**COMMITTENTE:**
Comune di Pisogne
Viale Valle Camonica n. 2
25055 – Pisogne (BS)

REGIONE LOMBARDIA
Provincia di BRESCIA
Comune di Pisogne

## PROGETTO ESECUTIVO

***Svaso del materiale accumulato nell'apposito vallo contenitivo, verifica dei dreni superficiali e valutazione di un alleggerimento del versante con disgaggio del materiale e riprofilatura.***

**PROGETTISTA:**

Ing. Giovanni Bono

**CONSULENZA GEOLOGICA:**

Geol. Luca Maffeo Albertelli

Geol. Battista Taboni

# 02 – RELAZIONE GEOLOGICA

*Settembre 2026*

**CONSULENZA GEOLOGICA:**

LAND & COGEO
**UFFICI SEDE OPER.**: Via Montegrappa, 41 – 24060 Rogno (BG)
**SEDE LEGALE**: Via Manifattura 29/G
25047 DARFO B.T.(BS)
Tel. 0354340011 fax. 0354340011
P.IVA 03480990989
ufficio@cogeo.info - www.cogeo.info

BenGeneering
Studio Tecnico Associato
Via Gera, 29 25050 – Niardo (BS)
P.IVA e C.F. 03780480988
Tel: 3519299802
E-mail: info@bengeneering.eu
www.bengeneering.eu

## Indice

**PREMESSA** ..... **2**

**INQUADRAMENTO TERRITORIALE** ..... **3**

**DESCRIZIONE DEL PROGETTO** ..... **4**

**QUADRO STORICO DEL DISSESTO** ..... **5**

*Studi pregressi eseguiti nell'area della Frana del Gasso* ..... *8*

**INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO IDROGEOLOGICO** ..... **8**

**DESCRIZIONE DELLO DEL DISSESTO** ..... **12**

STATO DEI LUOGHI ..... 12
DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO ESISTENTE ..... 17
POSSIBILE EVOLUZIONE DEL DISSESTO ..... 19
*Sintesi studi e progetti esistenti dopo il collasso della Frana del Gasso* ..... *19*
ATTIVITÀ FUTURE – OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO ..... 25

**QUADRO VINCOLISTICO** ..... **27**

*Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)* ..... *27*
*Fattibilità* ..... *29*
*Pericolosità Sismica Locale (PSL)* ..... *30*

**SISMICITA'** ..... **31**

CARATTERI SISMICI DEL SITO ..... 31
CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI ..... 33

**ELEMENTI A RISCHIO** ..... **34**

**SINTESI** ..... **35**

MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO (MGR) ..... 35

**CONCLUSIONI** ..... **37**

# PREMESSA

La presente relazione GEOLOGICA è stata commissionata alla scrivente società dal Comune di Pisogne, quale supporto geologico al progetto di manutenzione del vallo esistente nell'area della Frana del Gasso, nel territorio comunale di Pisogne (BS), sul versante meridionale della valle del Torrente Trobiolo a monte dell'area apicale del rispettivo conoide.

La frana del Gasso rappresenta un pericolo concreto per l'area di conoide su cui sorge l'abitato di Pisogne considerata area a rischio idrogeologico molto elevato di cui alla ex L.267/'98 codice 146-LO-BS, per la presenza appunto della frana del Gasso, collocata in prossimità dell'apice di conoide e, per la possibilità che il bacino del torrente Trobiolo sviluppi eventi di dissesto importanti che possono interferire con un eventuale collasso della massa in frana e quindi con l'abitato.

La Frana del Gasso si configura come un movimento franoso complesso e composito, con componenti di scivolamento traslativo e rotazionale, oltre a locali fenomeni di crollo e carsismo per la presenza di gessi della Formazione rocciosa della Carniola di Bovegno. Essa interessa le coperture sedimentarie del versante e, soprattutto, il substrato roccioso. Questo è costituito da rocce evaporitiche gessose (carniola) e da calcari.

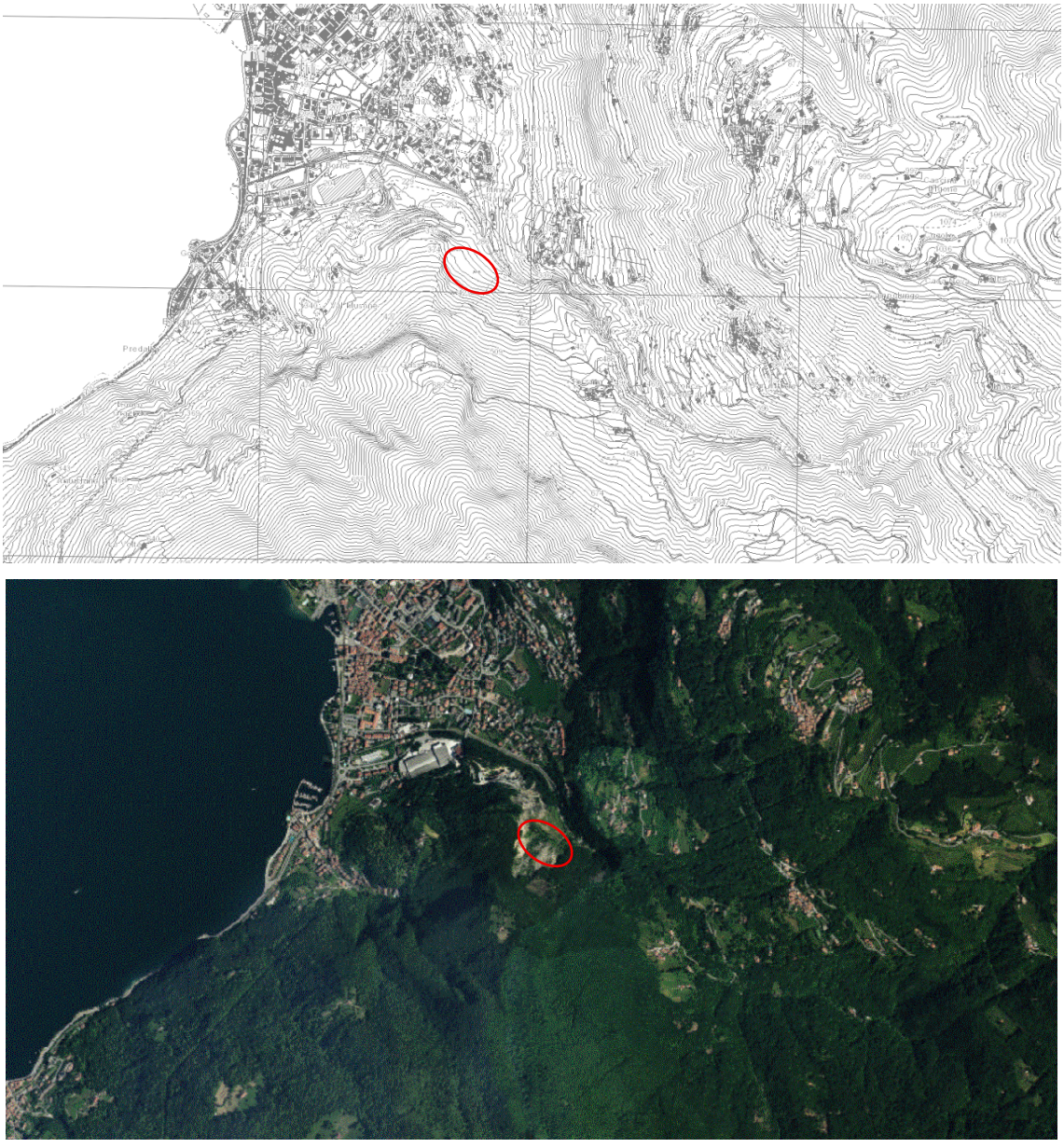
Nell'anno 1953 il bacino del torrente Trobiolo produsse un primo evento di notevole entità, sviluppando una colata detritica di importante magnitudo che coinvolse il conoide sino alle rive del lago, interessando l'abitato e provocando undici morti. La frana del Gasso si è invece attivata nell'anno 2000, quando circa 400.000 mc di materiale sono franati dal versante sul T. Trobiolo, ostruendone il deflusso e generando un invaso di sbarramento. *Si tratta quindi di due tipologie di dissesto (la colata e la frana) che coesistono e complicano la situazione di pericolosità*. In seguito all'evento, sono state implementate misure strutturali di mitigazione del rischio, oltre alla realizzazione di un sistema di monitoraggio tuttora attivo che è in fase di ampliamento e integrazione. Tra le opere realizzate ricade appunto la costruzione del vallo oggetto di manutenzione e svaso, avente lo scopo di impedire la propagazione verso valle dei processi di caduta massi e franamento di materiale dalla nicchia di frana sino al torrente sottostante. Il rilevato taglia trasversalmente l'area di frana quasi per la sua interezza. *Dopo circa vent'anni di servizio, l'opera appare oggi in parte riempita di detrito al punto da ridurre l'altezza del vallo a circa 1-1,5 m rispetto all'inziale altezza di circa 4-5 m*. Il progetto considerato nel presente documento tecnico comprende la pulizia del vallo con scavo, svuotamento e recupero del materiale al fine di rialzare l'opera esistente (vallo) ed estenderla verso Ovest. Si prevede quindi di integrare nell'opera dei sistemi di drenaggio per evitare il ristagno delle acque superficiali legate al deflusso idrico sulla superficie di frana. Nel quadro complessivo di potenziale instabilità della frana, si ritiene di consigliare l'ente affinché si producano proposte di mitigazione del rischio per il potenziale franamento del fianco destro e sinistro dell'area in frana. Interventi che sono in parte (fianco sinistro) già stati proposti in passato dalla scrivente società consistenti nell'alleggerimento della zona di monte ed il contrasto delle spinte al piede del pendio, soprattutto nella zona di ex cava. Si tratta di interventi impegnativi dal punto di vista economico ma che potrebbero fornire un benefico effetto di mitigazione della pericolosità. La frana del Gasso appare infatti come una frana complessa, dove il fenomeno di creep del materiale gessoso governa le instabilità. In tal caso (fenomeni di creep) agendo sulle forzanti quali il sovraccarico litostatico all'apice del versante, si possono ottenere concreti benefici

che nel tempo riducono le deformazioni del pendio. Si rimanda alle relazioni geologiche e agli studi che sono stati prodotti per gli altri progetti di difesa del suolo che il Comune di Pisogne sta attivando per un maggior chiarimento in riferimento a tali aspetti.

## INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in esame, detta della Frana del Gasso, è sita sulla sponda sinistra della valle del T. Trobiolo, presso la porzione apicale del conoide che questo ha edificato presso la sua immissione nel Lago d'Iseo. Su questo conoide insiste l'abitato di Pisogne. L'area di progetto ricade entro la porzione in frana del versante, direttamente a valle del coronamento della frana.

L'area soggetto di studio nella presente relazione è di esclusiva pertinenza del Comune di Pisogne.

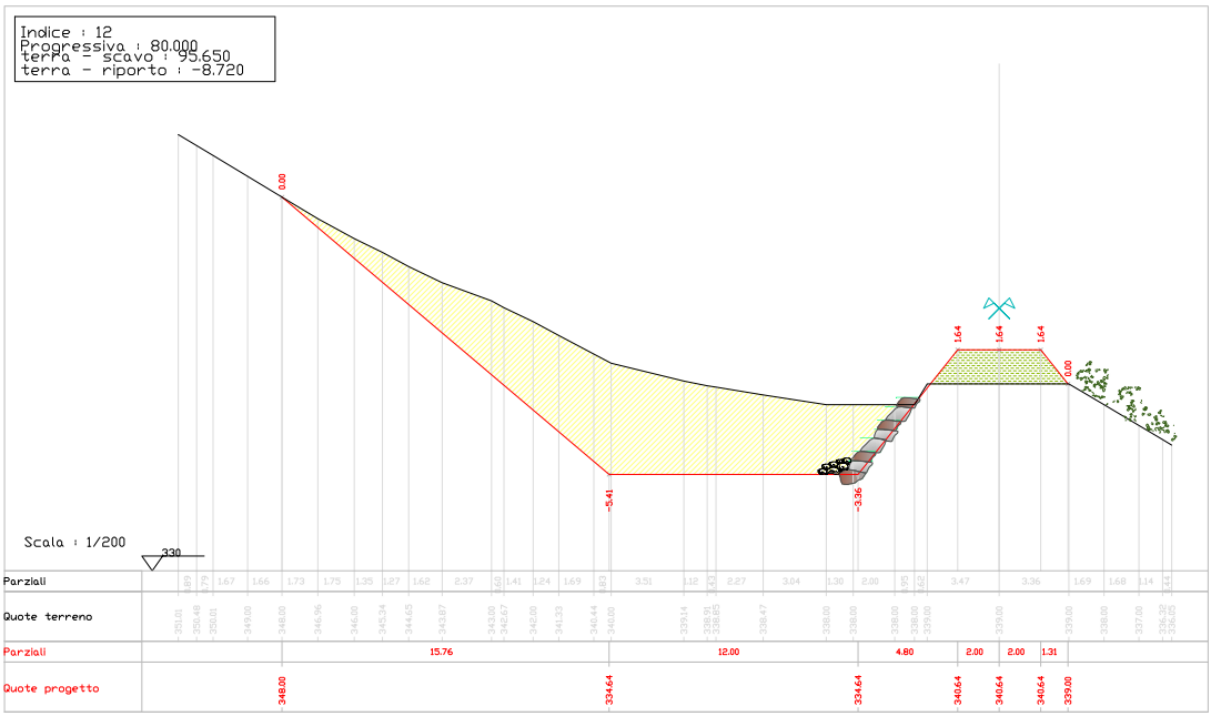


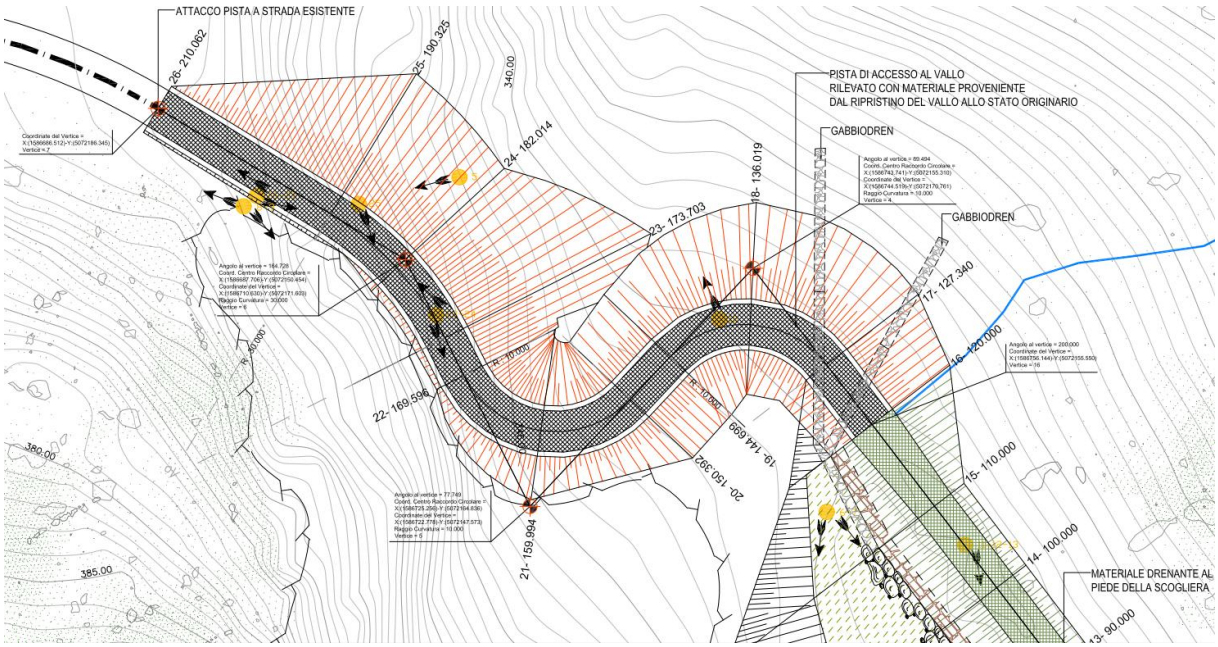
*Stralcio del DBGT regionale (Sopra) e di immagine satellitare (Sotto) con individuazione delle aree di analisi – non in scala.*

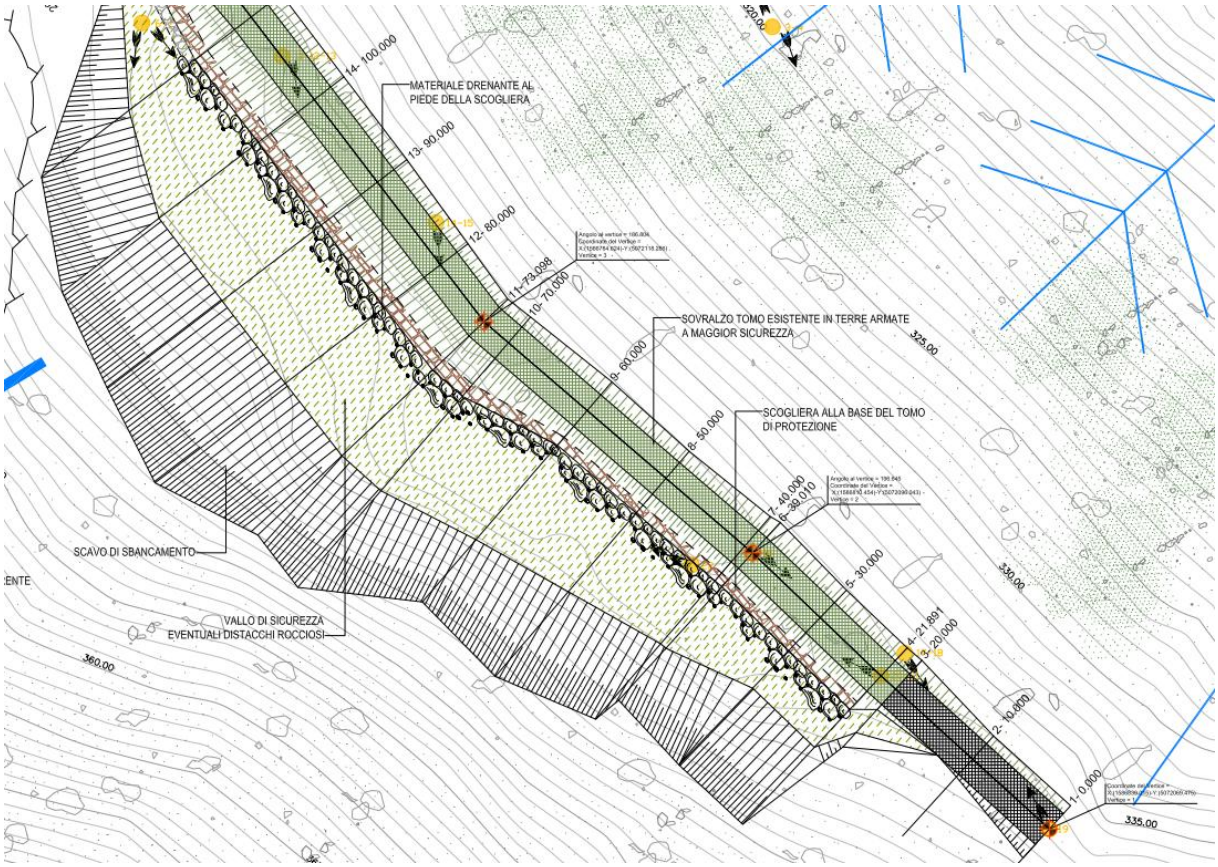
# DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova pista di accesso ai luoghi, che dal fianco sinistro della frana raggiunge il vallo esistente. Questo verrà svasato, riutilizzando il materiale per rialzare ed estendere verso sinistra il rilevato. In sinistra si prevede poi di posare elementi drenanti al fine di emungere l'acqua che tende a ristagnare nel vallo. Questi elementi drenanti vengono poi raccordati con le canalette già esistenti a valle del rilevato.

