELLE PROBLEMATICHE

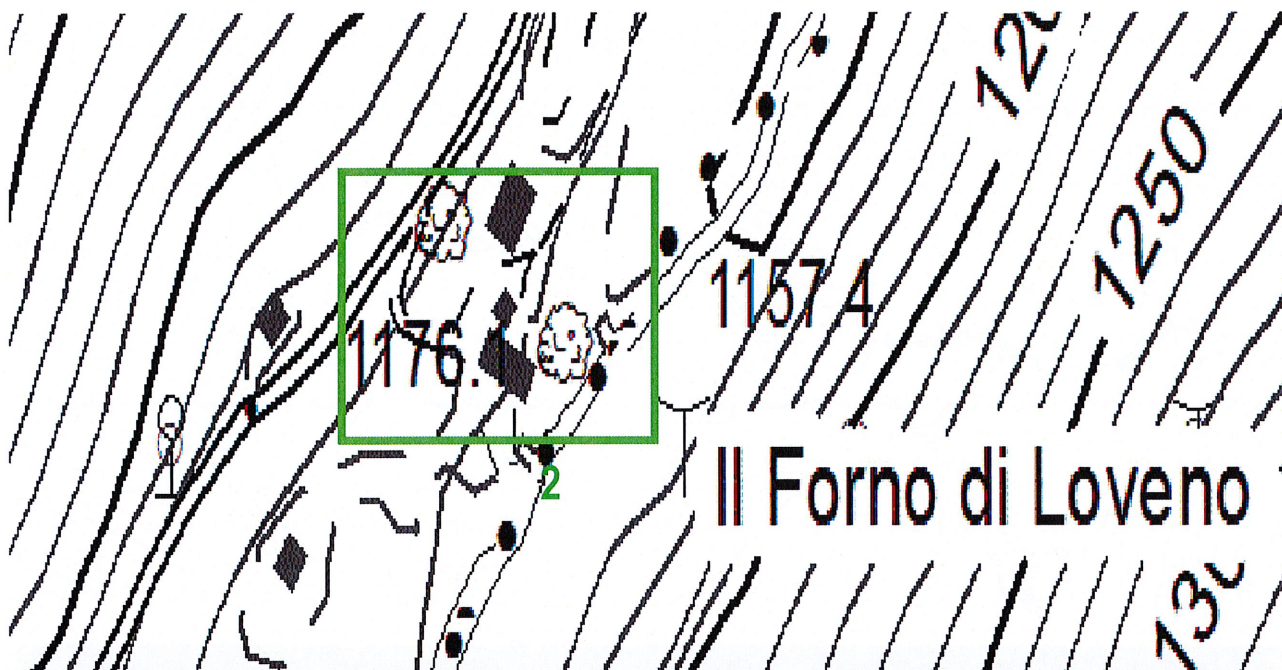
Inquadramento territoriale

L'area d'intervento si colloca nel settore occidentale del territorio del Comune di Paisco-Loveno, presso località Le Prese, lungo il percorso della S.P. 294 della Val di Scalve, la quale li estende nel tratto in esame a ridosso dell'alveo del Torrente Allione, sulla sua sponda destra. Il sito d'intervento è distinto in due settori: uno più a monte, presso e appena a monte della confluenza nel T. Allione del Torrente Vivione (Area 1 quota 1.300 ms.l.m.), e circa 1.6 Km m più a valle, in corrispondenza di un attraversamento del torrente Allione in località Il Forno (Area 2). Seguono stralci dell'ortofoto regionale e della CTR su cui si riporta il sito in esame.





Stralcio della CTR (sopra) e dell'ortofoto (sotto) regionali, su cui si riporta in verde la posizione del sito d'intervento – non in scala



Stralcio della CTR (sopra) e dell'ortofoto (sotto) regionali, su cui si riporta in verde la posizione del sito d'intervento in loc.

Forno di Lovenò – non in scala

Eventi pregressi

Il mese di luglio dell'anno 2017, in località Le Prese, in Comune di Paisco Lovenò e Cervenò, si è verificato il franamento di una porzione di versante in sponda destra orografica al Torrente Vivione, che ha interessato il corso d'acqua medesimo e, parte del Torrente Allione, nella zona di confluenza delle due aste torrentizie.

Si tratta di una porzione di versante localizzato alla quota di circa 1.330 mt sl.m., dove è presente un'ampia area boscata di piante di alto fusto di grosse dimensione, prevalentemente resinose.

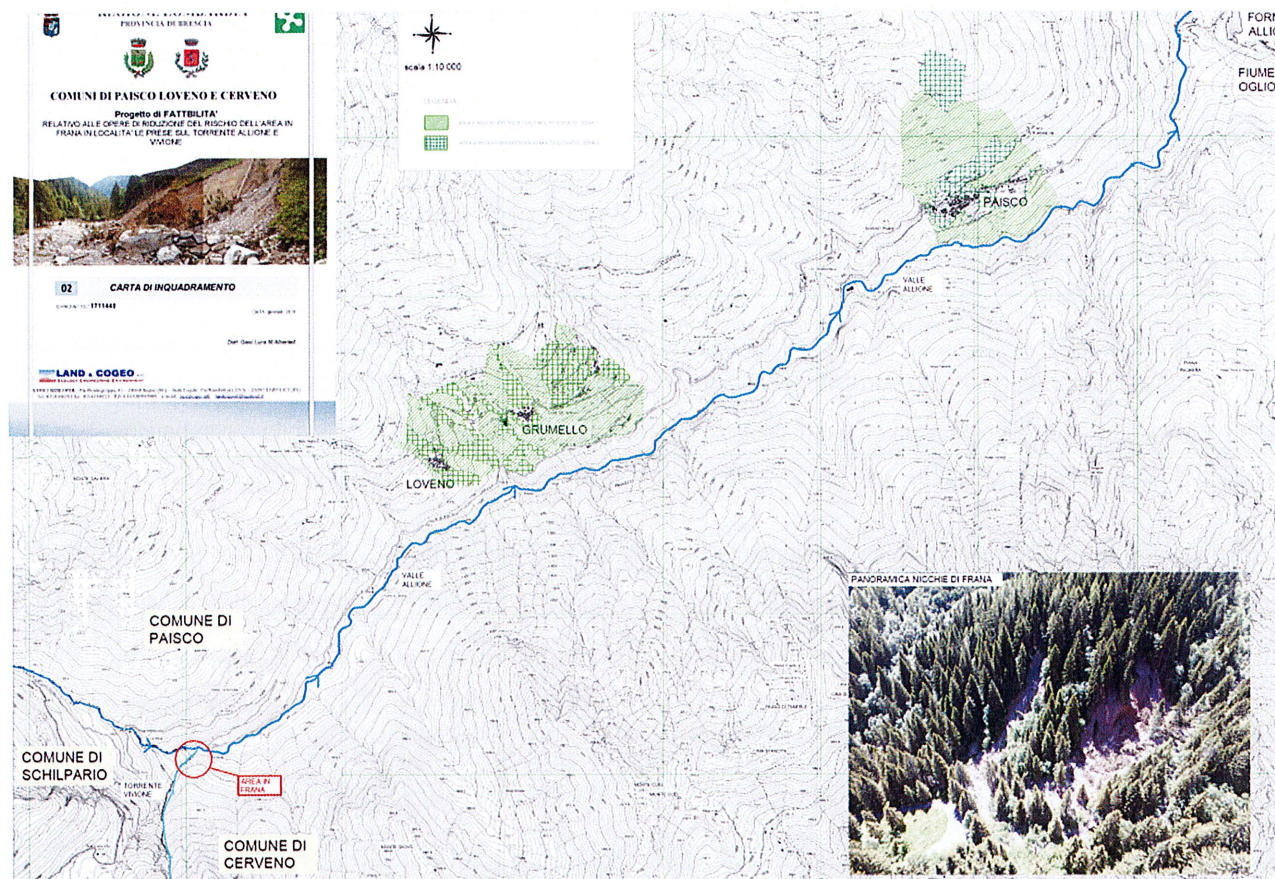
Il materiale franato, del volume stimato in circa 15-20.000 mc, ostruì completamente l'alveo del Torrente Vivione, con terriccio, grossi massi e soprattutto con piante schiantate al suolo, che si disposero trasversalmente al deflusso delle acque, provocando parziali ostruzioni e la formazione di briglie naturali, che risultarono da subito molto pericolose per la possibilità che si formasse un effetto diga ed un conseguente trasporto solido in massa verso il fondovalle.

Il Comune di Paisco Lovenò, attivò immediatamente la procedura di somma urgenza e la relativa scheda RASDA (numero 20615 del 25/07/20107) e commissionato i lavori di prima messa in sicurezza, che sono consistiti nella pulizia e rimozione del materiale in alveo e, nella parziale deviazione del Torrente Allione, al fine di evitare continue erosioni del piede del pendio. Tali lavori sono stati seguiti, dal punto di vista geologico, direttamente dallo scrivente, che ha fornito il



supporto tecnico circa le attività da eseguire, per meglio effettuare l'intervento e consentire il ritorno ad un minimo di condizioni di sicurezza, anche se non è stato evidentemente possibile, con le somme a disposizione per la somma urgenza, effettuare interventi sul pendio. Vale la pena evidenziare che il Comune di Paisco Lovenò, è interessato da un'ampia deformazione gravitativa di versante (su cui sorge l'abitato principale di Paisco), che interessa proprio il torrente Allione che scorre al piede della frana e ne può determinare l'erosione e quindi l'attivazione (cfr. immagine id seguito riportata dello studio di fattibilità per la sistemazione dell'area in frana).

L'area è inserita nelle zone ad elevato rischio idrogeologico di cui alla L. 267/98, con codice 032/LOBS.



I lavori di somma urgenza hanno come detto, consentito di eliminare il materiale in alveo e le grosse piante ma, non hanno certamente eliminato il problema del continuo crollo di materiale, che si è accumulato al piede del pendio per il progressivo franamento della nicchia. La strada provinciale lambisce il torrente Allione, proprio in prossimità dell'area in frana e non è venuta interessata dal franamento per il pronto intervento che liberò l'alveo dal materiale solido, ma nel caso in cui fossero continuate le piogge e si fosse formato uno sbarramento con successivo collasso, anche la strada sarebbe stata molto probabilmente coinvolta.

A seguito degli interventi e della comunicazione di somma urgenza, vennero eseguito sopralluoghi anche i tecnici



dell'UTR di Brescia e di Regione Lombardia, Protezione Civile.

Con il progetto in oggetto, si intende proporre una soluzione progettuale atta a ridurre la pericolosità del fenomeno e quindi il rischio che rimane, per la strada provinciale, per l'area in frana dell'Abitato di Paisco Lovenese e, per il fondovalle

confluenza dell'Allione nel Fiume Oglio, dove è presente l'area industriale di Allione, in Comune di Berzo Demo.

Il fenomeno di frana è ascrivibile ad uno scivolamento rotazionale dei depositi di origine glaciale e rappresenta una tipologia di dissesto che non può essere prevista se non attraverso misure di spostamento e verifica della progressione delle deformazioni che in questo caso non è possibile disporre. Si può comunque ritenere che il franamento progredirà con arretramento della nicchia e lateralmente all'area in dissesto, sino a raggiungere una pendenza di equilibrio e di stabilità che nel tempo tenderà a vegetare e rinaturalizzarsi. Bisogna impedire che il materiale in franamento possa raggiungere l'alveo e costituire elemento di ostruzione del deflusso.

Le instabilità del versante sono molto probabili nei prossimi mesi primaverili, allo scioglimento del manto nevoso, se questo effetto, viene accompagnato da ingenti piogge.

Per quanto riguarda il ponte in località il Forno di Lovenò non si hanno dati di eventi pregressi.

Le opere di somma urgenza eseguite

Come descritto in premessa, nel mese di luglio e agosto 2017 vennero eseguiti i lavori di somma urgenza per la messa in sicurezza dell'area in frana, di cui alla scheda Rasda n° 20615 del 25/07/2017.

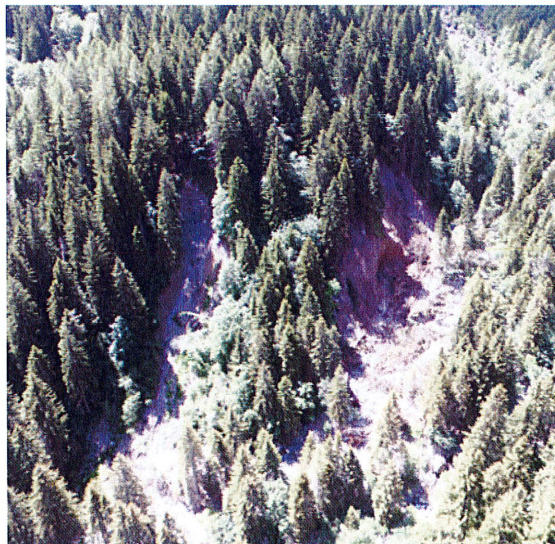
I lavori, per quanto riguarda gli aspetti geologici, vennero seguiti direttamente dallo scrivente, con numerosi sopralluoghi in sito, anche con i tecnici dell'UTR di Brescia, al fine di coordinare un corretto intervento di prima messa in sicurezza. Di fatto il corso d'acqua del Torrente Vivione, risultava completamente ostruito da grosse piante di diametro anche di 1 mt e, altezza di 15-20 mt, con materiale di frana costituito da sabbia e ghiaia, in matrice fine sabbioso-limosa, con grossi massi ciclopici di dimensioni da pochi metri cubi, sino a volumi superiori a 15 mc. Un grosso masso in particolare, risultava ed ancora è presente, tra il piede della frana ed il nuovo tracciato del corso d'acqua che è stato ricavato con i lavori di somma urgenza. Si tratta di un volume molto grande, che non è possibile mobilitare e che rappresenta una sorta di punto fisso, per il materiale franato, che si è trovato uno sbarramento naturale di protezione. Venne pertanto deciso di mantenere questo grosso volume roccioso e, ricavare il nuovo tracciato dell'alveo, oltre questo masso, garantendo pertanto di non gravare, con l'azione erosiva delle acque, al piede del pendio e, ricavando uno spazio adeguato tra il masso ed il piede del versante, per consentire la riprofilatura del versante (non eseguita con le opere di somma urgenza) e lo spostamento del materiale dall'alveo, da collocare al piede del versante.

Nella parte alta della frana, nel fianco sinistro, si è cercato di proteggere la sponda, con grossi massi e deviare leggermente le acque per spostarle sempre oltre il piede del pendio. Con i massi presenti in alveo, vennero ricavate anche delle soglie (in massi a secco), al fine di limitare la pendenza e ridurre l'azione erosiva delle acque. Il legname venne in buona parte eliminato e spostato dall'area in frana. Nel corso dei lavori e, anche al termine degli stessi, si registrava sempre un continuo e progressivo franamento del versante, nella zona di nicchia e dei fianchi più alti. Di fatto il pendio, trova nel continuo e progressivo franamento, il tentativo di arrivare ad una pendenza di equilibrio, progredendo verso monte e lateralmente, ampliando la nicchia di frana. In questo processo, vengono interessate anche le piante di alto fusto che non sono in grado di contrastare questo fenomeno, con il risultato di una continua e progressiva degradazione, per la formazione di grosse buche lasciate dalle radici delle piante schiantate. Queste buche si riempiono di acqua nel corso degli eventi meteorici e saturano progressivamente il pendio, accelerando il processo di instabilità.