Seguono alcuni stralci progettuali.






## QUADRO STORICO DEL DISSESTO

Le informazioni di seguito riportate sono desunte dalla documentazione tecnica allegata alla componente geologica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Pisogne, oltre che dai progetti eseguiti nell'area della Frana del Gasso a partire dal 2001.

Nei mesi di ottobre e novembre del 2000, tutto il territorio della Lombardia è stato interessato da eventi meteorici particolarmente gravosi. I pluviometri in provincia di Brescia durante il mese di novembre hanno registrato 20 giorni di precipitazioni con valori complessivi tra i 400 mm e i 500 mm. In particolare, tra il 13 e il 18 novembre nella stazione di Bessimo, sono caduti 155.2 mm di pioggia. Nell'area in esame la precipitazione dei mesi di ottobre e novembre 2000 risultava all'epoca la più alta registrata dal 1923: l'aumento delle precipitazioni rispetto alla media è risultato essere pari al 300%.

In data 15 novembre 2000, verso le ore 18.30 si è verificato un fenomeno franoso nella porzione inferiore della Val Trobiolo, in sinistra orografica, nell'area adiacente alla cava di gesso LAGES.

Il versante interessato dalla frana è costituito nella parte inferiore da evaporiti e subordinate peliti di età triassica inferiore (Carniola di Bovegno), mentre nella parte superiore affiorano rocce carbonatiche molto tettonizzate, riferibili al calcare di Angolo. Sul versante sono presenti coltri detritiche colonizzate da vegetazione di medio-alto fusto che ricoprono parzialmente il substrato roccioso. Una parte del versante interessato dall'evento è in concessione alla società LAGES S.p.A, che allora aveva in atto attività estrattive nel corpo gessoso.

La nicchia della frana ha un fronte stimato in circa 200 m, dal coronamento al fondovalle il dislivello è di circa 150-170 m. Il volume del materiale coinvolto si stima pari a 430.000 $m^3$. Il meccanismo di rottura risulta una combinazione di scorrimenti rotazionali e traslazionali e dal crollo di alcune porzioni di versante e detriti, costituiti in prevalenza da depositi morenici, che si sono mobilitati a seguito del cedimento del pendio roccioso.

La superficie di scivolamento ha nell'insieme una forma pressoché concava; al centro assume una forma pianeggiante con immersione a 27° (la stessa del pendio) e inclinazione vicino alla nicchia di circa 35/40° che si mantiene costante fino alla zona di accumulo; qui si individua un pianoro dovuto alla sedimentazione del materiale limoso coinvolto. In questa striscia centrale il versante è coperto da detriti di frana non stabilizzati. Sono inoltre ben evidenti le superfici di scivolamento laterali, soprattutto sulla sponda sinistra (guardando dall'alto verso valle) dove è visibile uno specchio di faglia, completamente liscio e di forma convessa con immersione 43° e inclinazione 75° nella parte inferiore e 45° sulla faccia superiore. Questa porzione di pendio è formata da anidriti e gessi della Carniola di Bovegno a stratificazione spesso evidente, molto tettonizzati e ripiegati. Tutto l'orlo di frana della sponda sinistra è tuttora soggetto a fenomeni di erosione e arretramento. La zona è composta da una coalescenza di materiale morenico, detritico in matrice limoso-sabbioso-argillosa e di blocchi di calcare e gesso con comportamento sciolto, talvolta con coperture eluvio-colluviali. La zona sottostante è composta da ammasso roccioso di gesso ed evaporiti in equilibrio precario.

Fenomeni di instabilità locale si sono riscontrati nella stessa formazione rocciosa anche in prossimità dei gradoni di cava non coinvolti nella frana, dopo il 15 novembre 2000: sono stati registrati piccoli crolli e fratture lungo le quali si riscontrano venute d'acqua di entità limitata ma che evidenziano la presenza di filtrazione nel pendio. Questi fenomeni potrebbero essere dovuti al detensionamento dell'ammasso roccioso a seguito della frana o causati dal processo di coltivazione del gesso.

Tuttavia, è chiaramente osservabile un progressivo degrado delle qualità meccaniche e chimiche dell'ammasso proseguendo da Ovest verso Est. Si passa, infatti, da anidriti e gesso di qualità tale da permetterne lo sfruttamento estrattivo a una roccia di purezza inferiore per la presenza di lenti conglomeratiche e per l'eccessiva fratturazione.

La sponda destra è composta da depositi detritici a composizione prevalentemente sabbiosa e ghiaiosa con eluvi e colluvi abbondanti messi a nudo nel corpo di frana; questa zona è probabilmente instabile trattandosi di materiale prevalentemente detritico poco cementato su substrato roccioso, costituito presumibilmente da affioramenti calcarei e calcareo-marnosi della Formazione di Prezzo (Anisico) ben stratificato e fortemente tettonizzato in blocchi sostanzialmente equidimensionali con dimensioni dell'ordine del metro cubo. Lungo lo sviluppo della nicchia di distacco e sull'orlo di frana di entrambe le sponde, infine, vi sono diedri e blocchi rocciosi instabili che possono dare origine a frane di crollo.

Il detrito di frana ha granulometria variabile: si passa da limo a sabbia e ghiaia con ciottoli prevalenti, fino a massi e blocchi di alcuni metri cubi immersi in matrice fine. In particolare, nelle parti sommitali l'accumulo è costituito da detrito a pezzatura ridotta con matrice prevalentemente fine, mentre nella zona a valle prevalgono grossi blocchi di rocce evaporitiche.

L'accumulo di frana aveva occupato l'alveo del torrente Trobiolo alla base del versante creando un dislivello di circa 50 m tra il punto in cui il Trobiolo si infiltrava in profondità ed il punto in cui era nuovamente visibile l'alveo originario; la massa detritica era poi risalita sul versante opposto fino a una quota massima pari a circa 326 m s.l.m. Parte del materiale franato era confluito lungo l'alveo canalizzato arrestandosi poco a monte dei primi edifici dell'abitato di Pisogne. L'ostruzione del torrente Trobiolo aveva causato lo sviluppo di un invaso avente un volume d'acqua stimato in 8.000-10.000 $m^3$ (in data 16.11). La circolazione sotterranea nell'area in oggetto, interessata da evidenti fenomeni di carsismo a spese dei depositi evaporitici, ha conseguentemente subito modifiche. I tecnici comunali avevano segnalato un aumento di portata relativo ad una sorgente ubicata alcune centinaia di metri a valle della frana, e l'improvvisa comparsa di consistenti (1 $m^3$/sec) venute d'acqua nella galleria stradale ANAS che attraversa l'alveo del Trobiolo a valle della frana.

Dato il rischio di tracimazione o sfondamento dello sbarramento con possibile rimobilizzazione del materiale accumulato, l'amministrazione comunale aveva provveduto all'evacuazione di 500 persone, residenti nelle aree immediatamente a valle della frana. In seguito al sopralluogo effettuato il giorno successivo (in data 17-11) che aveva evidenziato un innalzamento quantificabile in 4 m del livello delle acque, l'amministrazione comunale emise un'ordinanza di blocco del transito sia sulla strada statale che sulla ferrovia Brescia-Iseo-Edolo.

In breve tempo, però, l'acqua del torrente ha trovato via di fuga in profondità, infiltrandosi sotto lo sbarramento e disperdendosi presumibilmente nel conoide sul quale sorge l'abitato di Pisogne e nelle fessure carsiche tipiche delle formazioni gessose.

Nei giorni successivi la frana aveva presentato un graduale ma continuo sviluppo legato a fenomeni di distacco progressivo nel settore di nicchia. Il fronte della frana era arretrato di parecchi metri nei giorni compresi tra il 15 e il 20 novembre; tuttavia, l'intensa fratturazione dei depositi costituenti la zona di nicchia ha favorito un distacco graduale del materiale, riducendo il rischio di distacchi più estesi e portando allo sviluppo di un conoide di detrito nella zona di nicchia.

A seguito dell'evento vennero realizzate opere idrauliche lungo l'asta del torrente con l'impermeabilizzazione del fondo, l'esecuzione di nuove briglie e la realizzazione di un rilevato con annesso vallo per mitigare i fenomeni continui di crollo e degrado della nicchia. Nel 2011 inizia la prima fase di installazione del sistema di monitoraggio del dissesto.

Ai piedi del pendio era presente un'attività estrattiva di gessi ora non più operativa dato l'elevata condizione di pericolo della zona. Era inoltre attiva una condotta idroelettrica che non è stata direttamente interessata dal dissesto, che si sviluppa da Est a Ovest e taglia, pertanto, l'intera area di frana ma si colloca ad una profondità superiore a quella della superficie di frana materializzatasi nell'anno 2000. Il canale risulta dismesso e non ha più carico idraulico. Era inoltre presente una mulattiera che collegava Pisogne con l'abitato della frazione Terzana, risalendo il versante a monte della cava.

***Studi pregressi eseguiti nell'area della Frana del Gasso***

Relativamente all'area in frana sono disponibili le seguenti fonti documentali:

- *Studio del movimento franoso in località Gasso a Pisogne e proposta di messa in sicurezza* a cura di ARETHUSA srl, Responsabile Tecnico Dr. Geol. E. Dolci, del 2001;
- Progetto esecutivo *Messa in sicurezza del versante di frana e del torrente Trobiolo in comune di Pisogne, interventi di 1° fase*, a cura di STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI, Progettista Incaricato Prof. Ing. Ugo Maione, del 2002;
- Studio *Interpretazione geologica dei dati ottenuti dall'Interferometria differenziale SAR con la tecnica dei PS (Permanent Scatterers technique) relativamente a fenomeni franosi e di subsidenza*, a cura della Provincia di Brescia – Settore Protezione Civile, del 2007;
- *Studio di Caratterizzazione Idrologica a supporto dell'Elaborato Tecnico relativo al Reticolo Idrico Minore e relative Fasce di rispetto* (ai sensi D.G.R. n.7/7868 del 25-01-2002 e n.7/13950 del 01-08-2003), a firma del Dott. Ing. Pier Giuseppe Fenaroli;
- Sistema Informativo dei Bacini e dei Corsi d'acqua (SIBCA) della Regione Lombardia.
- Studio *Messa in sicurezza del versante di frana e del torrente Trobiolo in comune di Pisogne, interventi di 1° fase – Riperimetrazione delle aree a rischio (procedura 267/98)*, a cura di IDRO srl, Progettisti Prof. Ing. Ugo Majone, Dott. Ing. Denis Cerlini, Dott. Ing. Franco Galli, Dott. Ing. Beatrice Majone, del 2005.

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO IDROGEOLOGICO

I dati riportati di seguito derivano dalle informazioni riportate nel PGT comunale, nella cartografia disponibile sul geoportale di Regione Lombardia e dalla cartografia geologica d'Italia CARG. In particolare, si fa riferimento al Foglio CARG 099-Iseo al cui margine settentrionale ricade l'area di progetto.

Dal punto di vista geologico, l'area è caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso costituito da rocce sedimentarie di natura evaporitica e carbonatica. Il Foglio CARG 099-Iseo identifica la presenza nell'area in esame della formazione della Carniola di Bovegno (BOV), affiorante nella gran parte dell'area in frana, fatto salvo per le quote maggiori presso il coronamento attuale della frana. La cartografia riporta, nel dettaglio, l'affioramento del membro "a" della formazione, che comprende lenti evaporitiche di gessi e anidriti, di spessore notevole. Nell'area dell'incisione del T. Trobiolo, poco a Est dell'area di frana, il substrato è rappresentato dalla formazione del Servino (SRV), costituita da peliti, arenarie e marne varicolori ben stratificate. Questa formazione è stratigraficamente sottostante alla Carniola di Bovegno. Entrambe le formazioni sono datate al Triassico Inferiore. Nella porzione sommitale dell'area di frana e presso le pareti a monte, il substrato appartiene alla formazione del Calcare di Angolo, che nell'area è costituito da calcari compatti grigio-nerastri, bioturbati. La formazione è datata alla base del Triassico medio. Il CARG indica come l'andamento della stratificazione e dei contatti fra le varie unità immerga a SO a medio angolo.

Al di sopra del substrato roccioso sono presenti coltri sedimentarie recenti associate a processi e dinamiche di tipo glaciale, raggruppate nel Sintema di Cantù (Pleistocene Superiore). Questi depositi sono costituiti da sabbie con

ghiaie e abbondante matrice limosa, con ciottoli e blocchi. I depositi glaciali sono in parte stati rimaneggiati dalla dinamica di versante. Nell'area di frana, il substrato è coperto da depositi caotici costituiti da materiale grossolano, con abbondanti ciottoli e blocchi. Questi depositi sono legati alla dinamica della frana e alla successiva evoluzione e progressivo arretramento della nicchia.

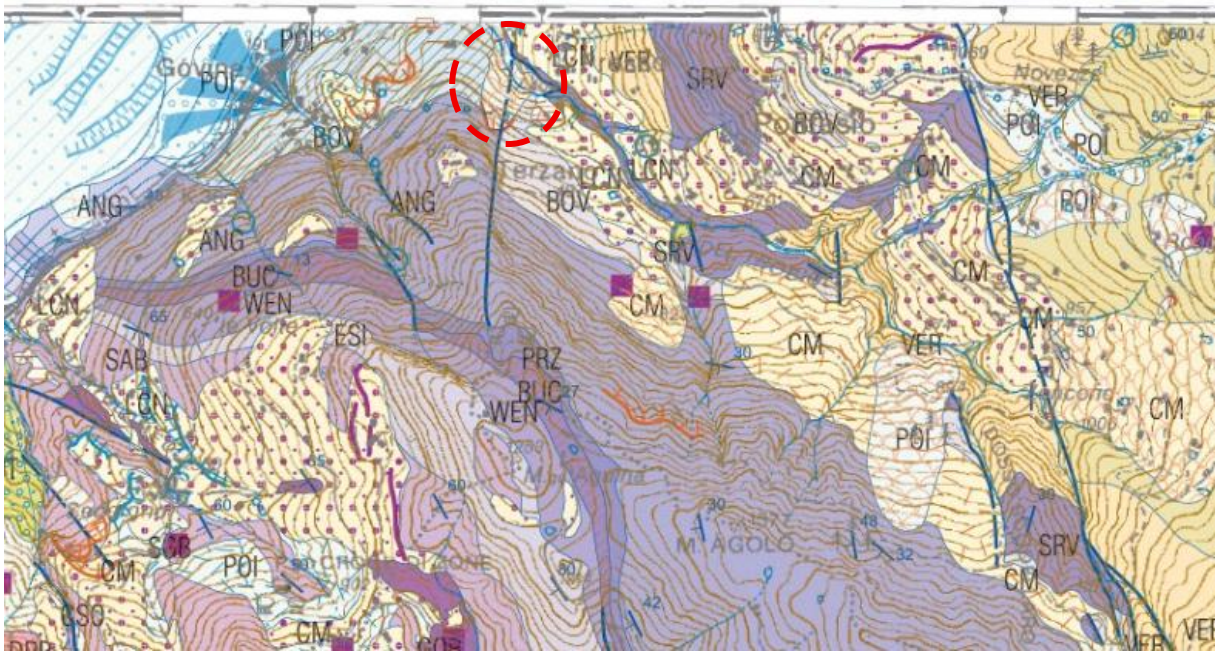
Dal punto di vista strutturale, il foglio CARG riporta la presenza di una faglia che taglia l'area della Frana del Gasso in direzione circa Nord-Sud. La geometria della faglia suggerisce un movimento inverso del blocco orientale rispetto al blocco occidentale.

Dal punto di vista morfologico, l'area è caratterizzata come un acclive pendio che raccorda la valle del T. Trobiolo con i rilievi che delimitano il bacino idrografico del torrente a Sud e a Sud-Est. Il versante è caratterizzato da vistose pareti rocciose nella zona di spartiacque. L'area al piede, presso il torrente, è interessata da attività estrattive la cui coltivazione ha prodotto diversi gradoni e pareti verticali a spese della Carniola di Bovegno.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in esame è dominata dalla presenza della Frana del Gasso, presentata nel precedente paragrafo. A seguito della frana, l'area di coronamento è stata interessata negli anni da fenomeni di erosione e retrogressione della nicchia, manifestatisi come crolli localizzati delle porzioni di ammasso roccioso e dinamiche di colata a spese delle porzioni di sedimenti di versante/glaciali affioranti. Le litologie presenti nell'area sono anche fortemente predisposte allo sviluppo di processi carsici, sia superficiali che profondi. Questi comportano anche cedimenti superficiali e l'individuazione di aree in subsidenza.

Dal punto di vista idrologico, l'elemento dominante è rappresentato dal T. Trobiolo, sito al piede dell'area in frana e drenante in direzione Nord-Ovest, verso il limitrofo Lago d'Iseo.

Dal punto di vista idrogeologico, è nota la presenza di reti di circolazione idrica profonde, interessanti il substrato roccioso attraverso processi di carsismo a spese, in particolare, delle rocce evaporitiche. Si registra inoltre la circolazione idrica sub-superficiale entro i depositi recenti presenti sul versante; nell'area della nicchia di frana, si osserva come questa circolazione venga a giorno in corrispondenza dell'interfaccia con il substrato roccioso. La circolazione idrica sotterranea è presumibilmente legata alla dinamica delle precipitazioni.




**SINTEMA DI CANTÙ**

emerso / LCN / sommerso

Diamicton massivi a supporto di matrice, sovraconsolidati (*till* d'alloggiamento e in netto subordine *till* d'ablazione). Limi argillosi massivi, con lenti di diamicton massivi, clasti e ghiaie (depositi di contatto glaciale). Ghiaie massive o rozzamente stratificate; locali livelli di sabbie e limi; petrografia poligenica, a dominante carbonatica; cementazione locale e discontinua (depositi fluviali/fluvioglaciali e di conoide alluvionale). Limi e argille carbonatici, da massivi a laminati (depositi lacustri). Superficie limite superiore con morfologie ben conservate, copertura loessica assente; profilo di alterazione con profondità inferiore a 1,2 m; colore della matrice 10 ÷ 7.5 YR. ***PLEISTOCENE SUPERIORE***

**CALCARE DI ANGOLO**

emerso / ANG / sommerso

Calcari essenzialmente micritici, compatti, da grigi a nerastri, talora interessati da parziali processi di dolomitizzazione e da bioturbazioni e resti organici, ricchi di crinoidi, in straterelli e strati di 20-80 cm spesso amalgamati, planari o nodulari, con locali intercalazioni o alternanze marnoso-argillose, spesso micacee, finemente laminate. Si osservano anche calcareniti e biocalcareniti. La fauna è caratterizzata da *Encrinus liliiformis, Pleuromya musculoides, Paraceratites trinodosus*. Al tetto è comune una lumachella a brachiopodi localmente silicizzati ("Banco a Brachiopodi"), costituita da pochissimi metri (<10 m) di calcari scuri fossiliferi e nodulari, zeppi di *Coenothyris vulgaris, Decurtella decurtata, Spiriferina fragilis, Tetractinella trigonella*. Lo spessore complessivo si aggira sui 700 m, ma si riduce notevolmente laddove l'unità risulta in gran parte sostituita dall'eteropico calcare di Monte Guglielmo. ***ANISICO INFERIORE - MEDIO***