Le cause del dissesto sono legate alla natura del materiale che ha un comportamento incoerente e pertanto non è dotato di coesione. Una buona aliquota di coesione è comunque presente e determinata dalla frazione più fine e dal processo di cementazione ma, a contatto con l'acqua, questa resistenza si annulla e si determina il franamento delle masse. L'acqua si trova a circolare per saturazione dall'alto, in caso di ingenti piogge, favorita lungo il pendio, proprio dallo schianto di piante di alto fusto e poi dal deflusso più sottosuperficiale, lungo direttrici di scorrimento che sono localizzate lungo le linee di massima pendenza o al piede del versante in frana. È stato infatti verificato, che proprio il piede del pendio della frana, risulta interessato da numerose emergenze idriche anche di portata elevata (1-1,5 l/sec.) probabilmente connesse allo scorrimento in subalveo delle acque del Torrente Vivione, che si infiltrano nei tratti di asta a monte dell'area, per poi riemergere proprio al piede del pendio, lungo una fascia ampia, che dal limite del fianco sinistro della frana (nicchia 1), si estende verso valle per circa 20-30 mt. Proprio questa emergenza di acque, connessa alla saturazione delle masse di terra e allo scorrimento concentrato lungo direttrici di deflusso, ha rappresentato la causa scatenante del fenomeno. Sono inoltre da considerare come cause predisponenti la forte pendenza del pendio e l'azione erosiva del piede ad opera delle acque torrentizie. Questo fenomeno è stato importante nelle prime fasi dell'evento, per cui a seguito del franamento del materiale in alveo, il torrente aveva ricavato una linea di deflusso proprio lungo il piede, aggirando il grosso masso e scorrendo tra questo e la frana, con il conseguente progressivo franamento e formazione della nicchia denominata nicchia 3 in continuo degrado e movimento. La deviazione operata con le attività di somma urgenza ha proprio mirato a deviare le acque e spostarle dal piede de pendio, oltre il grosso masso presente in alveo..

Di seguito alcune fotografie della situazione relative al dissesto e ai lavori di somma urgenza.

LA FRANA APPENA POCO DOPO IL CROLLO





Il grosso masso che è stato utilizzato come elemento di vincolo per lo spostamento dell'asta torrentizia.

I LAVORI DI SOMMA URGENZA

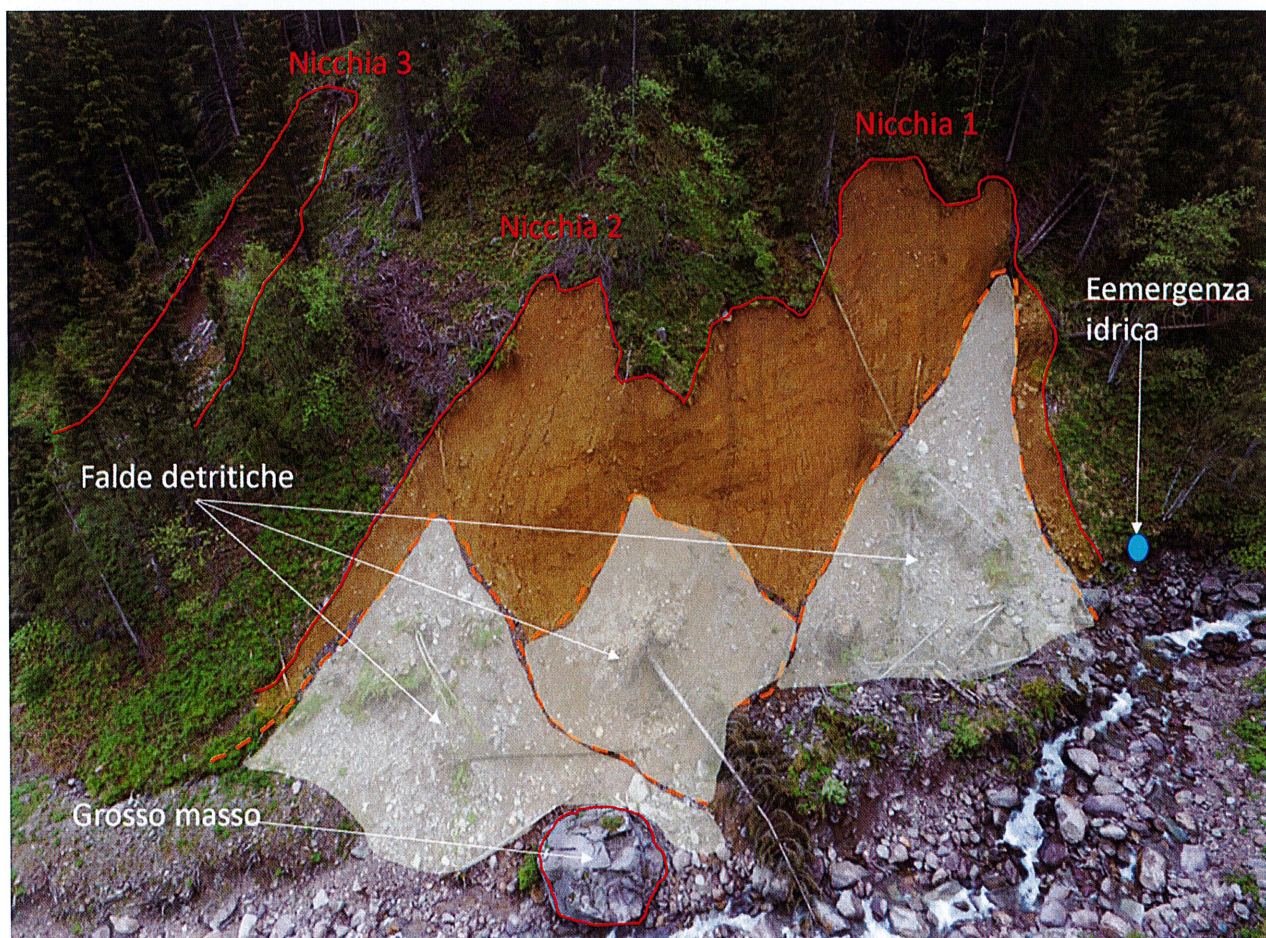


INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELLE PROBLEMATICHE

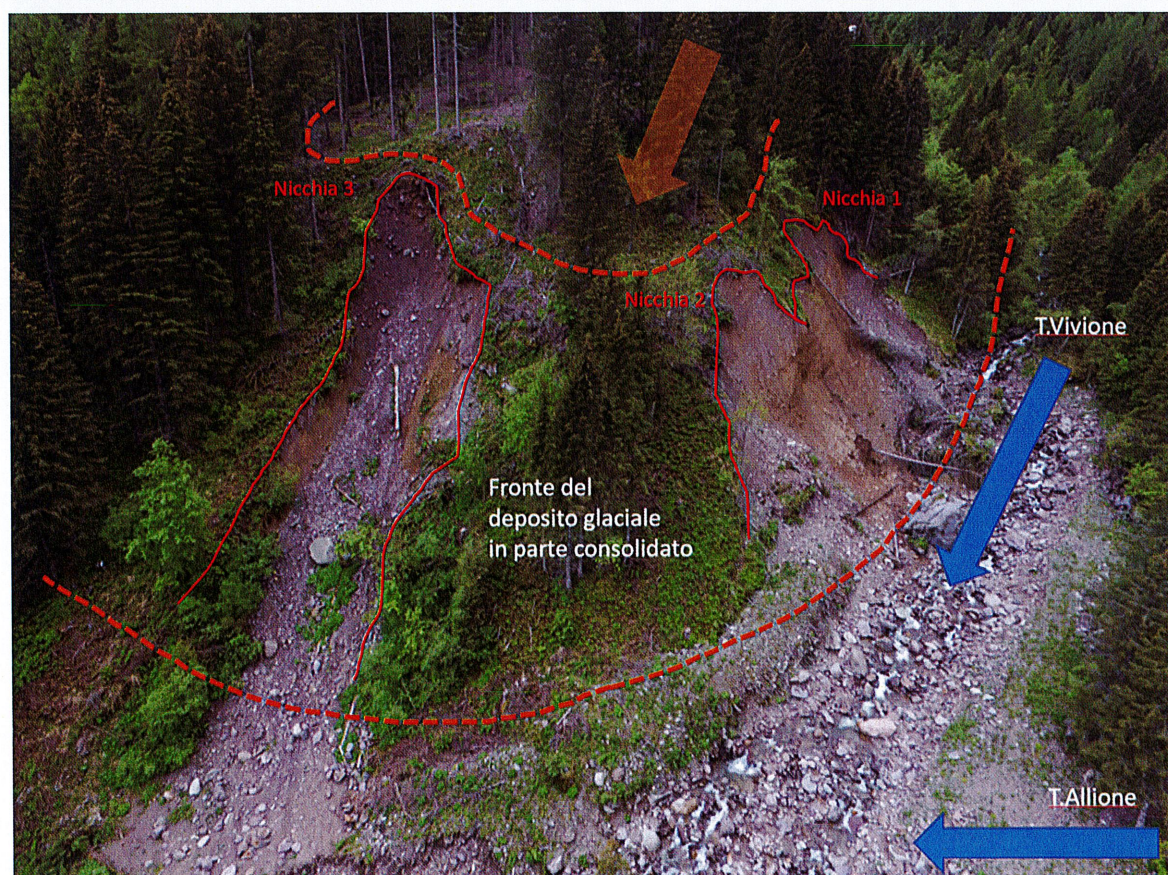
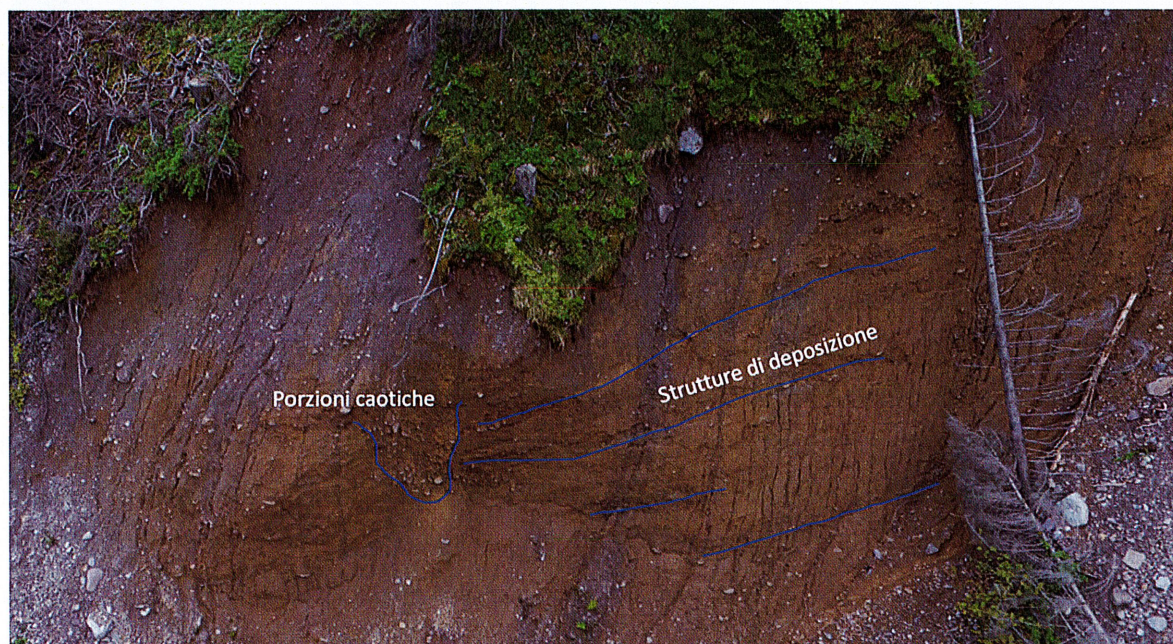


La situazione attuale

Allo stato attuale, rispetto all'evento del 2017 e alle relative opere di somma urgenza il versante ha continuato ad erodersi con progressivo arretramento della nicchia ed un modesto se non irrilevante arretramento laterale. Il materiale si è ben accumulato ai piedi del versante, tra questo ed il grosso masso e quindi tra il piede e la parte di sponda che venne ricavata in somma urgenza. Tutto sommato si nota anche un certo grado di rinaturalizzazione dei depositi con crescita di manto erboso e colonizzazione di specie vegetali. Questo riguarda tutte e tre le nicchie di distacco principali.



È sempre presente l'emergenza idrica sul fianco sinistro della frana Nicchia 1 e nella porzione centrale della nicchia di distacco si presenta un discreto grado di cementazione del deposito che ne conferisce stabilità. La confluenza dei due torrenti non presenta problematiche particolari e l'asta del torrente Vivione che è stata modificata in fase di somma urgenza, si è mantenuta stabile. Il materiale che costituisce il pendio è di origine glaciale (till di ablazione e till di franamento colata del fronte glaciale) presenta alcune strutture di stratificazione e porzioni più caotiche. Si tratta di fatto di un deposito glaciale laterale alla valle principale del passo del Vivione.



Per quanto riguarda l'intervento in località Forno Loven, Baite Capriolo, si rileva la presenza di un dissesto che interessa la sponda sinistra orografica del corso d'acqua dove il ponte non ha fondazione ma l'impalcato è poggiato direttamente sulla sponda che in questo punto vede la presenza di una difesa in massi a secco.

L'azione erosiva del torrente soprattutto sulla sponda sinistra, ha di fatto determinato il cedimento della difesa ed il conseguente abbassamento dell'impalcato per alcuni decimetri. Tale condizione è favorita dalla curvatura che il torrente compie appena a monte del ponte, tale per cui le acque in piena tendono a sollecitare molto di più la sponda sinistra orografica come si può vedere nelle fotografie sotto riportate.

In tal caso il collasso dell'impalcato nel corso d'acqua costituirebbe una sicura ostruzione e modifica del regime idraulico del torrente e se ne auspica una sua sistemazione comprensiva della sponda destra e sinistra orografica con difese di sponda in grossi massi e berma di fondazione con massi e cemento.

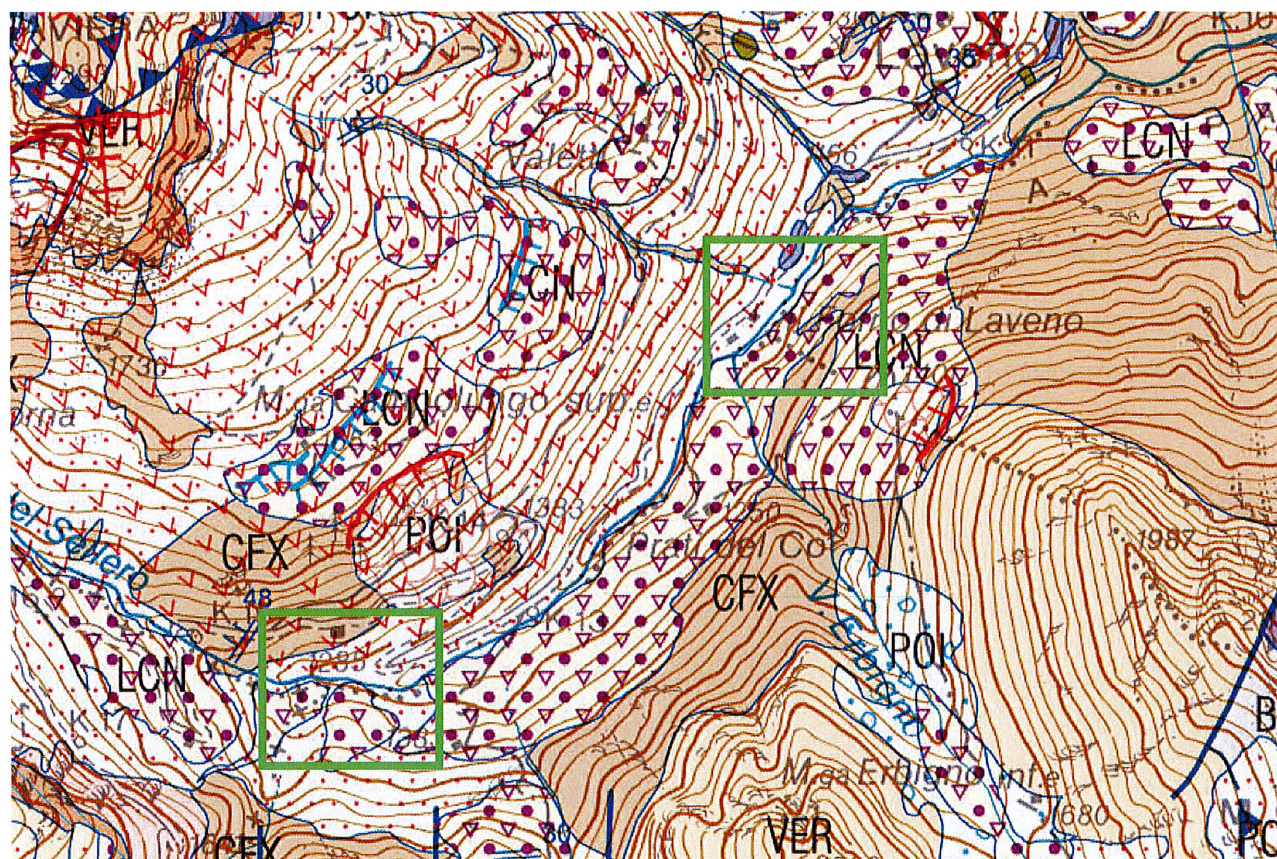
Il torrente non presenta sia a monte che a valle, indici di particolare instabilità, di fatto i grossi massi presenti fungono da soglie naturali e le pendenze dell'asta sono modeste.