**CARNIOLA DI BOVEGNO**

emerso / $BOV_a$ / BOV / sommerso

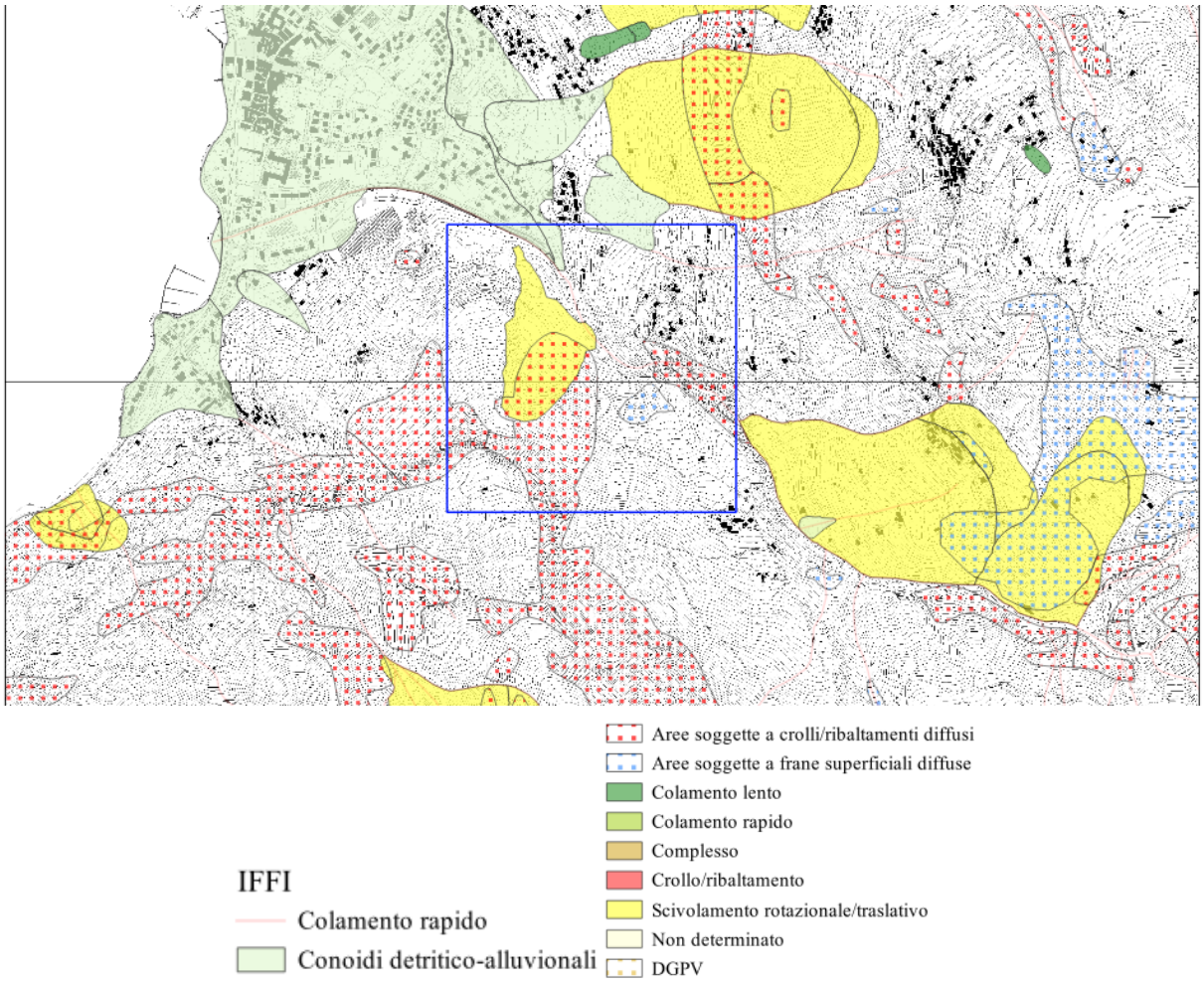
Dolomie e calcari dolomitici, grigio-chiari e giallastri, talora vacuolari e farinosi, a stratificazione poco evidente. Possono associarsi brecce con frammenti prevalentemente carbonatici, marne anche argillose, e siltiti varicolori. Locali lenti di evaporiti ($BOV_a$), anche molto potenti (Pisogne). Spessore inferiore a 100 m, spesso non valutabile per l'intensa deformazione tettonica. ***OLENEKIANO (?) ANISICO INFERIORE p.p.***

**SERVINO**

SRV

Peliti, arenarie e marne di vario colore, spesso micacee e suddivise in lamine, con frequenti variazioni granulometriche laterali e verticali, ben stratificate. Sono inoltre associati, specie inferiormente, termini carbonatici, in genere ancora con un'importante frazione terrigena e dolomitizzati ("calcare di Praso"). Nella parte mediana si intercalano calcari rossastri o grigiastri, con ooliti, intraclasti e frequenti resti fossili costituiti da lamellibranchi e piccoli gasteropodi, stratificati in banchi di 40-80 cm ("Oolite a Gasteropodi" *Auct.*). Strati mineralizzati, spesso a siderite. Ricca fauna fossile, con *Claraia clarai, C. aurita, Natiria costata, Neoschizodus ovatus*. Spessore: 100-150 m. ***INDUANO p.p. - OLENEKIANO***

*Stralcio del foglio CARG 099-Iseo e relativa legenda – non in scala.*




*Stralcio della cartografia IFFI per l'area in esame – non in scala.*

# DESCRIZIONE DELLO DEL DISSESTO

## Stato dei luoghi

*Vista aerea dell'area di frana, con il rilevato esistente al centro e coperto dalla vegetazione.*

Nella condizione attuale, l'area del vallo esistente è occupata da vegetazione arbustiva in modo diffuso e pervasivo. Il vallo a tergo del rilevato appare in gran parte colmato, con il rilevato che lo sopralza di 1-1,5 m. Il vallo è colmato da materiale grossolano (ghiaie con abbondanti ciottoli e frammenti decimetrici), blocchi di dimensioni sub-metriche e metriche e da materiale fine argilloso limoso di deposizione da parte della acque che colmano il rilevato in caso di ingenti piogge.

In generale, a tergo del rilevato si nota un diffuso ristagno idrico.

*Dettaglio del rilevato e del vallo, con alcuni blocchi in evidenza e la presenza di fango e ristagno idrico.*

*Tipico aspetto della sommità del rilevato.*

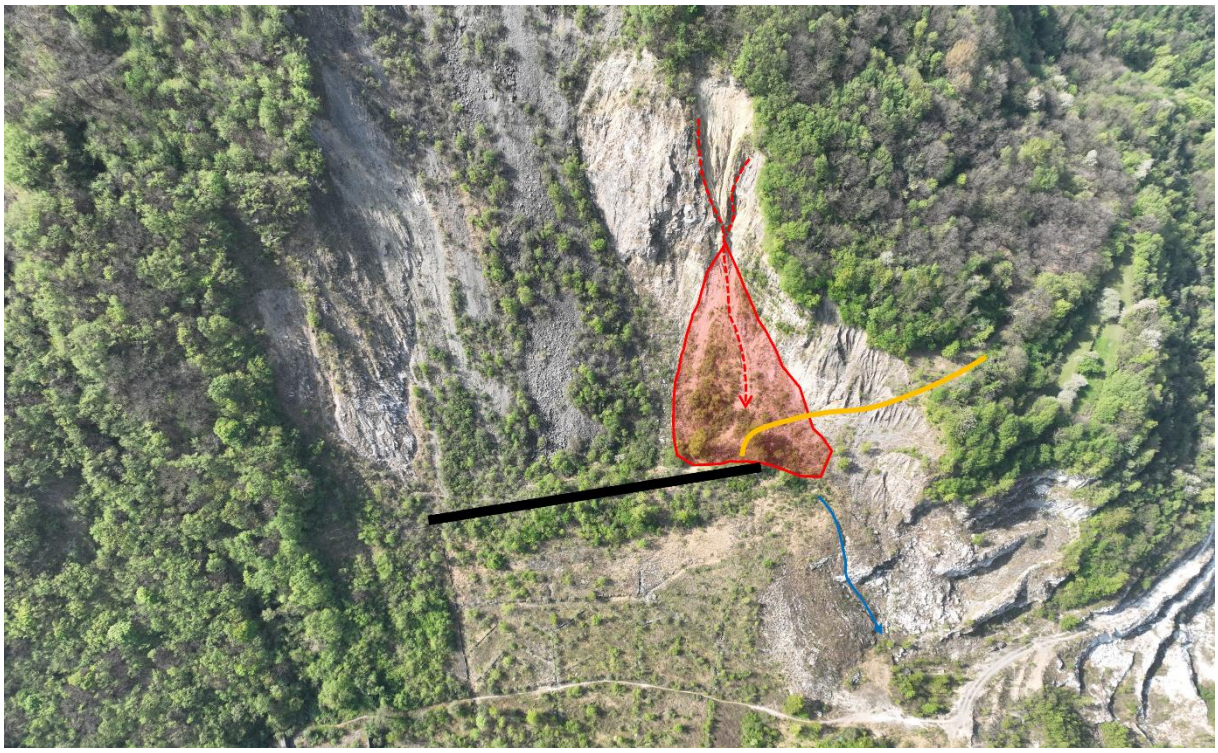
*Vista dell'area del vallo dal fianco sinistro della frana.*

Il settore sinistro della nicchia di frana interessa sia il substrato roccioso che i soprastanti depositi glaciali, ben rappresentati da miscele di materiale sabbioso-limoso con frequenti ciottoli e occasionali blocchi arrotondati e levigati, di litologie anomale.

In particolare, nel settore presso la terminazione sinistra del vallo, il versante è interessato da processi di erosione e trasporto superficiali controllati dal deflusso idrico in corrispondenza di piogge più o meno intense. Nel tempo, questi processi hanno edificato un piccolo conoide. La sorgente del deflusso è in parte legata alle piogge che cadono direttamente sulla superficie, in parte al deflusso sub-superficiale, forzato a emergere dalla presenza del contatto sedimenti-substrato e dalla nicchia di frana. Il deflusso appare anche piuttosto importante in concomitanza di piogge estese nel tempo. Il materiale trasportato ha le caratteristiche di una ghiaia con ciottoli e frammenti. Nella porzione di vallo interessata dall'accumulo di detrito legato al deflusso idrico, in superficie è diffusa la presenza di fango derivato dall'azione erosiva e di alterazione delle rocce evaporitiche del substrato affiorante, ma anche dei blocchi e del detrito di frana.

A valle del rilevato, il deflusso ha poi inciso un modesto canale direttamente nei depositi di frana, che si perde poi sul pendio a monte delle aree di cava dismesse.

*Vista del fianco sinistro della frana.*



*Vista aerea dell'area di frana: sono evidenziati il vallo in nero, il conoide e la direzione del deflusso in rosso e il percorso di accesso ipotizzato nel progetto in arancione.*

La porzione più a sinistra del coronamento di frana è caratterizzata da vistosi e numerosi canali d'erosione, impostati in parte nei sedimenti glaciali, in parte nelle rocce evaporitiche.

Il settore a valle del rilevato appare più libero dalla vegetazione. Si individuano piuttosto chiaramente le canalette di drenaggio esistenti, che drenano il deflusso superficiale verso il limitrofo T. Trobiolo.

Il T. Trobiolo in questo tratto appare fortemente antropizzato, con numerose opere idrauliche trasversali e la sponda destra rinforzata da opere arginali. Il fondo dell'alveo appare caratterizzato dalla presenza diffusa di selciato in massi ciclopici. Il torrente è, quindi, ridotto a un canale.

*Vista della porzione a valle e in sinistra dell'area in frana; sulla sinistra dell'immagine si vede il corso del T. Trobiolo; in destra si notano le bancate di cava dismesse.*

## Descrizione del sistema di monitoraggio esistente

Il sistema di monitoraggio presente nell'area in frana è stato predisposto in due periodi differenti.

Il primo sistema di controllo e monitoraggio venne installato nel 2003, in occasione dei primi lavori di messa in sicurezza dell'area in frana e coevo alla realizzazione del rilevato al piede del pendio in frana; il sistema risultava previsto dal progetto dello Studio Prof. Maione e consiste in una serie di estensimetri a filo collocati in prossimità delle principali fratture, oltre che a dispositivi di controllo topografico. Nei vari periodi è stato anche eseguito un monitoraggio degli spostamenti sull'intera superficie del pendio per tramite di tecnica radar.

Nel 2011, Regione Lombardia concesse al Comune di Pisogne un finanziamento per l'ampliamento del sistema di monitoraggio, con realizzazione di nuove colonne inclinometriche e posa di sensori TDR. Nel 2012, con ulteriore finanziamento di Regione Lombardia, il sistema venne integrato con sistemi di acquisizione automatica degli estensimetri e delle stazioni meteo. Tutte le stazioni automatiche presenti trasmettevano i dati in real-time: il sistema di gestione e visualizzazione dei dati permetteva la graficazione e l'estrazione degli ultimi dati, ma anche dei dati storici.

Il sistema di monitoraggio rimane così attivo sino al 2015, quando il monitoraggio dell'area viene interrotto.

L'ultima fase di monitoraggio si apre nel novembre 2023 su richiesta del Comune di Pisogne. Vengono quindi recuperati due tubi inclinometrici sul fianco destro (IN da 3 e 4) e realizzati due nuove tubazioni sul fianco sinistro (IN5 e IN6): l'ultima misura disponibile risale all'aprile 2026.

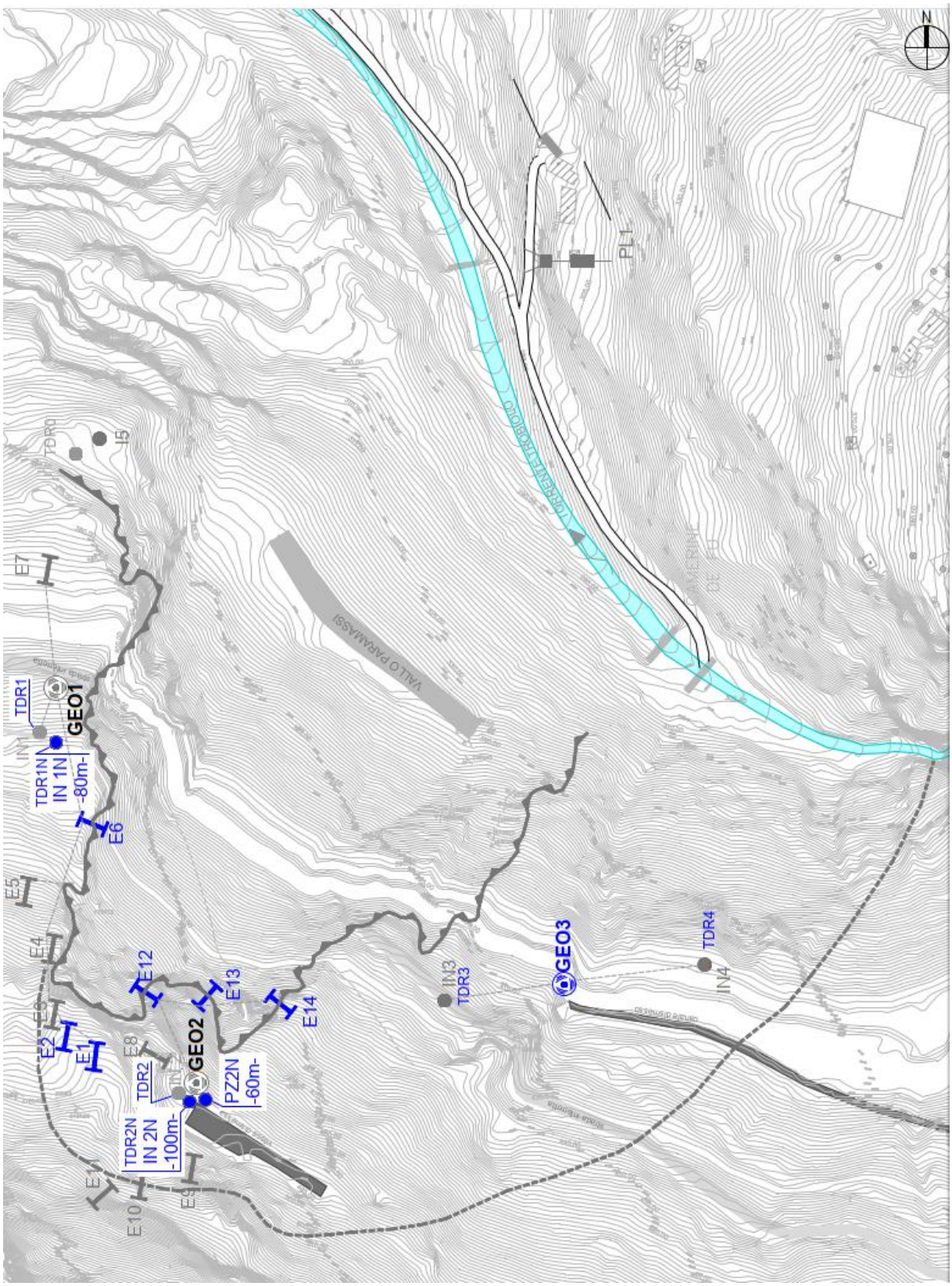
Alla data odierna, il sistema si configura come di seguito riportato:

- N° 2 stazioni meteorologiche, una posta sulla sponda destra del T. Trobiolo di fronte all'area di frana, una a monte nel bacino dello stesso torrente (fuori dall'area di progetto).
- N° 4 colonne inclinometriche percorribili, poste sul fianco destro (IN3 e IN4) e sinistro (IN5 e IN6) della frana; gli inclinometri direttamente a monte (IN2) e nella parte alta del fianco sinistro (IN1) risultano non più percorribili.
- N° 11 estensimetri (da E1 a E11), collegati a un sistema di acquisizione in continuo ma inattivi dal 2015.
- N° 5 cavi TDR, posti a monte (TDR2), sul fianco destro (TDR3 e TDR4) e sul fianco sinistro (TDR0 e TDR1) della frana. I sensori sono tutti collocati entro le colonne inclinometriche identificate dallo stesso numero, ad eccezione del sensore TDR0 collocato entro perforazione indipentente sita appena a monte di IN5.

A oggi il Comune di Pisogne sta cercando di riprendere ed integrare il sistema di monitoraggio, recuperando i sensori esistenti ed estendendo il sistema nei settori a monte della frana e sul fianco sinistro. L'intervento globale sul sistema di monitoraggio è l'oggetto di un differente progetto.

Di seguito si riporta una planimetria del sistema di monitoraggio esistente, su cui si evidenziano i punti su cui si intende intervenire con il progetto considerato nel presente elaborato.

Maggiori dettagli sono riportati nella tavola specifica allegata al presente progetto.