FASE DI INDAGINE

Inquadramento geologico

Le caratteristiche generali del sito sono derivate dalle cartografie ufficiali esistenti, costituite dalla cartografia CARG (Foglio 057 – Malonno) e dalla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT Comunale.



SISTEMA DEL PO

SINTESI DELLA ghiaie massive con clasti eterometrici spigolosi (depositi di versante). Ghiaie e sabbie stratificate o in corpi lenticolari, limi massivi (depositi alluvionali). Limi laminati, sabbie fini, torbe (depositi lacustri e di torbiera). Damionti massivi a supporto di matrice con clasti da sub angulosi ad arrotondati (limi dablazione e di alloggiamento). Superficie limite superiore caratterizzata da alterazione assente e morfologie ben conservate o ancora in evoluzione

DESCRIZIONE Piccola Età Glaciale (PGL)
Superficie limite caratterizzata da orizzonte B poco sviluppato, morfologie ben conservate, esente inerbimento sino a limitata vegetazione arborea. **PICCOLA ETÀ GLACIALE (PEG), 1500-1860 AD.**
Subsistema del Po recente (POL)
Superficie limite caratterizzata da orizzonte B assente, morfologie in evoluzione, inerbimento da cespicio a nullo, con sviluppo di vegetazione pioniera **PEG - ATTUALE**

PLEISTOCENE SUPERIORE, OLOCENE

SUPERSINTEMA DEI LAGHI

PERISMETITE DEI LAGHI
Diametron massivi (fil di allungamento e di ablazione). Ghiaie medie e grossolane, stratificate, a supporto di matrice sabbiosa o in lenti alternate a diversa granulometria (depositi alluvionali): diametron, ghiaie, sabbie, limi con grande variabilità di facies sia laterale che verticale, in genere stratificati (depositi di contatto ghiaie); ghiaie, sabbie, limi e argille lamellari (depositi lacustri); ghiaie con elementi sporgoli alterate, con matrice argillosa arrossata (depositi di versante). Superficie limite superiore caratterizzata da morfologia ben conservata, copertura loessica assente, profilo di alterazione poco evoluto.

SISTEMA DI CANTÙ (LCN): til d'alloggiamento e di ablazione; depositi alluvionali; depositi di contatto glaciale; depositi lacustri; depositi di versante. Superficie limite superiore con profilo di alterazione poco evoluto, spessore massimo 2 m, colore della matrice 7,5 -10YR.

VERBUCANO LOMBARDO

PERMIANO SUPERIORE *p.p.*

MICASCISTI A BIOTITE, GRANATO, CLORITOIDE E/O STAUROLITE

CLASIFICACIÓN: *CLAS. DE GRÁFICO*; *CLAS. DE GRÁFICO*; con foliación (S_1) marcada por filices de mica y clorite (fascias scití verd.) alternas a domini a cuarzo y plagioclaso. Porfiroblastos micríticos de albite forman bandas sub-paralelas a S_1 . Contengono relictos estruturais (D_1 , D_2). La foliación compuesta S_2 es marcada por biotite, mica chiara, granato, plagioclaso, cloriotite (S_2), fñonbolita (a epidoto), staurolite (S_3 , fascias fanbolita), cuarzo rutto, \pm limonite, \pm epidoto, \pm formarina. A Sud della linea del Scellero, Fanduliste sovraccopre la foliazione S_2 , erculata durante gli stadi iniziali di D_2 , fanduliste è porfiroclastica dove S_2 è milonitica. (Scititi di Edolo Aut. p.p.; EDO p.p. del limitrofo F. Adamo).

VULCANITE DEL MONTE CARIANCA

Ignimbriti da intermedie a acide, talora con fenocristalli di quarzo e feldspati alcalini in una massa di fondo da microcristallina a africa con strutture axiolitiche e fiamme, oppure completamente afriche, in livelli da matrici a decametrici, generalmente di colore verde chiaro - biancastro. A tetto delle ignimbriti e intercalate ad esse si trovano epiclastiti e breccie vulcaniche intraformazionali (VUC), generalmente fittamente clivato (clivaggio S_0 alpino). Spessore massimo 250 m (alto bacino Serio).

PERIMETRO INFERIORE?

Stralcio del Foglio CARG 057-Malonno e relativa legenda; in verde l'area in esame – non in scala

Il sito in esame è collocato lungo la valle del T. Allione, nelle immediate vicinanze dell'alveo stesso del torrente.

Dal punto di vista geologico, nelle aree in esame affiorano le rocce appartenenti al substrato roccioso e i depositi di copertura recenti. Il substrato roccioso è rappresentato sul foglio CARG 057 – Malonno dalla formazione dei Micascisti a biotite, granato, cloritoide e/o staurolite (**CFX**), costituita da micascisti con intercalazioni gneissiche e filladiche con mica chiara, cloritoide, quarzo e plagioclasio, in cui sono ben registrate due foliazioni metamorfiche; l'età della formazione è pre-varisica. A tetto di questa formazione si colloca la Vulcanite del Monte Cабianca (**VUC**), formazione costituita da ignimbriti con livelli di brecce vulcaniche di età Permiano Inferiore. Al di sopra si trovano i primi termini della successione sedimentaria permo-mesozoica, rappresentati dalla formazione del Verrucano lombardo (**VER**), costituita da conglomerati con intercalazioni di arenarie rossastre e aventi età Permiano Superiore. In entrambe le zone di progetto, il substrato roccioso è costituito dai Micascisti (**CFX**) che, però, sono sempre coperti dai più recenti depositi, salvo quando ci si approssima ai versanti più acclivi.

Le coperture quaternarie sono rappresentate da depositi di origine glaciale, detrito di falda e depositi di frana. Il CARG distingue due gruppi di sedimenti recenti: un gruppo più antico, raccolto nel Sintema di Cantù (**LCN**), datato al Pleistocene Superiore, e un gruppo più recente raccolto nel Sintema del Po (**POI**), di età compresa fra il Pleistocene Superiore e l'attuale. Dal punto di vista compositivo e granulometrico, i depositi glaciali (**LCN**) sono costituiti da miscele di ghiaie e sabbie in abbondante matrice limosa, con ciottoli da sub-angolosi a sub-arrotondati e occasionali blocchi anche di notevoli dimensioni, plurimetriche; i depositi detritici sono costituiti da ghiaie con più o meno matrice sabbiosa grossolana, con ciottoli angolosi; infine, i depositi di frana sono costituiti da miscele di ghiaie e sabbie con ciottoli e blocchi, immerse in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa relativamente abbondante, dove i ciottoli e i blocchi, angolosi, raggiungono anche dimensioni metriche. Va fatto notare come in corrispondenza dell'alveo del T. Allione si individui la presenza di depositi torrentizi associati alla dinamica del torrente stesso, costituiti da ghiaie grossolane con ciottoli più o meno arrotondati, immersi in una matrice sabbiosa non troppo abbondante e con blocchi anche metrici o di dimensioni superiori.

A livello tecnico, tutti questi depositi mostrano delle caratteristiche comunque da medie a buone, in virtù dell'ampio assortimento granulometrico (glaciali) o dell'importante frazione ghiaiosa. Va comunque sottolineato, soprattutto per i depositi glaciali abbondantemente presenti e con spessori anche importanti in destra idrografica, come la presenza di acqua nei depositi sia un fattore di importante degrado delle proprietà tecniche degli stessi, specialmente in quelli con abbondante matrice che, se in condizioni secche mostra una certa coesione, quando saturata perde completamente ogni capacità autoportante e, anzi, tende a "fluidificare" favorendo l'instabilità del versante. Tali problematiche sono comuni ai depositi glaciali e a quelli di frana che li rimaneggiano, mentre sono meno importanti per i depositi torrentizi e i depositi detritici, più francamente ghiaiosi.

Dal punto di vista strutturale, nell'area in esame non si segnala la presenza da parte del Foglio CARG 057 – Malonno di alcun lineamento di significativa importanza.

Inquadramento geomorfologico

Morfologicamente, il bacino dei torrenti che interessano le aree di progetto è caratterizzato dalla diffusa presenza di movimenti franosi a varia scala, favorito dall'abbondanza di depositi glaciali e dall'azione di incisione dei torrenti stessi.

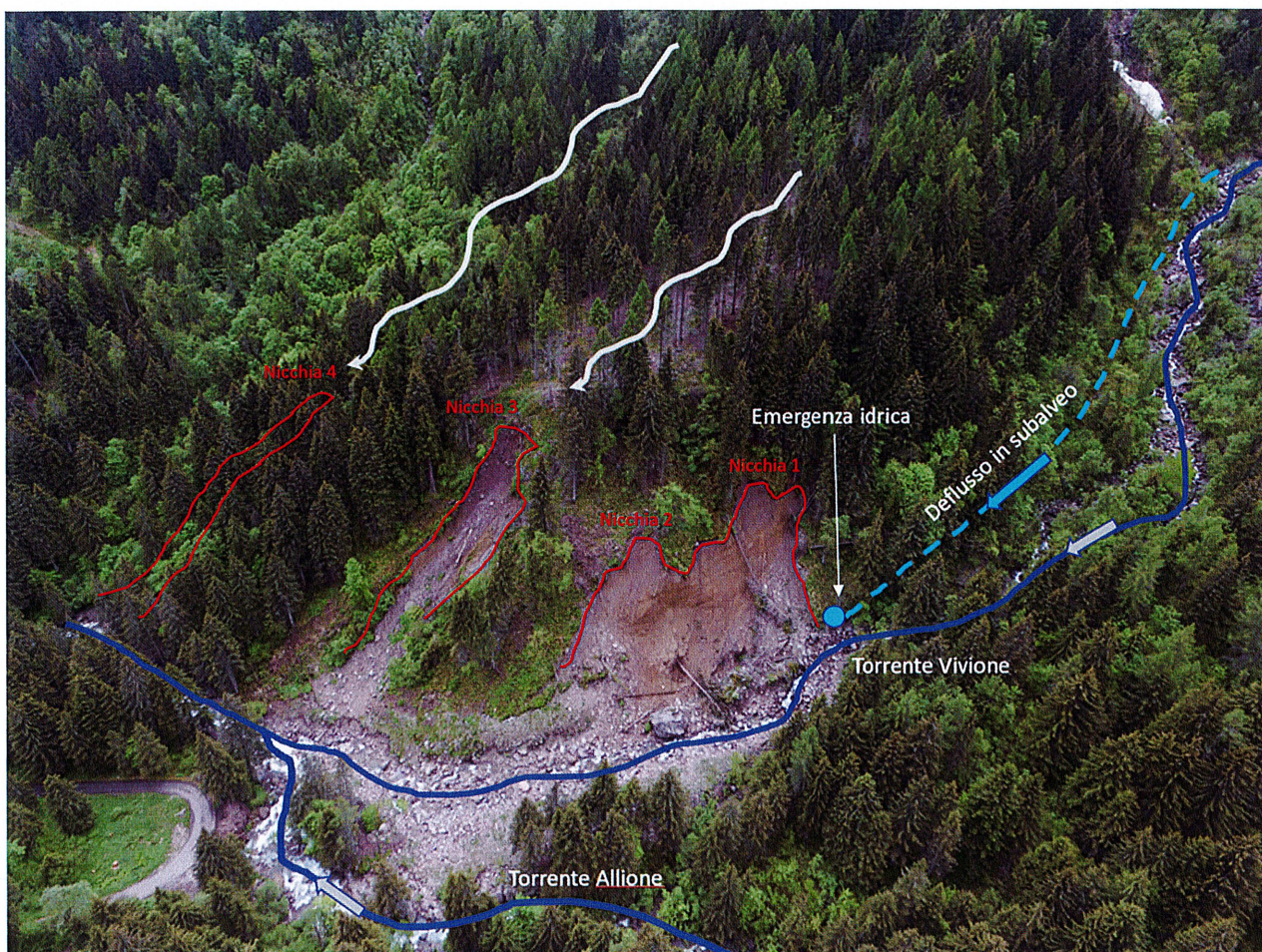
Più nello specifico, il primo sito in esame è caratterizzato dalla presenza di una ristretta superficie irregolare a pendenza moderata, inclinata secondo il deflusso delle acque del torrente limitrofo e collocata entro due ripidi versanti che delimitano la valle. La superficie, costituita da depositi di natura torrentizia frammisti a contributi di origine gravitativa ed eluvio-colluviale, è incisa abbondantemente dal Torrente Allione, il quale ha scavato il proprio alveo nel corso del tempo individuando sulla sponda sinistra una scarpata alta un paio di metri e andando ad erodere al piede il versante sulla sponda destra. A partire da un centinaio di metri a valle della confluenza con il rio secondario di sinistra (torrente Vivione), il corso del torrente si allontana poi dal versante destro della valle, riprendendo a incidere il fondovalle.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area è molto attiva. Il versante vallivo sinistro, infatti, è caratterizzato, direttamente a monte del sito d'intervento, dalla presenza di una nicchia di distacco abbastanza estesa, riportata anche nel CARG, cui si associa la presenza direttamente a valle di un esteso corpo di frana. Questo appare però stabilmente vegetato e non mostra significative evidenze di attività recente. Il versante vallivo destro è stato invece coinvolto in un esteso fenomeno gravitativo superficiale, che ha portato buona parte dei depositi di copertura presenti sul versante in corrispondenza della confluenza nel T. Allione del T. Vivione: l'innescò dell'instabilità è da ritenersi legato all'interazione del corso d'acqua con il versante; gli interventi analizzati nella presente relazione sono infatti volti a mitigare il rischio legato proprio a questo fenomeno che si configura come una stretta connessione auto-alimentante tra dinamica torrentizia (erosione del piede del versante) e gravitativa (scivolamenti superficiali) favorita dal fatto che in questa zona il versante, al piede, è costituito da spessi depositi glaciali molto esposti all'azione di erosione da parte delle acque.

Per quanto riguarda la seconda zona, essa si colloca in un punto il cui la stretta valle dell'Allione tende ad aprirsi leggermente, situazione che ha consentito al torrente di depositare una certa quantità di sedimenti creando una piccola piana torrentizia su cui sorgono alcuni fabbricati. Si tratta in questo caso di una zona dominata da processi torrentizi, in cui i fenomeni principali sono quelli di possibile esondazione dell'Allione e di trasporto solido ad opera dello stesso torrente, che possono interessare solamente l'alveo del corso d'acqua o, in caso di esondazione, allargarsi alle immediate vicinanze. L'azione di erosione è limitata alle sponde del torrente stesso.

Aspetti idrologici e idrogeologici

Dal punto di vista idrogeologico, il sito in esame è caratterizzato dalla presenza di depositi grossolani o molto grossolani a media ed elevata permeabilità, ma tenuto conto delle caratteristiche morfologiche dell'area nonché dell'estrema vicinanza del torrente, si ritiene poco plausibile la presenza stabile di una vera e propria falda idrica superficiale, quanto di direttrici preferenziali di deflusso connesse all'andamento in subalveo soprattutto del torrente Vivione. La presenza della venuta idrica sul fianco sinistro della nicchia 1 è probabilmente proprio connessa a deflussi poco profondi alimentati da monte dalle acque del Torrente Vivione.