*Stralcio della planimetria del sistema di monitoraggio della Frana del Gasso – non in scala.*

## Possibile evoluzione del dissesto

Le recenti misure effettuate di cui l'ultima all'inizio di aprile 2026, testimoniano movimenti soprattutto del fianco destro, contenuti nel valore di alcuni millimetri anno. Analizzando la tendenza media degli spostamenti del fianco destro si ritrovano infatti valori di circa 5 mm/anno. Per il fianco sinistro si rilevano deformazioni modeste, profonde tra 70 e 80 m nel sondaggio IN5, con valori medi inferiori ai 5 mm/anno e, nel sondaggio IN6 spostamenti più superficiali a circa 30 m di profondità anche in questo caso con valori inferiori a 5 mm/anno.

I dati evidenziano pertanto una possibile evoluzione del dissesto con ampliamento del fianco destro e sinistro, per un probabile fenomeno di *creep* deformativo che sicuramente potrà evolvere nel corso del tempo. È infatti probabile che dopo l'evento franoso dell'anno 2000, la mancanza di sostegno dovuto al franamento del volume roccioso, abbia imposto un rilascio tensionale che ora si propaga e progredisce. Si tratta di materiali gessosi, che subiscono nel tempo un progressivo degrado soprattutto per effetto dell'adsorbimento favorito dall'elevate umidità connessa anche alla presenza del Lago di Iseo. In una situazione come questa è necessario continuare il monitoraggio ed ampliarlo nel tempo e, in relazione ai dati che si ricaveranno circa le possibili deformazioni del pendio, prevederne l'eventuale modifica e integrazione/implementazione.

Nei precedenti studi che si sono susseguiti dopo il franamento dell'anno 2000, si escludeva in sostanza un franamento con volumi simili a quelli verificatisi ovvero pari a circa 400.000 mc e si riteneva improbabile un franamento del fianco sinistro e destro. Alla luce delle recenti misure effettuate tale ipotesi non si può invece escludere e va, come detto, monitorata. Nell'ipotesi che si verifichi un evento piovoso intenso e prolungato e si instauri una circolazione idrica profonda è possibile un'accelerazione delle deformazioni del pendio. Anche i volumi che erano stati ipotizzati vanno ora sicuramente rivisti in considerazione del possibile ampliamento del disseto ed è quindi necessario riconsiderare alcune ipotesi circa l'entità dei volumi potenziali. Data l'estensione delle aree instabili identificata con la carta della dinamica geomorfologica si possono considerare volumi del fianco destro compresi tra 50.000 e 500.000 mc e, volumi del fianco sinistro anche molto più elevati.

Ai fini della completezza dei dati si riportano di seguito le considerazioni e dati riferiti ai precedenti studi eseguiti dopo il dissesto dell'anno 2000.

***Sintesi studi e progetti esistenti dopo il collasso della Frana del Gasso***

Gli studi esistenti sull'area in frana sono stati effettuati principalmente da ARETHUSA srl nell'anno 2001 e successivamente dallo STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI nel 2002 con la previsione delle opere effettivamente realizzate in frana e lungo il Torrente Trobiolo:

- ARETHUSA srl, Responsabile Tecnico Dr. Geol. E. Dolci "Studio del movimento franoso in località Gasso a Pisogne e proposta di messa in sicurezza"- anno 2001.
- STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI, Progettista Incaricato Prof. Ing. Ugo Maione, Progetto esecutivo "Messa in sicurezza del versante di frana e del torrente Trobiolo in comune di Pisogne, interventi di 1° fase" anno 2002.

Lo studio Arethusa predispose un primo studio di verifica delle cause dell'innesco della frana e l'ipotesi di intervento con opere di mitigazione del rischio. Nell'analisi condotta la stratigrafia del pendio interessato dal dissesto venne modellizzata idealmente considerando un substrato di rocce evaporitiche (anidriti e gesso), al di sopra del quale, a partire dalla quota di circa 400 m s.l.m., è adagiata una coltre morenica, al fine di semplificare l'analisi. Di seguito la sintesi dei risultati ottenuti dallo studio Arethusa riportati integralmente:

*L'analisi effettuata dallo studio ha messo in evidenza, relativamente allo scivolamento globale, fattori di sicurezza inadeguati soltanto per una delle sezioni analizzate, sia in condizioni di pendio asciutto che saturo. Lo studio conclude pertanto che questa sezione in precario equilibrio statico abbia innescato il processo franoso che ha in seguito coinvolto le sezioni adiacenti secondo un processo di rottura progressiva del pendio, a seguito delle forti precipitazioni del novembre 2000. Inoltre la faglia presente all'interno dell'ammasso, testimoniata dallo specchio di faglia ora a cielo aperto, ha contribuito in modo determinante al crollo visto che la superficie di rottura corrisponde per gran parte alla faglia stessa.*
*La verifica della stabilità allo scivolamento dei cunei di ammassi rocciosi isolati da superfici di discontinuità intersecantesi ha invece fornito valori di Fs sempre maggiori ad 1.3.*
*Successivamente lo studio ARETHUSA ha verificato, con gli stessi metodi, la stabilità dei due fianchi della frana, considerando superfici di scivolamento di forma allungata, così da analizzare il versante nella sua globalità. L'analisi del fianco sinistro è stata più dettagliata date le più approfondite conoscenze del settore (zona di cava) e la presenza di potenziali bersagli esposti al rischio di frana (abitazioni, cava). Per il fianco destro, dove la presenza della coltre detritica limita le conoscenze geologiche e geotecniche dell'ammasso roccioso, lo studio ha ipotizzato, a favore di sicurezza, la presenza della medesima lente di gesso con gli stessi parametri precedentemente utilizzati. Il calcolo è stato eseguito imponendo 300 possibili superfici di scivolamento e suddividendo la massa movimentata in 20 conci. Le analisi hanno fornito valori di Fs sempre inferiori ad 1.3 per il fianco destro, mentre sul fianco sinistro valori inadeguati limitatamente ad alcune sezioni e a condizioni di pendio saturo.*

A seguito delle considerazioni emerse dalle verifiche di stabilità delle sezioni dell'area in frana, la ARETHUSA individuò una proposta di intervento per il recupero e la messa in sicurezza dell'area in frana che venne in parte ripresa e dallo studio Maione negli anni successivi. Le opere consistevano in disgaggi, ingegneria naturalistica, nella creazione di un vallo (effettivamente relazionato dal progetto Prof. Maione) ed in opere di controllo delle acque. Per il fianco sinistro, dove si identificava una ipotesi di potenziale instabilità, veniva previsto l'alleggerimento del versante con l'asportazione del gesso, individuando una sorta di opera in parziale compensazione con il valore economico del materiale asportato. Lo studio Arethusa citava al riguardo:

*Per quanto riguarda il dosso instabile sul fianco sinistro è stata proposta la riprofilatura e l'arretramento del versante con asportazione di materiale a partire dall'alto, dati i bassi valori di Fs evidenziati dalle analisi e il rischio per le abitazioni sottostanti. L'intervento suggerito prevede la realizzazione di gradoni di altezza 10 m, con pedata di*

*larghezza 6 m leggermente inclinata verso monte, e scarpate di 60°. Il profilo finale del fronte avrebbe così una pendenza di 40°, quest'ipotesi di intervento è valida fino alla quota di 354 m s.l.m., mentre al di sopra e fino alla quota di 431.5 m i gradoni assumeranno una geometria differente e comunque a favore di sicurezza, infatti, le pedate avranno larghezza minima di 7 m, altezza complessiva di 8 m ed una pendenza media del pendio di 29°. Questa discontinuità nella modellazione del versante è resa necessaria dalla morfologia stessa della zona che implica un addolcimento del pendio, il quale si assesta ad una pendenza minore a partire dalla quota approssimativa di 350 m s.l.m. In aggiunta a queste considerazioni si tenga presente che a partire da quota 380 m è rilevata la presenza di una copertura morenica difficilmente stimabile. Questo strato superficiale è stato osservato in sito e si estende per un'area maggiore di quanto riportato dalle carte geologiche della zona; perciò, a seguito dell'incertezza di questi dati si è optato per una configurazione della sezione finale con pendenze più lievi proprio nella parte di pendio interessata da questo tipo di copertura. Ed ancora viene sottolineato il fatto che l'effettiva consistenza del detrito superficiale sarà appurata con esattezza in corso d'opera durante i lavori di escavazione e riprofilatura.*

*L'intervento ipotizzato risulta plausibile anche dal punto di vista operativo, infatti, è possibile raggiungere la quota massima dei gradoni più alti tramite i sentieri individuati nella tavola e le strade di arroccamento già presenti in cava. L'intervento interessa una superficie di circa 25991 m2 ed un volume complessivo asportato nell'ordine di 180000÷200000 m3.*

*L'analisi di stabilità sul pendio a fine lavori è stata condotta ipotizzando la situazione maggiormente penalizzante in presenza di acqua nell'ammasso, sia per l'intero versante che localmente per il singolo gradone che risulta essere quello potenzialmente più pericoloso, data la sua pendenza (60°) i valori di Fs ottenuti sono maggiori di 2.*

*Non sono invece stati proposti interventi rilevanti per il fianco destro, che tuttavia pone minori problemi di sicurezza pubblica e pertanto l'analisi specifica è stata demandata ad una prossima fase di studio; si auspicava di ricomprendere nella fase della stabilizzazione del fianco destro anche l'accumulo di smarino delle miniere di siderite collocato poco più a monte e di accertata instabilità.*

Negli anni successi il Comune di Pisogne, incaricava lo studio Maione Ingegneri Associati, per predisporre il progetto dal titolo "Messa in sicurezza del versante di frana e del torrente Trobiolo in comune di Pisogne, interventi di 1° fase".