La nicchia 3 e la nicchia 4 sono collegate a direttrici superficiali di deflusso delle acque ed è pertanto ipotizzabile che in occasione di ingenti piogge si verifichino delle concentrazioni abbonanti di acque di scorrimento dal pendio.

Chiaramente, in corrispondenza ad eventi di piena del torrente è del tutto probabile che i depositi si saturino; inoltre, in presenza di precipitazioni sufficientemente intense, è plausibile che il deflusso idrico superficiale che defluisce dai versanti vicini si possa, almeno in parte, infiltrare.

Il principale elemento del reticolo idrografico locale è rappresentato dal Torrente Allione e dal Vivione, il primo in portata e deflussi ordinari e straordinari, superiori al secondo. Il Torrente Allione, scorre lungo una direttrice grossomodo est-ovest entro un'incisione erosa sia entro le coperture quaternarie sia entro le rocce del substrato, producendo a valle del sito d'indagine una vera e propria forra. Il corso d'acqua manifesta carattere permanente, ma con portate idriche molto variabili; com'è tipico per un torrente montano, anche l'entità del trasporto solido risulta molto variabile, specialmente in concomitanza con fenomeni valanghivi durante i mesi invernali e primaverili, lo scioglimento delle nevi in quota e l'innescare di fenomeni di colata di detrito.

Gran parte del bacino idrografico considerato per la stesura della presente relazione è però da riferirsi al rio secondario che, scorrendo in direzione NE-SO, confluisce in corrispondenza del sito in esame nel T. Allione. Similmente a quest'ultimo, anche il rio secondario del Vivione, mostra carattere perenne con significative variazioni sia nella portata idrica che nel trasporto solido.

Indagini eseguite

Allo scopo di eseguire un'analisi topografica il più vicina alla realtà possibile è stato prodotto un modello digitale del terreno (DTM) di dettaglio tramite esecuzione *ad hoc* di un rilievo topografico tramite drone dotato di sensore LiDAR.

Per la descrizione dei caratteri sismici del sito si è inoltre realizzata un'indagine sismica con tecnica MASW finalizzata a ricavare il parametro Vseq di sito.

Indagine MASW

È stata eseguita n° 1 indagine MASW finalizzata all'identificazione del profilo delle Vs entro i primi 30 m di deposito e la conseguente definizione del parametro Vseq. L'indagine è stata eseguita utilizzando 24 geofoni da 4.5 Hz disposti in un array lineare di 46 m (passo di 2 m tra i geofoni). L'energizzazione è stata eseguita tramite mazza da 10 kg energizzando a distanza di 6m dal primo geofono. Per l'energizzazione sono stati eseguiti 10 stack, in ragione del ridotto rumore ambientale presente in sito. L'acquisizione è stata eseguita con un'unità DMT Summit One X.

L'analisi MASW è stata condotta tramite il software SWAN, seguendo gli step elencati sotto:

- Pulizia delle tracce sismiche e selezione della finestra di interesse per il segnale (in modo da escludere eventuali disturbi precedenti o successivi il segnale stesso);
- Elaborazione delle tracce per ottenere gli spettri velocità-frequenza (f-v) e frequenza-numero d'onda (f-k);
- Identificazione della curva di dispersione tramite interpretazione dello spettro f-k e successiva verifica in f-v;
- Applicazione del processo d'inversione sulla curva di dispersione ottenuta;
- Valutazione del modello di sottosuolo risultante.
-

Si riportano nel seguito alcuni stralci significativi del processo di elaborazione, nonché la curva di dispersione ottenuta e fittata, con il conseguente modelli del sottosuolo e profilo dell'andamento delle Vs con la profondità.

Si può osservare sul profilo un progressivo aumento delle Vs con la profondità, con livelli superficiali a velocità ridotte che passano successivamente a depositi più rigidi con velocità crescenti fino a intercettare il bedrock sismico a profondità di circa 15 m.

Vale la pena sottolineare come il picking utilizzato è derivato dall'interpretazione degli spettri mostrati, dove è evidente un massimo nell'andamento delle energie (striscia rossa), sotto cui si sviluppano dei massimi secondari (punti e strisce gialli) interpretabili come modo fondamentale su cui basare l'interpretazione.

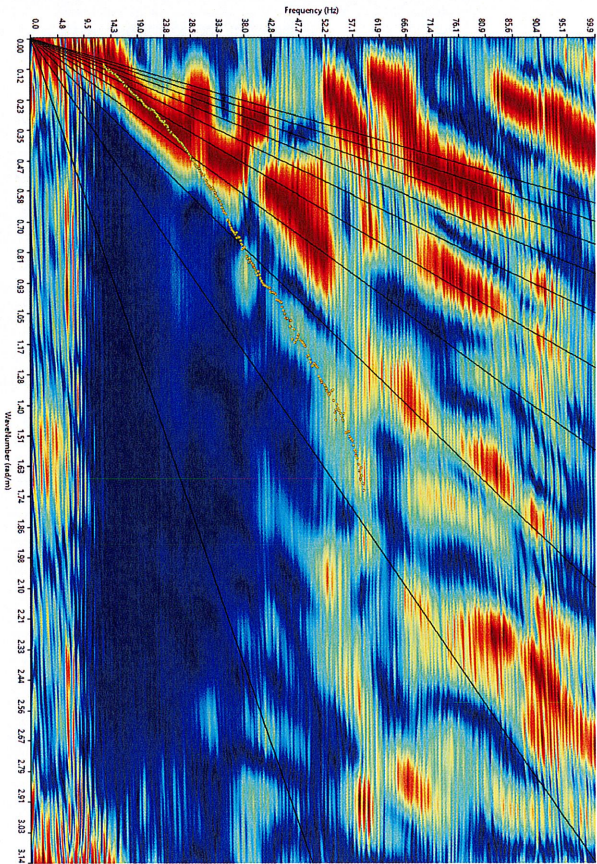
In base ai profili delle Vs con la profondità, lo stendimento fornisce un valore di Vseq di 463 m/s.

Le NTC 2018 (§3.2.2 e 3.2.3) richiedono una caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo mediante il parametro Vseq. Il valore estrapolato dall'indagine eseguita, suggerisce la categoria di suolo B.

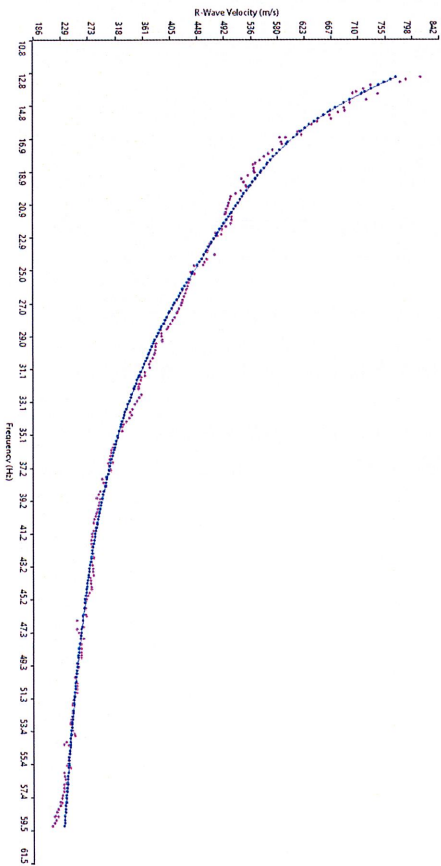
Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

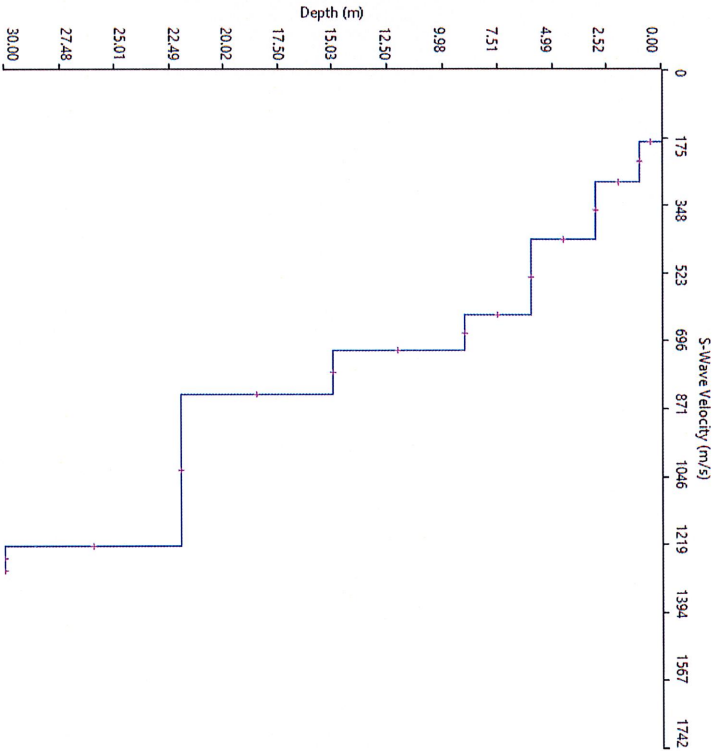
MASW



Sopra: spettro f-k normalizzato con sovrapposizione del picking derivato dallo scoppio.
Sotto: curva di dispersione ottenuta dal picking (fucsia) e curva modellata (blu).



FASE DI INDAGINE



Vs,eq = 463 m/s

Layer	Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
Layer 1	1.00	0.00	184	368	0.333	1.800
Layer 2	2.00	1.00	287	574	0.333	1.800
Layer 3	3.00	3.00	436	871	0.333	1.800
Layer 4	3.00	6.00	630	1259	0.333	1.800
Layer 5	6.00	9.00	721	1441	0.333	1.800
Layer 6	7.00	15.00	833	1665	0.333	1.800
Layer 7	8.00	22.00	1222	2442	0.333	1.800
Layer 8	INF	30.00	1285	2568	0.333	1.800

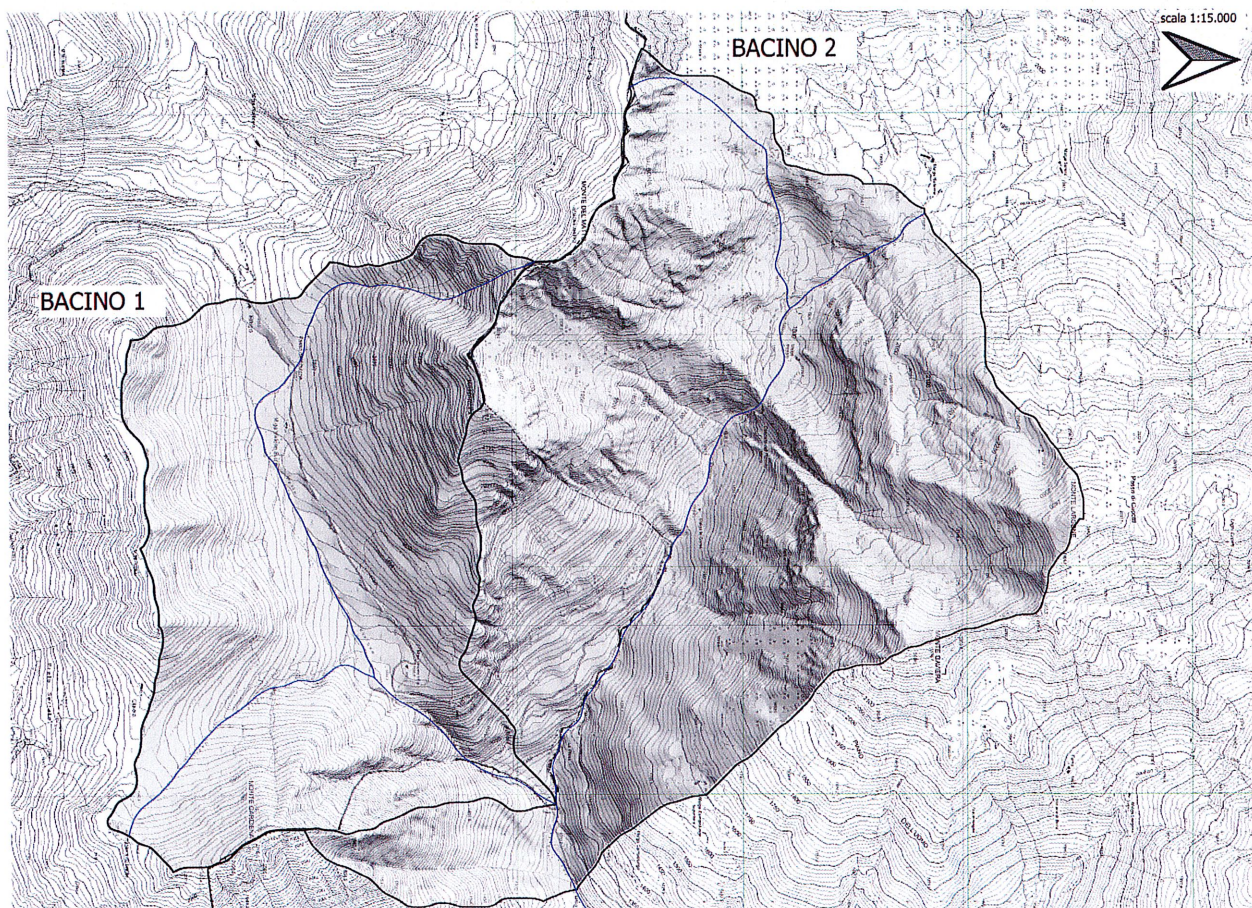
Sopra: profilo Vs-profondità corrispondente alla curva di dispersione modellata.
Sotto: tabella di elenco dei livelli modellati, con indicazione degli spessori e delle velocità.

FASE DI ELABORAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI DATI

Analisi morfometrica del bacino

L'analisi morfometrica e le caratteristiche intrinseche del bacino sono state effettuate sulla base del modello digitale del terreno (DTM) della Regione Lombardia. Per bacino idrografico si intende l'entità geografica costituita dalla proiezione su un piano orizzontale della superficie scolante sottesa alla sezione di chiusura.

In questo caso sono stati considerati due bacini che hanno sezione di chiusura alla quota di circa 1243 m s.l.m (bacino 2) e alla quota di circa 1290 m s.l.m. (bacino 1).



Stralcio bacino 1 e bacino 2 non in scala

A seguire riportiamo parametri morfometrici determinati dei due bacini individuati.

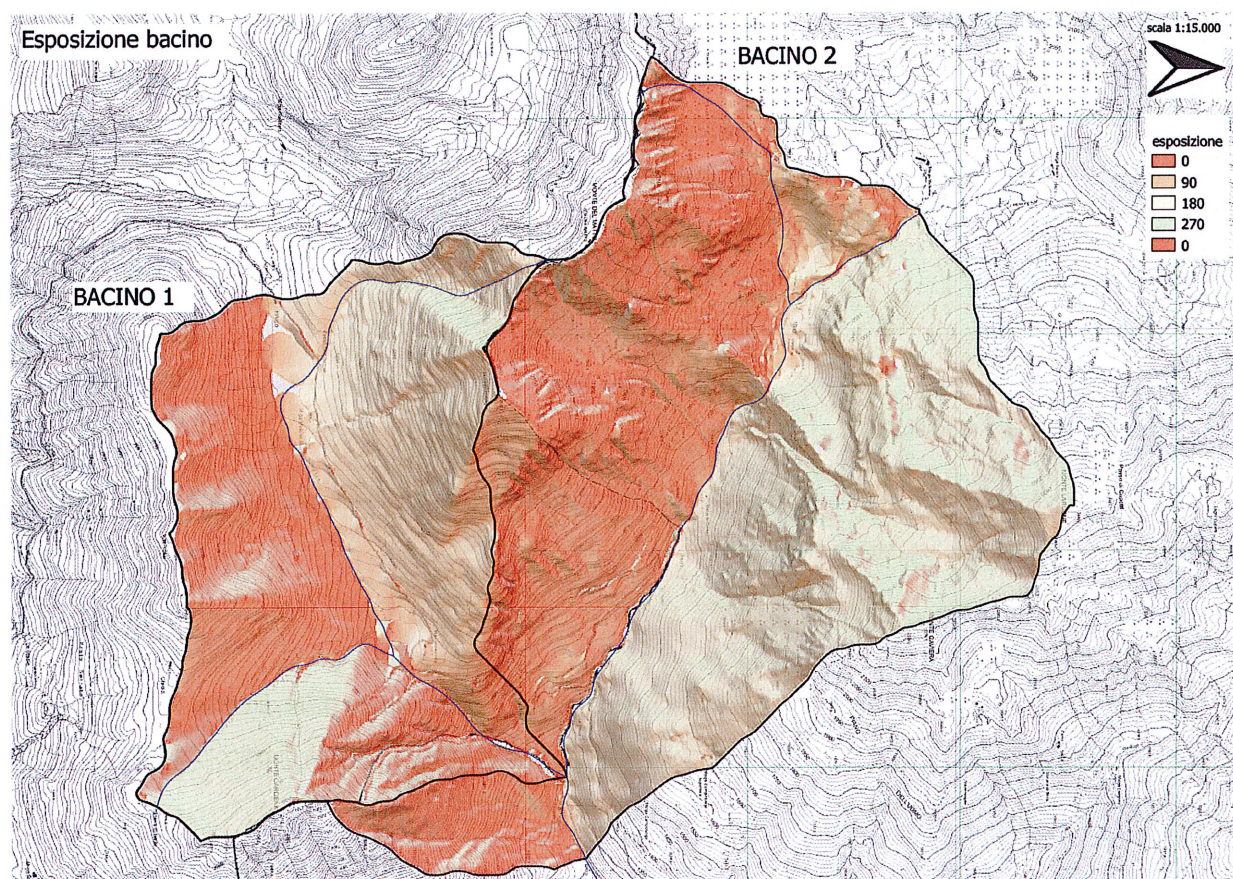
Bacino 1 - T. Vivione	
Area [kmq]	3,7
Lunghezza asta principale [km]	3,9
Quota massima [mt s.l.m.]	2344
Quota minima [mt s.l.m.]	1290
Quota media [mt s.l.m.]	1881
Portata Tr 100 [mc/sec]	18
Tempo di corrivazione [h]	0,7

Bacino 2 – T.Allione	
Area [kmq]	10
Lunghezza asta principale [km]	4,5
Quota massima [mt s.l.m.]	2442
Quota minima [mt s.l.m.]	1243
Quota media [mt s.l.m.]	1879
Portata Tr 100 [mc/sec]	38
Tempo di corrivazione [h]	0,96

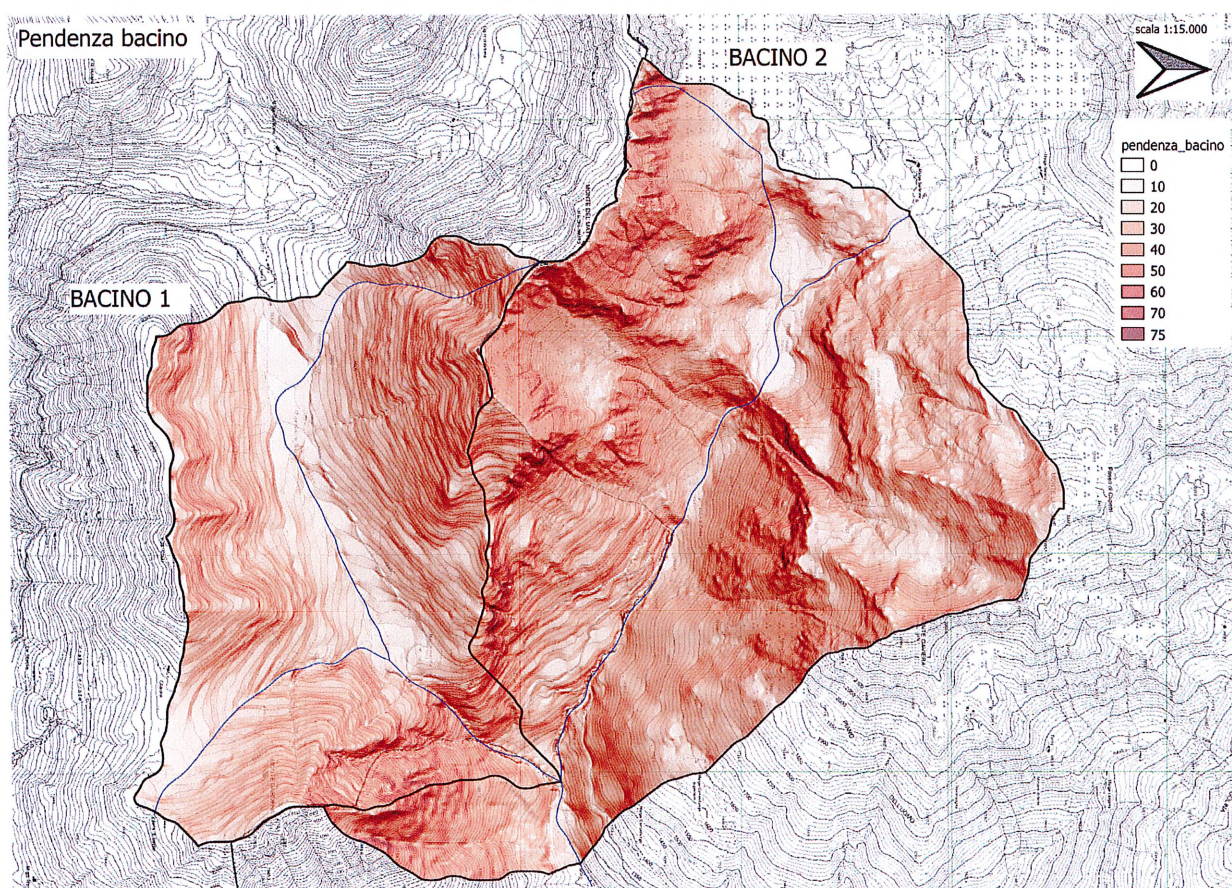
Pendenza ed esposizione bacino

Sempre sfruttando il DTM 5x5 di Regione Lombardia e un sistema informativo geografico è stato possibile ricavare una carta rappresentante le pendenze del bacino e una la diversa esposizione dello stesso.

Tali elaborazioni vengono riportate come stralci nelle immagini sottostanti:



Stralcio carta dell'esposizione non in scala



Stralcio carta delle pendenze non in scala

Calcolo delle portate liquide

Nello studio idraulico di un corso d'acqua la variabile fondamentale è la portata di massima piena. Tale variabile deve essere associata ad un tempo di ritorno T_r che indica il numero di anni in cui la portata è raggiunta o superata in media una sola volta. Il T_r va scelto in base alle normative vigenti, al rischio ed al tipo di sistemazione del bacino. In questo studio si tengono in considerazione tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni. I metodi adottati per la stima della portata al colmo sono i seguenti:

- Metodo razionale;
- Metodo razionale modificato;

In questo caso il calcolo della portata è stato fatto per il bacino con chiusura posta alla quota di circa 1250 metri s.l.m. in corrispondenza del guado oggetto di intervento.

Metodo razionale

Il metodo indiretto di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, come indicato dalle direttive PAI dell'Autorità di Bacino del Po (Legge 18 maggio 1989 n. 183) è condotto utilizzando la seguente formula di calcolo della portata critica Q_c (assumendo nota la precipitazione temibile di assegnato tempo di ritorno):

$$Q_c = \phi \cdot S \cdot i(d_c, T_r, r) \cdot \varepsilon$$

Φ indica il coefficiente di deflusso, S l'area del bacino in kmq, i è l'intensità di precipitazione in funzione della durata critica d_c , del tempo di ritorno T_r e del coefficiente di ragguaglio r , infine ε è il coefficiente di laminazione.

Il tempo di corrivazione T_c viene determinato con la formula proposta da Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_m - h_0}}$$

S indica la superficie del bacino in kmq, L la lunghezza dell'asta principale, h_m l'altezza media del bacino in m slm e h_0 la quota della sezione di chiusura in m slm.

Le altezze di pioggia vengono calcolate in funzione della linea segnalatrice di possibilità climatica ($h_d = a d_n$) relativa alla cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense (cfr. All. 3 della Direttiva n. 2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po).

BACINO	cella	Tr = 20 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni	
		a	n	a	n	a	n
BACINO 2	EQ 50-51 ER 50-51	36,02	0,36	45,36	0,33	49,56	0,33
BACINO 1	EQ 51 ER 51	36,23	0,34	45,56	0,33	49,78	0,33

La portata di massima piena viene quindi definita secondo:

$$Q_c = 0,278 \frac{\phi \cdot h_d \cdot S}{T_c}$$

Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

BACINO 1	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
20	14,2
100	17,9
200	19,6

BACINO 2	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
20	30,8
100	38,8
200	42,4

BACINO 1

STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I. "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO			DATI RISULTANTI
S \Rightarrow 3,70	[kmq]	Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione $T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(h_m - h_o)}} \Rightarrow \mathbf{0,70}$ [ore]
L \Rightarrow 3,9	[km]	Lunghezza asta principale	
h_m \Rightarrow 1881	[m]	Altezza media del Bacino s.l.m.	
h_o \Rightarrow 1290	[m]	Quota della sez. di chiusura s.l.m.	

PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE

FORMULA		$h_d = a d^n$ h_d = massima precipitazione in mm al tempo t d = tempo di progetto (ore) = tempo di corrvazione a = fattore della curva relativo ad un determitato Tr n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr Tr = tempo di ritorno (100-200 anni)						
Curva di probabilità pluviometrica								
DATI CELLA DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE (Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)								
Cella	Est UTM	Nord UTM	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200
			36,235	0,3405	45,565	0,334	49,785	0,33
MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE								
Tr	h_d	h_d = massima precipitazione in mm al tempo t d = tempo di progetto[ore]=tempo di corrvazione [ore] 0,70 Tr = tempo di ritorno						
20	32,04							
100	40,38							
200	44,18							

PORTATE DI MASSIMA PIENA

FORMULA del METODO RAZIONALE			
$Q_c = 0,278 \frac{\phi \cdot h_d \cdot S}{T_c}$	dove	Q_c	portata al colmo
		ϕ \Rightarrow 0,3	coefficiente di deflusso
		h_d	massima precipitazione in mm al tempo d
		S \Rightarrow 3,7	[Km ²] Superficie Bacino
		T_c \Rightarrow 0,70	[ore] Tempo di corrivazione
RISULTATI			
Tr		Q _c [mc/sec]	
20	\Rightarrow	14,195	
100	\Rightarrow	17,892	
200	\Rightarrow	19,577	

Tr = tempo di ritorno [anni]

BACINO 2

STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I. "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO		DATI RISULTANTI
$S \Rightarrow 10,00$	[kmq] Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione $T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(h_m - h_0)}} \Rightarrow 0,96$ [ore]
$L \Rightarrow 4,5$	[km] Lunghezza asta principale	
$h_m \Rightarrow 1879$	[m] Altezza media del Bacino s.l.m.	
$h_0 \Rightarrow 1243$	[m] Quota della sez. di chiusura s.l.m.	

PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE

FORMULA		DATI CELLULA DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE (Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)	
Curva di probabilità pluviometrica	$h_d = ad^n$	h_d = massima precipitazione in mm al tempo t d = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione a = fattore della curva relativo ad un determinato Tr n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr Tr = tempo di ritorno (100-200 anni)	
Cella	Est UTM	Nord UTM	

MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE

Tr	h_d	
20	35,51	
100	44,77	
200	48,93	

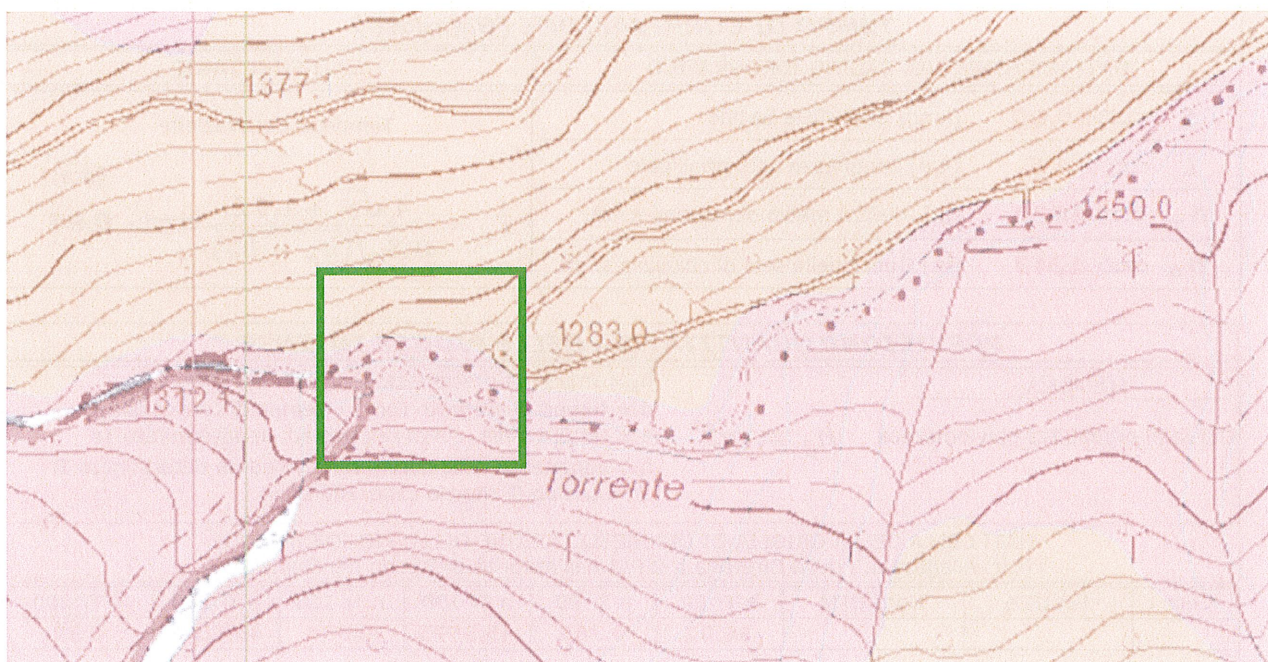
PORTATE DI MASSIMA PIENA

FORMULA del METODO RAZIONALE		RISULTATI	
$Q_c = 0,278 \frac{\phi \cdot h_d \cdot S}{T_c}$	dove	Q_c	portata al colmo
		$\phi \Rightarrow 0,3$	coefficiente di deflusso
		h_d	massima precipitazione in mm al tempo d
		$S \Rightarrow 10$	[Km ²] Superficie Bacino
		$T_c \Rightarrow 0,96$	[ore] Tempo di corrivazione
Tr		Q_c [mc/sec]	Tr = tempo di ritorno [anni]
20	\Rightarrow	30,798	
100	\Rightarrow	38,829	
200	\Rightarrow	42,436	

Vincoli

Fattibilità

Le opere previste nella zona 1 sono incluse all'interno di perimetrazioni di classe 4 di fattibilità geologica (fattibilità con gravi limitazioni) a causa della posizione delle opere entro l'alveo del Torrente Allione.



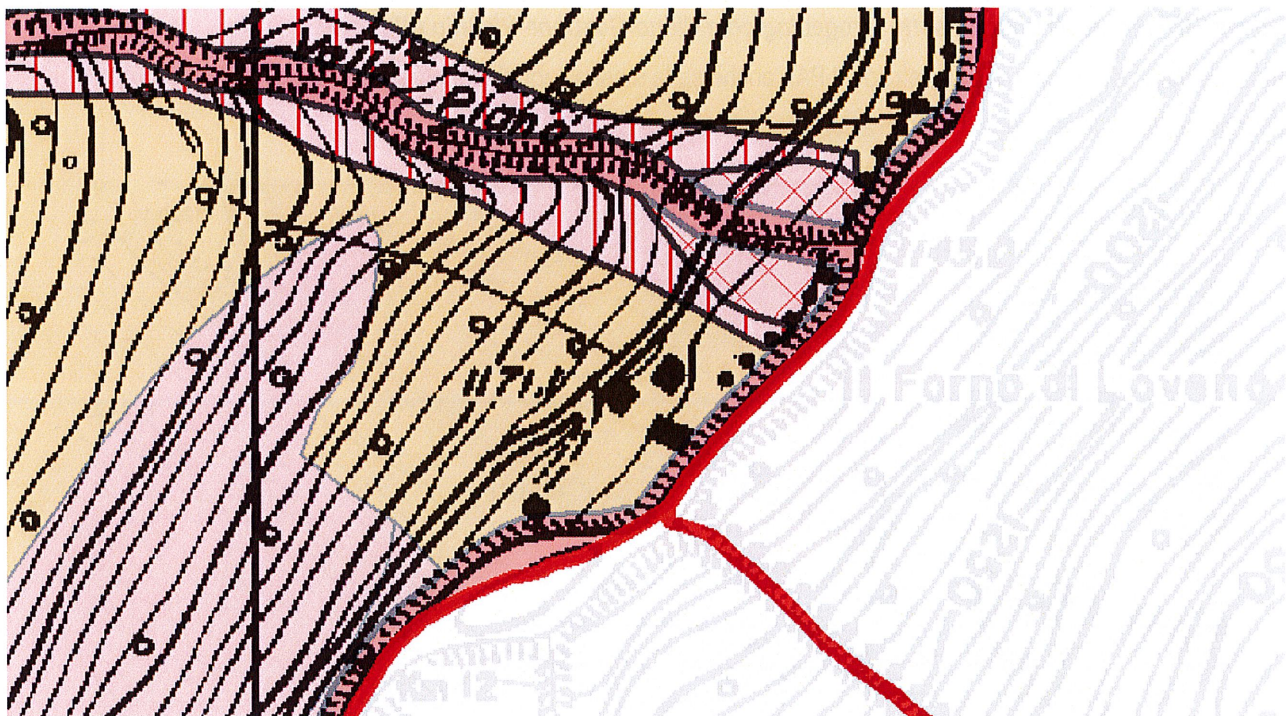
Mosaico della fattibilità

- non definita
- Classe 1 - Fattibilità senza limitazioni
- Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni
- Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni
- Classe 4 - Fattibilità con gravi limitazioni
- Ambiti soggetti a vincolo

Stralcio del mosaico della fattibilità geologica con relativa legenda, tratto dal Geoportale regionale; in verde l'area in esame – non in scala

Per la classe 4, l'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti, in cui rientrano le opere in progetto. Nel dettaglio le aree d'interesse per il presente studio si collocano entro la sottoclasse *RETICOLO*, in cui vigono le prescrizioni e le indicazioni riportate nel Regolamento di Polizia Idraulica dello "Studio per la definizione del Reticolo Idrico Minore e le rispettive fasce di rispetto in osservanza della D.G.R. n. VII/7868 del 25 gennaio 2002 e successive modifiche (D.G.R. n. VII/13950 del 1 agosto 2003)".

Anche l'area 2 si colloca in coincidenza di una classe 4 *RETICOLO*, nell'ambito di un'area altrimenti classificata come classe 3 *VERSANTE*.



Oltre al rispetto di quanto prescritto nel Documento di Polizia Idraulica, valgono quindi le prescrizioni della classe 3 VERSANTE, in cui sono consentiti, tra gli altri:

- *“gli interventi di manutenzione ordinaria degli edifici, di manutenzione straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a, b, e c, dell’art. 31 della L. 5 agosto 1978, n.457 [dell’art. 27, comma 1, della l.r. 12/05], senza aumenti di superficie e volume;*

[...]

- *gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d’uso che comportino aumento del carico insediativo;*
- *gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche o di interesse pubblico e gli interventi di consolidamento e restauro conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;*

[...]

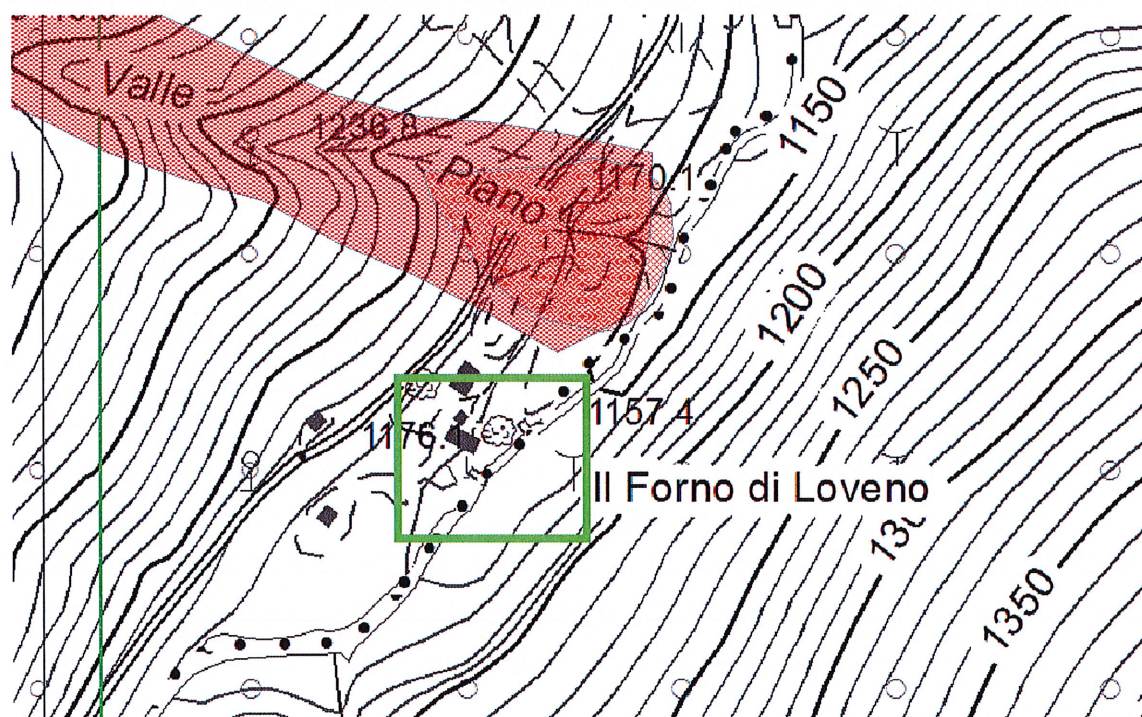
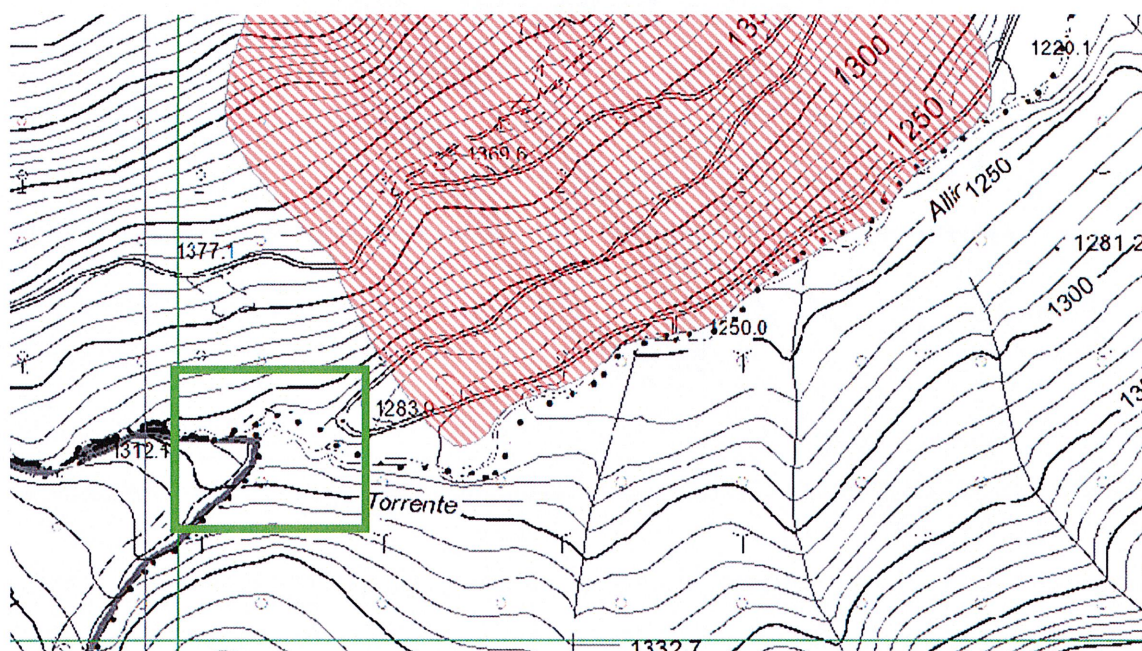
Risulta necessaria la redazione di una relazione geologico-tecnica a supporto del progetto, che dovrà verificare la compatibilità dell’intervento con la tipologia di fenomeno di dissesto presente (instabilità del versante, destabilizzazione del terreno superficiale, etc), ed ogni intervento dovrà essere preceduto da una fase di indagine geologica, mirata alla definizione del comportamento geotecnico dei terreni.”

Le limitazioni sopra esposte si intendono soddisfatte dal presente elaborato considerata anche la natura dell’intervento che prevede la sistemazione e la manutenzione di un’opera già esistente.

PAI e PGRA (Piano Stralcio Assetto idrogeologico e Piano Gestione Rischio Alluvioni)

Nessuna delle aree rientra in perimetrazioni PAI, anche se la stessa segnala fenomeni quiescenti nelle vicinanze.

Analogamente, le aree non rientrano in alcuna perimetrazione del PGRA.

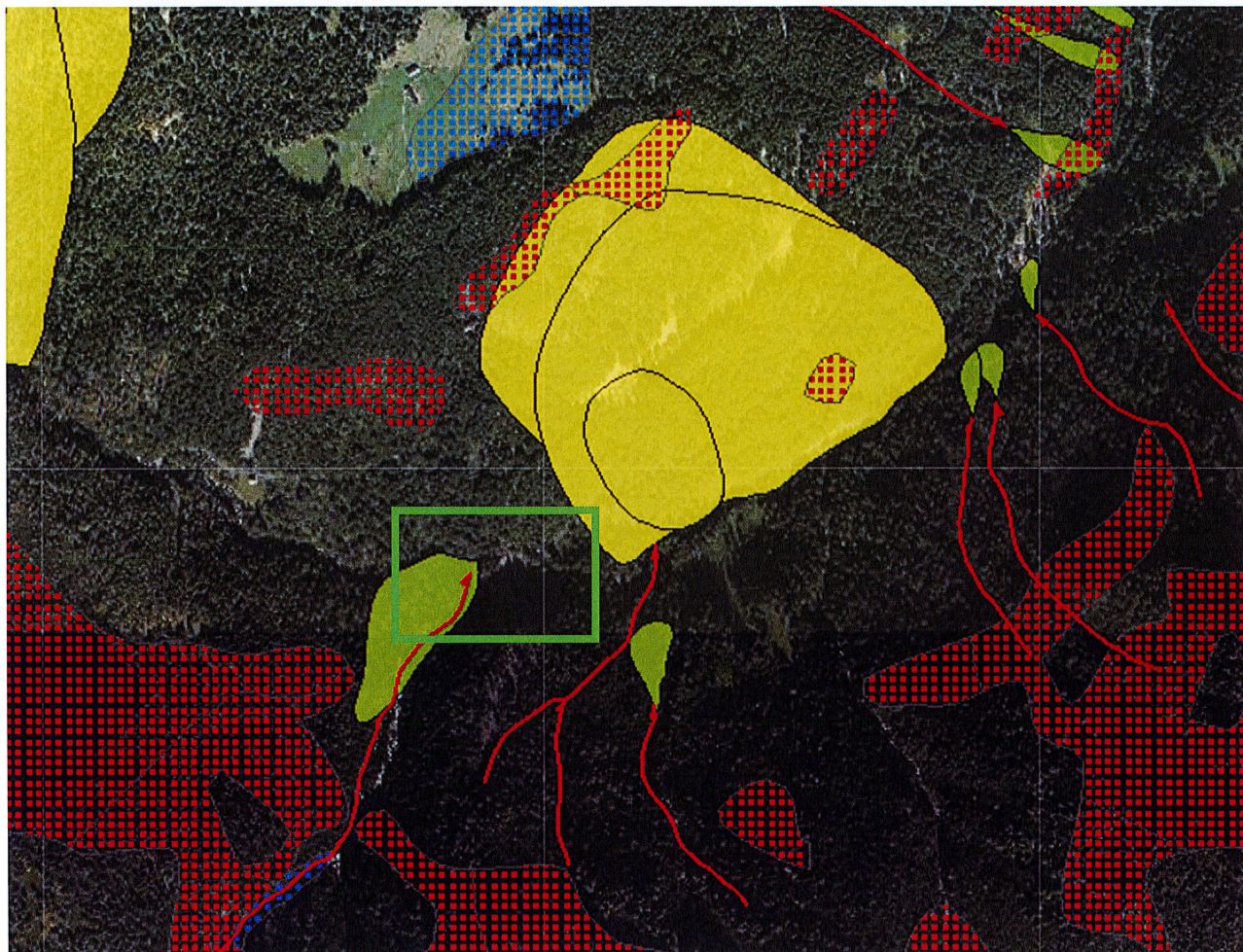


-  **FRANE:** Area di frana quiescente (Fq)/Modifiche e integrazioni
  **VALANGHE:** Area a pericolosità molto elevata o elevata (Va)/Modifiche e integrazioni

Stralcio della cartografia PAI e PGRA con relativa legenda, tratte dal Geoportale regionale; in verde l'area in esame – non in scala

IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi)

La cartografia IFFI mostra per la zona 1 la presenza diffusa sul versante destro della valle e in forma minore sul versante sinistro di fenomeni di crollo e/o ribaltamento; il versante destro è poi caratterizzato dalla presenza di diversi impluvi attivi in processi di colata di detrito di cui si apprezza la presenza di depositi nel fondo valle. Il versante sinistro è caratterizzato dalla presenza di un'estesa frana di scivolamento, già registrata dal PAI, più o meno articolata in fenomeni minori "parassiti".



Frane lineari



Aree a franosità diffusa



Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi



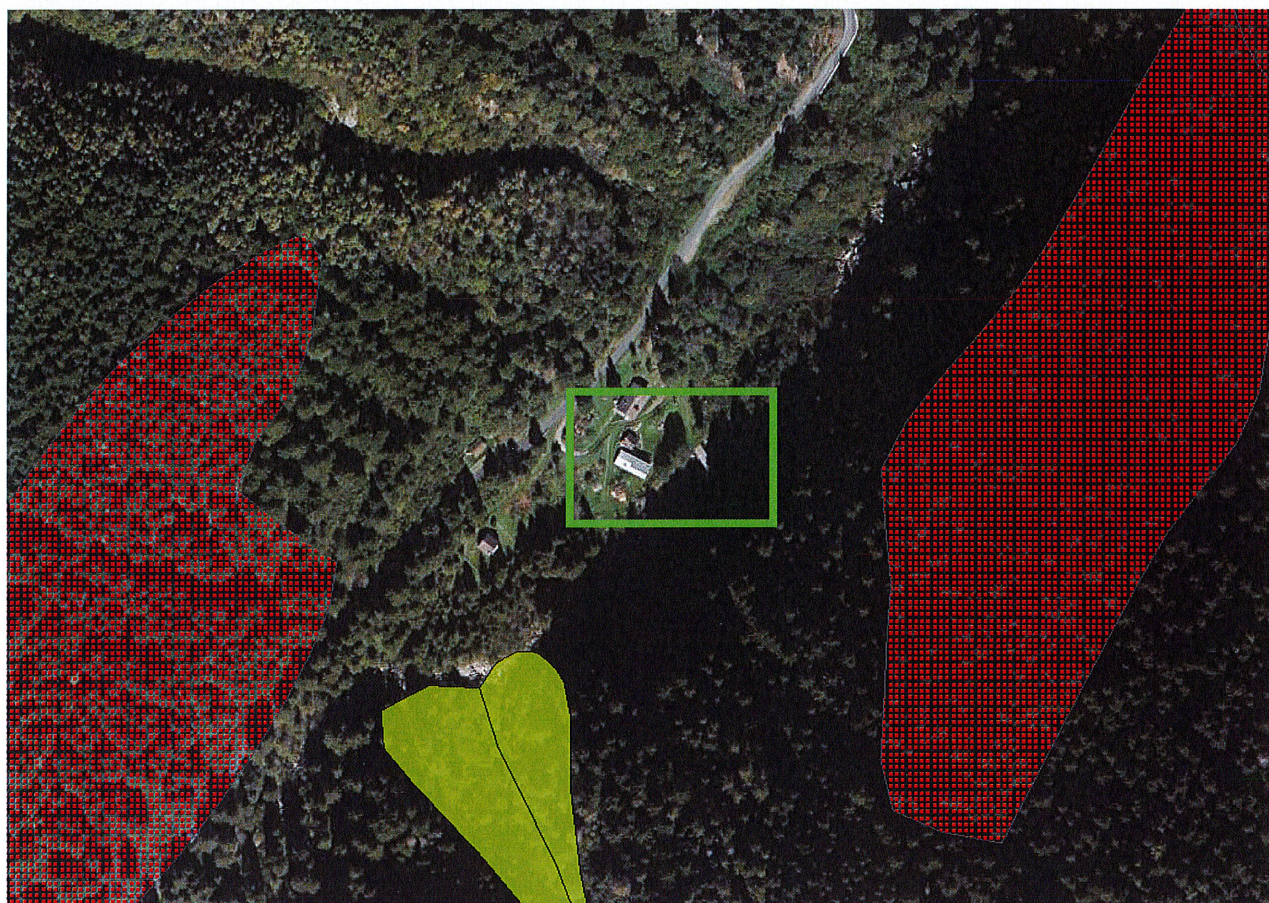
Scivolamento rotazionale/traslato



Colamento rapido

Stralcio della cartografia IFFI e relativa legenda, ricavate dal Geoportale regionale; in verde l'area in esame – non in scala

Per l'area 2 l'IFFI non riporta alcun fenomeno che interessi direttamente i siti, benchè siano segnalati processi di colamento rapido negli impluvi laterali e di caduta massi/crolli nelle zone più acclivi dei versanti.



Frane lineari



Aree a franosità diffusa



Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi



Scivolamento rotazionale/traslattivo

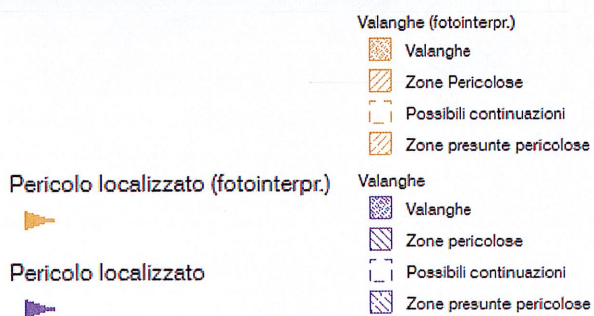
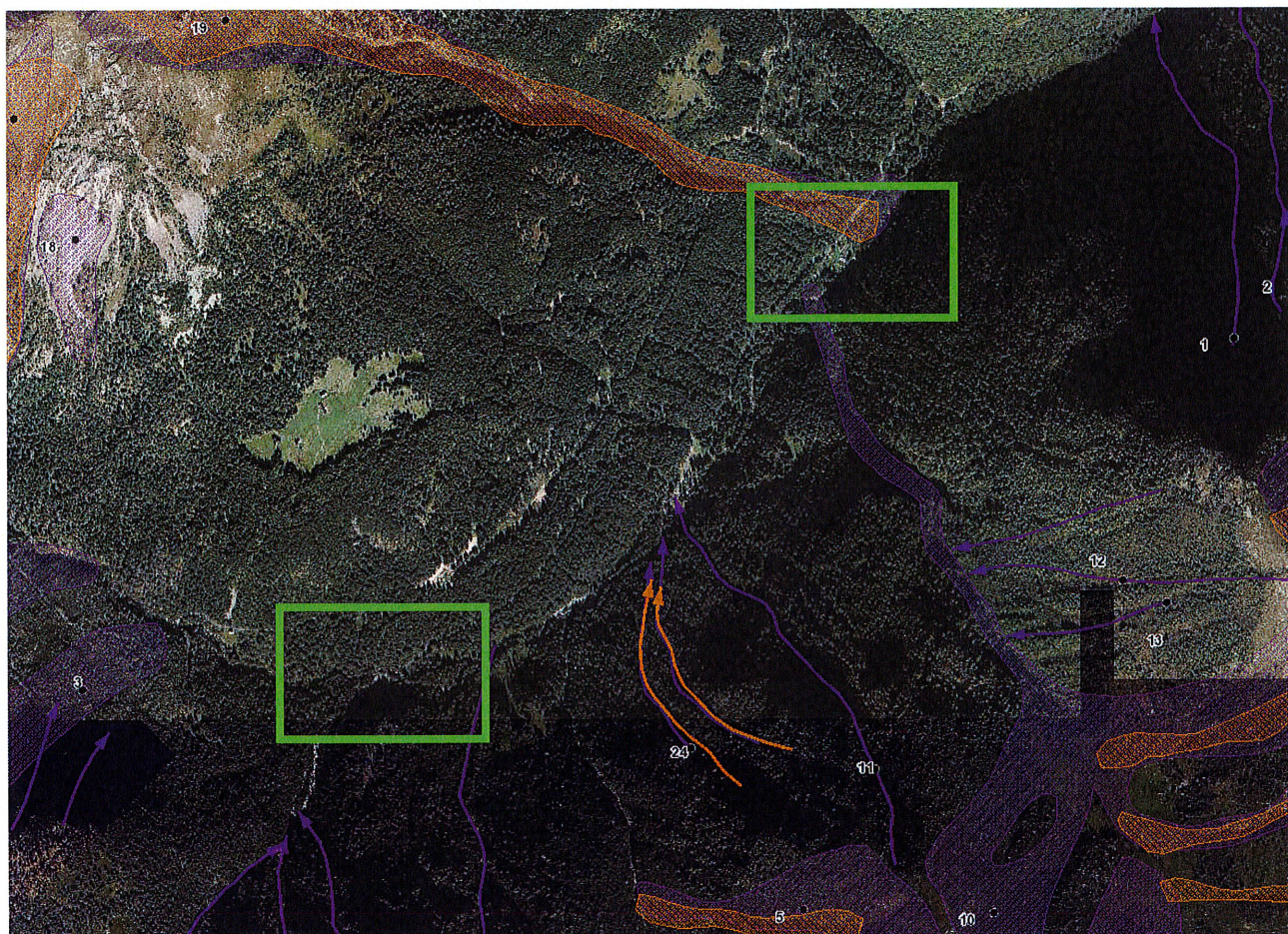


Colamento rapido

Stralcio della cartografia IFFI e relativa legenda, ricavate dal Geoportale regionale; in verde l'area in esame – non in scala

CLPV (Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe)

Nessuna delle due aree di intervento è direttamente coinvolta in fenomeni valanghivi, che si concentrano principalmente negli impluvi laterali e arrivano a interessare le zone direttamente a monte e a valle dell'area di progetto 2, in parziale accordo con quanto mostrato nella cartografia PAI.

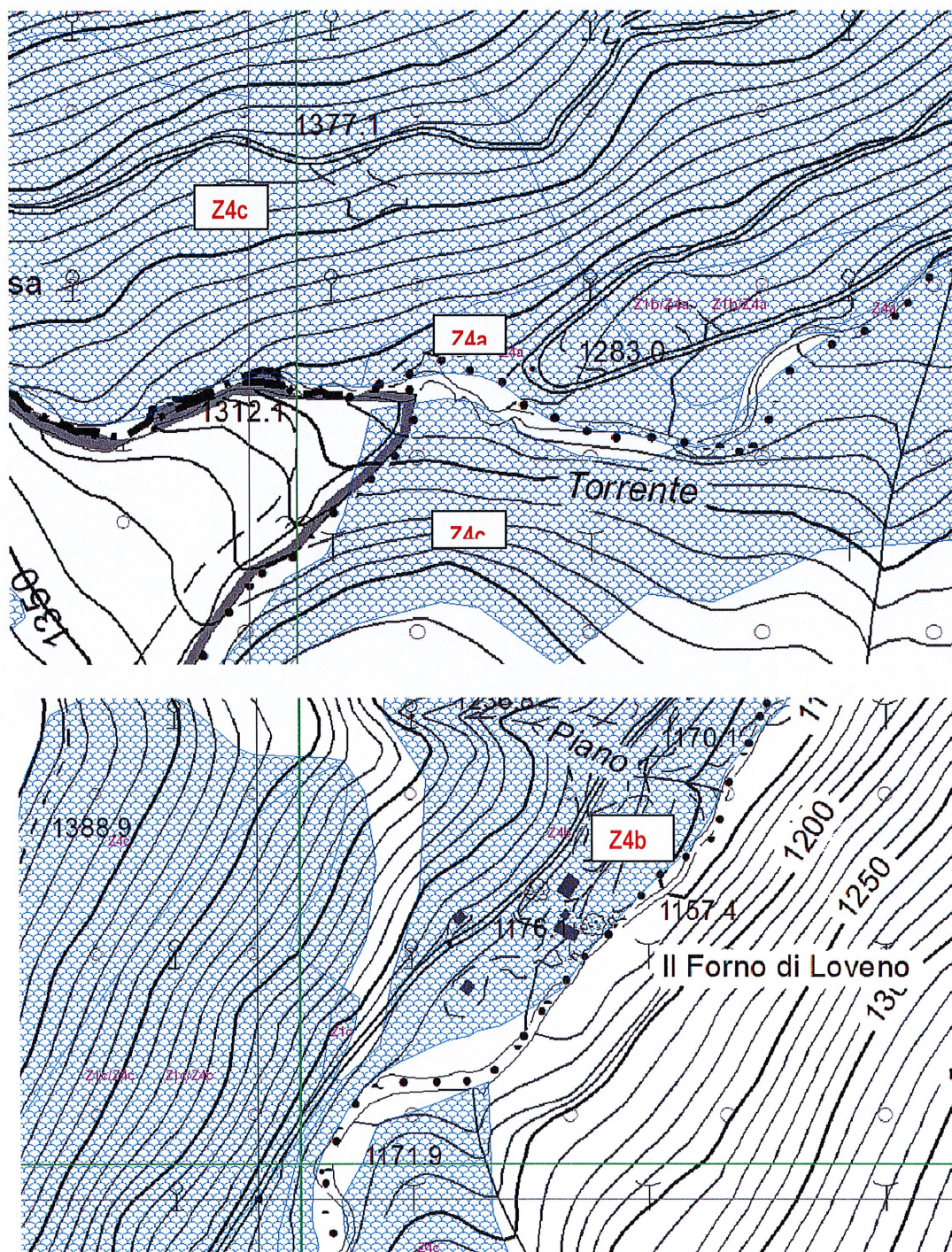


Stralcio della CLPV, tratta dal Geoportale di Regione Lombardia – non in scala.

Pericolosità Sismica Locale

Le aree di progetto si impostano su depositi in grado di dare amplificazione stratigrafica e, come tali, sono inserite in perimetrazioni PSL.

Per l'area 1 si ha una zona Z4a (zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi) in sinistra e una Z4c (zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi) in destra idrografica, mentre la zona 2 si imposta pienamente in uno scenario Z4b (zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre).



Stralcio della carta della PSL tratta dal Geoportale Regionale – non in scala

Caratteri sismici del sito

Analisi di secondo livello

Sulla base del valore di V_{seq} e dell'andamento delle V_s con la profondità ricavati tramite l'indagine MASW eseguita in sito, si è proceduta al secondo livello di approfondimento dei fenomeni di amplificazione.

Il valore di V_{seq} calcolato di 463 m/s viene utilizzato per individuare la tipologia di suolo secondo la classificazione introdotta dal D.M. 18/01/2018 (Tab 3.2 II e Tab. 3.2.III).

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a gravina grossa molto addensati o terreni a gravina fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a gravina grossa mediamente addensati o terreni a gravina fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a gravina grossa scarsamente addensati o di terreni a gravina fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

In questo caso il valore di velocità V_{seq} porta all'individuazione di un suolo di categoria B.

Dal punto di vista litologico la scheda che maggiormente si avvicina è la ghiaiosa, che presenta buona analogia con il trend delle V_s in profondità; l'analisi di seguito riportata fa riferimento a questa scheda:

- Spessore strato superficiale: 6,00 m – V_s media 344 m/s >> curva n° 3
- Calcolo periodo proprio del sito: $T = 0,10$
- Calcolo F_a (0.1 – 0.5s): $F_a = 1.2 (+ 0.1) = 1.3$
- Calcolo F_a (0.5 – 1.5s): $F_a = 1.0 (+ 0.1) = 1.1$

I parametri di riferimento di F_a per Paisco Lovenò, presi dal database regionale, sono:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 – 0.5 s	1.4	1.8	2.1	1.9
0.5 – 1.5 s	1.7	2.3	4.0	3.0

La categoria di suolo di riferimento è la B.

- Per il periodo 0.1-0.5s F_a calcolato = 1.3 < F_a soglia comunale (1.4)
- Per il periodo 0.5-1.5s F_a calcolato = 1.1 < F_a soglia comunale (1.7)

Il valore soglia comunale è sufficiente a coprire il F_a ottenuto per entrambi i periodi di oscillazione, per i quali potrà essere previsto quindi l'utilizzo della categoria di suolo di riferimento (B).

Nell'indagine è stato individuato il bedrock sismico a 15 m di profondità.

Parametri sismici

Regione Lombardia, con D.g.r. 11 luglio 2014 – n.° X/2129 pubblicata sul BURL n° 29 Serie Ordinaria del 16 luglio

2014, ha aggiornato la classificazione sismica dei comuni lombardi: tale classificazione è in vigore, dopo alcune proroghe, dall'aprile 2016 e prevede ora, per il comune di Angolo Terme, la zona sismica 3. Mediante un'estensione del Software GeoStru (GeoStru PS) è possibile avere i parametri sismici generali di una qualsiasi zona, con riferimento ad un substrato rigido orizzontale (classe di sottosuolo A). Il software si basa sulla posizione geografica dell'area per la definizione dell'accelerazione sismica prevista; questa a sua volta è definita in determinati punti che formano una maglia di valori di accelerazione estesa a tutto il territorio nazionale. Per la zona di interesse, i dati di accelerazione che si ottengono sono riportati nella figura soprastante. Alla situazione semplificata così ottenuta, bisogna aggiungere le caratteristiche del sito, in particolare l'amplificazione stratigrafica causata dai depositi (dove presenti) e quella topografica. Per valutare questi due aspetti si sono utilizzati un suolo di categoria "B" e una categoria topografica T2 (superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$). Le categorie di sottosuolo sono state scelte sulla base dell'analisi sismica di secondo livello eseguita sulla base delle indagini MASW, riportate nel paragrafo precedente.



Sopra l'ubicazione del sito rispetto alle maglie di calcolo del software;

A destra l'output del software Geostru PS

Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.026	2.539	0.184
Danno (SLD)	50	0.032	2.597	0.204
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.063	2.693	0.294
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.076	2.760	0.310
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

 Cat. Sottosuolo B ▼
 Cat. Topografica T1 ▼



	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,54	1,51	1,41	1,39
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] ↔ 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.006	0.008	0.015	0.018
kv	0.003	0.004	0.008	0.009
Amax [m/s ²]	0.308	0.376	0.742	0.897
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Parametri di calcolo considerando un suolo **B** e una categoria topografica **T2**.

Stabilità di pendii e fondazioni

 Cat. Sottosuolo B ▼
 Cat. Topografica T1 ▼

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,54	1,51	1,41	1,39
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] ↔ 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.018	0.029	0.000
kv	--	0.009	0.014	--
Amax [m/s ²]	0.308	0.376	0.742	0.897
Beta	--	0.470	0.380	--

Parametri di calcolo considerando un suolo **B** e una categoria topografica **T2**.

Muri di sostegno.

Considerazioni in merito alla liquefazione dei terreni

Le Norme Tecniche per le costruzioni richiedono una verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni su cui insiste il progetto: "Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione" (art. 7.11.3.4.1 DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni").

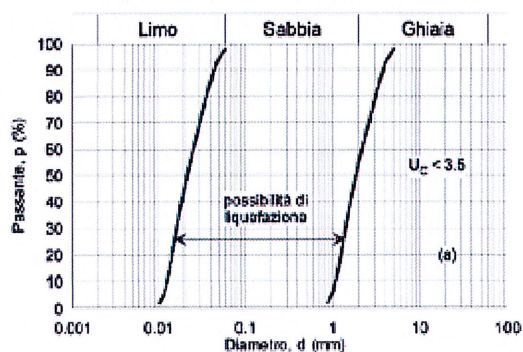
Al capitolo 7.11.3.4.2 dello stesso decreto (*Esclusione alla verifica di liquefazione*) è riportato che:

"La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

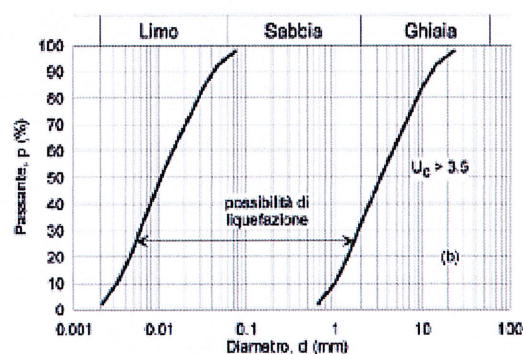
1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

3. **depositi costituiti da sabbie pulite** con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$."

Nel caso in esame, le accelerazioni di sito attese sono sempre minori di $0.1g$. Inoltre, il deposito in sito è molto eterogeneo, con un'importante frazione ghiaiosa. Sono quindi depositi molto differenti dalle sabbie fini e sabbie limose che sono le ideali candidate per il processo di liquefazione. Questi fattori portano a ritenere che l'aspetto di liquefazione dei terreni presenti una condizione di rischio bassa o nulla.



a)



b)

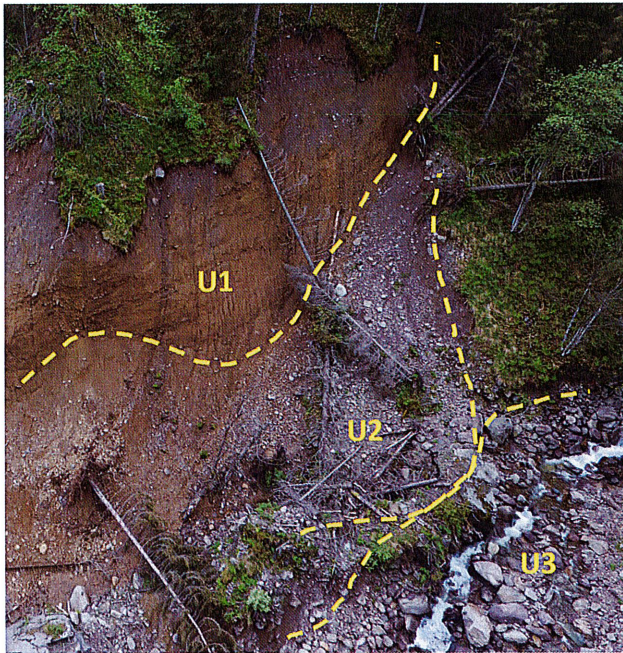
Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

FASE DI SINTESI

Modello geologico semplificato di riferimento (MGR)

Quanto sotto riportato è stato dedotto da dati generali, riportati nelle cartografie ufficiali e dai dati di sito ricavati dai sopralluoghi e dalle indagini eseguite nell'area di progetto.

Per quanto attiene all'area di intervento della Località Le Prese, si riconosce la presenza di tre principali litotipi ovvero i depositi glaciali in parte consolidati e cementati (U1), i depositi di disaggregazione di questi che compongono le falde detritiche della frana (U2) ed i depositi alluvionali a grossi blocchi torrentizi (U3).



Si tratta di tre unità molto differenti per composizione granulometrica e per comportamento.

Il versante con i depositi glaciali U1 è ascrivibile a terreni sabbioso-ghiaiosi con matrice fine limosa con blocchi e clasti anche arrotondati. Si tratta di terreni dal comportamento meccanico buono per il fatto che l'eterogenea composizione, fa sì che le tensioni vengano sopportate dalla parte inerte con le sabbie e ghiaie, in parte legata dalla matrice fine. Tale legame determina anche un'aliquota di coesione che è di difficile determinazione se non con prove in foro di sondaggio e quindi prelievo di campioni da sottoporre a prove di taglio diretto. In tal caso, a favore di sicurezza, tale aliquota si può considerare molto bassa poiché in caso di

saturazione tende ad annullarsi e si genera così il franamento del deposito. Nella fase di progetto esecutivo si potranno formulare delle Back-analysis per verificare con ipotesi di pendio prima del franamento, i parametri di resistenza limite e quindi da qui ricostruire il possibile arretramento delle nicchia.

Si ritiene quindi che a questa unità dei depositi di versante di origine glaciale si possa associare i seguenti parametri caratteristici di resistenza:

- **Unità U1 depositi glaciali:**
 - Angolo di attrito: 34-36°
 - Peso dell'unità di volume: 1.8-1.9 t/mc
 - Coesione: 0.05-0.1 kg/cmq

I depositi dell'unità U2 sono derivati dalla prima unità, una volta che questa perde appunto la sua coesione e frana lungo il pendio, stabilizzandosi secondo il proprio angolo d'attrito e si possono quindi considerare i seguenti valori:

- **Unità U2:**
 - Angolo di attrito: 34-36°
 - Peso dell'unità di volume: 1.7-1.8 t/mc
 - Coesione: 0 kg/cmq

L'unità dei depositi alluvionali ha un comportamento incoerente ed elevati valori di resistenza, per la presenza di sabbie, ghiaie e grossi blocchi, sovente, nei livelli antichi dei depositi torrentizi si può ritrovare del fine sabbioso-limoso che in questo caso è scarso o del tutto assente. Per questa unità si possono considerare:

- **Unità U3:**
 - Angolo di attrito: 36-38°
 - Peso dell'unità di volume: 1.8-1.9 t/mc
 - Coesione: 0 kg/cmq

Tale unità è possibile considerarla sia per la zona delle Prese che per la zona del ponte del Forno di Laveno.

Rischi geologici naturali e indotti

Ogni opera dell'uomo determina delle variazioni alle condizioni naturali preesistenti.

Per un'analisi delle interferenze, si possono distinguere i rischi geologici naturali, connessi al sito e pertanto caratteristici di ogni zona, che ha avuto, nel tempo geologico, le sue trasformazioni e modifiche, e quelli indotti, connessi alla specifica attività dell'uomo.

Di fatto, per quanto attiene i rischi di **carattere geologico in senso stretto**, le opere sono inserite, per loro natura, in un contesto critico, in cui è probabile il transito di onde di piena con elevata energia e ingente trasporto solido, in grado di incidere ed erodere sia l'alveo che le sponde. Il trasporto solido può essere di fondo o galleggiante: in ogni caso sono possibili danni dovuti all'impatto con i blocchi di maggior dimensione e con il materiale flottante (ramaglie, tronchi), nonché erosione del deposito di fondazione sia per le opere laterali che trasversali. Le opere si ritengono comunque compatibili con il contesto in cui si inseriscono, anche vista la loro natura strategica e di pubblica utilità, volta a mitigare il rischio cui sono esposte le aree a valle: sono di fatto tese alla riduzione della pericolosità dei fenomeni ma insistono, per questioni di carattere economico ed impossibilità di intervenire oltre quanto previsto, in un tratto molto ristretto rispetto al tratto instabile di corso d'acqua.

I rischi geologici indotti, per quanto riguarda le difese di sponda e le soglie sono sostanzialmente connessi alla possibile erosione del terreno di fondazione al piede delle strutture o a valle delle strutture trasversali in caso il salto idraulico da esse prodotto sia troppo accentuato, oppure l'alveo a valle delle stesse non sia adeguatamente protetto. A livello della stabilità delle opere, data la natura poco variabile dei depositi presenti in sito, non si riscontrano particolari problematiche. Questi rischi possono essere ragionevolmente mitigati seguendo le prescrizioni contenute nel presente documento.

Resta comunque da sottolineare che sussiste un livello di incertezza legato principalmente ai limiti del modello geologico di riferimento descritto nel paragrafo precedente che potrà essere superato una volta in sito ed avendo eseguito gli scavi.

Indicazioni progettuali

Dal punto di vista geologico le opere previste in progetto sono fattibili poiché, pur modificando l'assetto geologico e idrogeologico di una zona in cui si hanno gravi limiti alla realizzazione di nuove opere, si pongono come obiettivo la stabilità idraulica dell'asta torrentizia: si tratta infatti di strutture di pubblica utilità, volte a mitigare il rischio cui sono esposte le aree a valle della zona in esame, oltre che a stabilizzare e mantenere l'asta torrentizia stessa.

L'assunzione delle condizioni geologiche è stata svolta a seguito dei dati ricavati da bibliografia e dalle indagini eseguite in sito (che potranno essere approfondite nella fase di progetto esecutivo), grazie ai quali è stato ricostruito il modello geologico di riferimento, che non risulta comunque esente da incertezze. Sarà pertanto necessario verificare nelle successive fasi progettuali ed in corso d'opera, la rispondenza di quanto ipotizzato con la situazione reale del sito e soprattutto in relazione alle fondazioni delle strutture. In tal senso lo scrivente è disponibile sin d'ora ad effettuare sopralluoghi in corso di esecuzione dei lavori.

Sarà quindi necessario adottare adeguati accorgimenti per garantire la stabilità delle opere e la loro compatibilità con i fenomeni geologici cui saranno esposte:

- **Normativa sismica:** L'area di intervento è impostata su depositi alluvionali; sono pertanto possibili effetti di amplificazione sismica di sito, sia litologica che geometrica. In base ai dati raccolti si suggerisce l'utilizzo di una categoria di suolo B. Tuttavia, tenuto conto della tipologia delle opere previste in progetto, non si tratta di aspetti particolarmente critici e si assume pertanto che questo tipo di rischio sia basso.
- **Assetto idrologico:** si sono calcolate le portate liquide e, facendo riferimento allo studio di bacino si ritiene coerente per il progetto in esame considerare le portate con $T_r = 100$ anni e si ricava quale portata liquida di progetto a cui riferirsi il valore di $Q = 40$ mc/s per il Torrente Allione e di $Q = 18$ mc/sec. per il Torrente Vivione.
- **Verificare la corrispondenza,** in sede di esecuzione dei lavori, della situazione reale di sito con quanto riportato nella presente relazione; eventuali sostanziali differenze potranno esser eventualmente indagate con prove mirate in corso d'opera.
- **Durante le operazioni di scavo in corrispondenza delle scarpate,** il fronte di scavo, qualora avesse sviluppo verticale maggiore di 1.5 m, dovrà avere una pendenza massima pari a $3/2$ per garantirne la stabilità; in caso di impossibilità di raggiungimento di questo valore, il fronte dovrà essere sostenuto con sbatacchi e opere di cantiere, in modo da minimizzare la possibilità di instabilità dello stesso.
- **Fondazioni superficiali:** si considera valido l'approccio per cui, in caso di intercettazione di livelli scadenti, questi dovranno essere rimossi e sostituiti con massi/blocchi derivati dallo svasso dell'alveo, oppure da miscele granulari-coesive riconducibili alle classi A2-4 della normativa AASHTO e CNR-UNI, avendo cura, in questo caso, di prevedere in superficie una difesa in materiale grossolano per evitare l'asportazione progressiva del terreno col tempo. Si suggerisce in ogni caso di eliminare i primi metri di materiali, verosimilmente scadenti.

Per quanto riguarda i lavori in località Le Prese, si ritiene che lungo il versante in frana sia molto difficile prevedere delle opere per quanto attiene la nicchia 1 e 2, poiché le pendenze risultano estremamente elevate. Si potrà procedere con lo scoronamento per alleggerire la zona di nicchia ed il taglio, molto importante, delle piante di alto fusto lungo tutto il

perimetro di nicchia. La presenza di grosse piante se da un lato trattiene la parte superficiale del terreno, dall'altra rappresenta un peso ed una forzante importante in caso di vento, che può portare al locale franamento e quindi alla caduta delle piante in alveo.

Le difese di sponda da realizzare al piede del pendio, per la deviazione delle acque, in modo che queste non interessino più il versante nell'area in frana, potranno collegarsi al grosso masso che diviene pertanto un riferimento stabile. Si potrà quindi lasciare, a tergo delle difese, lo spazio sufficiente affinché il materiale di progressiva degradazione del ciglio di frana, possa poi depositarsi naturalmente a ricostruire il piede del pendio, come di fatto sta facendo ora, sino alla sua progressiva stabilizzazione che probabilmente avverrà nel tempo.

Togliendo l'azione erosiva delle acque, si elimina di fatto l'elemento più destabilizzante ovvero la causa principale che porta ha portato ad ampi franamenti del fronte.

Dato che la pendenza del tratto di alveo nell'area in frana, soprattutto in prossimità della nicchia 1 e 2 è comunque elevata, si ritiene necessario eseguire delle soglie di modesta altezza (si consiglia un salto idraulico di 1,5 massimo 2 m) che stabilizzino il corso d'acqua, a partire dal salto che è stato lasciato con le opere di somma urgenza. Salto che andrà stabilizzato con una soglia di fondo. Si consiglia l'esecuzione di soglie e non di briglie, per lasciare al corso d'acqua la possibilità di spagliare in sinistra orografica, prima della confluenza con il Torrente Allione.

A maggior protezione della strada provinciale, si consiglia di eseguire una difesa di sponda in prossimità della curva che più si avvicina all'asta, per il tratto in sinistra orografica al T. Allione. Si tratta di un'opera di modesta estensione poiché poco a monte della curva il torrente diventa stabile nella sponda sinistra e, a valle della curva stessa, le altezze della sponda naturale aumentano sensibilmente.

Per quanto attiene la nicchia di frana 3 le difese di sponda dovrebbero servire sia per stabilizzare il corso d'acqua, sia per consentire al detrito di franamento delle nicchia, di accumularsi e di stabilizzarsi nel tempo. In questo caso, le pendenze sono minori rispetto alle due nicchie a monte e sarebbe possibile, qualora vi fosse disponibilità economica, eseguire delle opere di ingegneria naturalistica quali palificate doppie, almeno sino a metà del dissesto. In tal modo, con uno scoronamento, riprofilatura del ciglio e successivo inerbimento, si potrebbero accelerare il processi di rinaturalizzazione del pendio.

Per quanto riguarda l'adeguamento del ponte non si rilevano particolari problematiche, in questo punto l'asta non presenta rilevanti problematiche di erosione di fondo o laterale ed i terreni di fondazione hanno caratteristiche di resistenza buone. Ricostruendo adeguate spalle del ponte, separate dalle opere idrauliche (che hanno altra funzione) e, ricostruendo un tratto a monte e valle di difesa di sponda, si dovrebbe stabilizzare in modo definitivo la situazione di cedimento dell'impalcato.

Darfo B.T. (BS), agosto 2021



Geol. Luca Maffeo Albertelli