Lo studio analizzò la problematica di portata del Torrente Trobiolo e le condizioni di stabilità dell'area in frana. Si escludeva l'ipotesi di formazione di dissesti del volume paragonabile a quello che si era verificato nell'anno 2000 e si considerava anche l'adeguatezza idraulica delle sezioni del torrente Trobiolo, considerato in grado di smaltire la portata di massima piena.

Lo studio considerava infatti (tratto dallo studio Maione e associati):

*Per la sezione dell'alveo nel tratto a valle dell'accumulo di frana, la cui larghezza è pari a 6 m, è stato trovato un valore del tirante idrico corrispondente alla portata duecentennale pari a circa 1,5 m.*

*La sezione dell'alveo è risultata quindi sufficiente a contenere la portata di progetto con un franco di sicurezza superiore al metro.*

Per l'area in frana lo stesso studio considerava:

*Dal confronto fra le diverse campagne di rilievo si possono trarre le seguenti osservazioni:*
*Si nota in generale una buona concordanza fra i sistemi di discontinuità presenti in parete, nelle aree limitrofe ed all'interno della nicchia di distacco, anche al passaggio fra litotipi e formazioni differenti (calcari/carniole/gessi);*
*La stratificazione è in generale concordante;*
*sono presenti alcune variazioni locali dovute alla presenza di flessure o pieghe aperte a scala metrica o decametrica (es. affioramento di gessi sul versante a W della nicchia di distacco; nel settore sinistro della nicchia sono invece presenti alcuni affioramenti di calcare che presentano giacitura differente (120-090/30) e che sono da considerarsi con ogni probabilità disarticolati;*
*Nel settore di valle, all'interno della nicchia, alcuni sistemi di fratture ad elevata inclinazione risultano leggermente ruotati rispetto a quelli presenti alla testata della nicchia stessa (e.g.170/45 in basso → 340/72 in alto; 200/90 in basso → 022/70 in alto);*
*questo fatto può essere attribuito sia a variazioni locali nell'orientazione, sia al rilascio dell'ammasso roccioso situato alla sommità della zona di distacco.*
*La superficie di scorrimento si è sviluppata in buona parte nei gessi della Carniola di Bovegno, per i quali si ammette un peso di volume $\gamma$=22 kN/m3 ed un angolo di resistenza al taglio di base $\phi b'$ = 28°.*
*Gli spessori della massa in movimento lungo tale superficie sono compresi tra 14 m e 38 m.*

Venne inoltre eseguita un'analisi a ritroso, Back-analysis, utilizzando una modellazione numerica del dissesto, con il codice di calcolo PLAXIS, basato sul modello ad elementi finiti adottando alcune considerazioni ricavate dallo studio Arethusa, come la presenza dello specchio di faglia che condizionò con ogni probabilità l'insorgere del fenomeno di dissesto. Per la metodologia di analisi si riporta integralmente quanto contenuto nello studio:

*Sono state quindi condotte diverse analisi, classificabili secondo due differenti condizioni: nella prima è stata studiata la stabilità del pendio, supponendo che fosse completamente drenato, mentre la seconda è stata eseguita considerando la presenza di un livello di falda, posto a profondità variabile dal piano campagna. Tale condizione dovrebbe riprodurre la situazione del versante nelle condizioni immediatamente antecedenti all'evento franoso. In questo secondo caso, la permeabilità elevata dei litotipi costituenti il versante e l'elevata fratturazione degli stessi hanno portato gli analisti ad escludere una completa saturazione del versante, e a supporre un livello piezometrico all'interno dei gessi, ad una profondità media di 5-10 m. Date le considerazioni sopra effettuate bisogna però sottolineare come in realtà l'andamento della piezometrica debba essere meno regolare e di difficile previsione. Le analisi sono state eseguite riducendo i parametri di resistenza (tan$\varphi$ e c) progressivamente fino al collasso del*

*sistema. Il fattore di sicurezza Fs è dato dal rapporto resistenza mobilitabile/resistenza a rottura. Pertanto il valore del coefficiente di sicurezza fornito dall'analisi rappresenta il fattore di riduzione dei parametri di resistenza che ha determinato il collasso.*

*In assenza di falda è stato necessario ridurre i parametri di resistenza di un Fs pari a 1.5, la superficie di scorrimento si è impostata sulla faglia K9 e sono stati mobilitati sia i gessi che i calcari. Anche in presenza d'acqua la superficie di scorrimento si è impostata su K9, ma in tal caso le condizioni di rottura si sono raggiunte per un fattore di riduzione pari ad 1.1. L'analisi ha evidenziato come le bancate di calcari non siano state coinvolte nelle prime fasi del collasso, probabilmente per la loro stratificazione a reggipoggio.*

*In conclusione, si osserva che la stabilità del pendio è stata determinata dalla resistenza a taglio della faglia, il collasso è avvenuto per rottura delle Carniole, e poi ha coinvolto anche i calcari sovrastanti. Non vi sono prove di un concreto coinvolgimento delle attività estrattive sul franamento occorso. Tuttavia si può osservare che il piano di scivolamento presenta inclinazioni generalmente maggiori o uguali a quella del versante: per questa ragione le attività di scavo al piede, facilitando l'uscita di una superficie di rottura potrebbero aver creato condizioni favorevoli allo scivolamento.*

A seguito delle analisi e modellazioni, lo studio Maione propose alcuni scenari di rischio di seguito riportati:

***Scenario 1: franamenti di grandi dimensioni***

*Il presente paragrafo è volto alla determinazione dei possibili scenari di rischio conseguenti a mobilitazioni di grandi volumi di roccia (paragonabili a quelli del franamento già occorso).*

*Le possibilità di effettuare considerazioni fondate su un approccio quantitativo hanno risentito certamente di molte fonti di incertezza. Si pensi ad esempio a come la fitta copertura boschiva del versante occulti la visione di fratture e deformazioni incipienti, ma si pensi anche alle difficoltà connesse alla ricostruzione dell'assetto strutturale di ammassi rocciosi così fratturati.*

*Tuttavia, pur in possesso di limitate informazioni, l'eventualità di franamenti di grandi dimensioni è sembrata di difficile verosimiglianza, anche sulla base delle numerose osservazioni effettuate in campagna.*

*Si ricorda innanzi tutto che condizione assolutamente indispensabile ad un franamento come quello già occorso è la presenza di un piano di scivolamento (quale la faglia 043°/45°) di inclinazione tale da consentire l'uscita della superficie di rottura.*

*Parallelamente, superfici di discontinuità ad elevata inclinazione possono sì creare condizioni di svincolo sui fianchi ed a monte, senza che tuttavia si possa sviluppare un cinematismo di collasso.*

*Dalle numerose osservazioni di campagna sulla geometria delle discontinuità (già riportate in altra sede) risulta con estrema chiarezza che l'unica famiglia che potesse consentire il supporto ad un franamento fosse proprio quella della faglia in esame.*

*D'altro canto tale discontinuità non è più presente, dato che emerge sui settori sud-occidentali (rispettivamente, a monte e sul fianco in sinistra). In tali aree pertanto si è rilevata, a grande scala, la sola presenza di sistemi ad*

*andamento sub-verticale (inclinazioni da medie da 60° ad 80°), oppure di elementi che immergono a reggipoggio (stratificazione).*

*Nessuna di queste famiglie è risultata quindi possedere le caratteristiche geometriche tali da consentire movimenti di grandi dimensioni. In mancanza di tali condizioni sarebbe necessario ipotizzare improbabili superfici di rottura che, non coincidendo con giunti o discontinuità già esistenti, dovrebbero essere governate dalla legge di rottura dell'ammasso e non del giunto.*

*Per quanto riguarda il margine orientale, nonostante l'esecuzione delle attività di rilevamento in campagna, non si sono ravvisate evidenze circa la continuità della faglia, che anzi, sulla base della sua giacitura, sembra approfondirsi verso la parte alta del bacino.*

*Per questa ragione, in mancanza di dati ulteriori non è ritenuto plausibile il verificarsi di movimenti di grandi dimensioni.*

*Tuttavia, a causa anche delle incertezze alle quali si è già accennato, si è disposto per la realizzazione di un piano di monitoraggio (mire ottiche ed estensimetri) in grado di rilevare l'eventuale sviluppo di movimenti e deformazioni su tutta l'area circostante la nicchia di distacco.*

***Scenario 2: caduta di masse rocciose di medie dimensioni***

*……..*

*c) scivolamento di cunei nella zona di fianco occidentale*

*In questo caso lo STUDIO MAIONE ha verificato la stabilità dei cunei che si possono generare sul fianco occidentale, all'interno degli affioramenti di Carniola di Bovegno. Sono stati utilizzati nell'analisi sia i dati acquisiti dagli autori e dalla soc. ARETHUSA. Oggetto d'indagine sono stati i cunei originati dall'intersezione delle famiglie K2 (090°/70°) e K6 (310°/68°), considerando, eventualmente, la presenza di tension cracks (30°/70°). Data la dispersione dei valori dell'inclinazione delle discontinuità è stato scelto un approccio probabilistico, valutando, con il metodo Monte Carlo, 1000 condizioni, ottenute generando casualmente i valori dell'inclinazione di K2 e K6 secondo due distribuzioni normali. Le analisi sono state condotte in presenza o assenza di Tension Crack, ma sempre in assenza d'acqua, ritenuta condizione verosimile data l'intensa fratturazione dell'ammasso in quest'area. I valori di Fs ottenuti variano tra 2.05 e 2.5, e l'approccio probabilistico ha dimostrato che i cunei collegati ai cinematismi più probabili sono di volume inferiore ai 3000 m3. Tuttavia, i valori di Fs ottenuti consentono un buon margine di sicurezza anche per le combinazioni più sfavorevoli, e anche in presenza (ritenuta poco probabile) di modesti quantitativi d'acqua nelle fratture.*

*……..*

*d) scivolamenti di cunei nella zona di fianco orientale*

*Lo scivolamento di cunei dal fianco orientale della nicchia è stato considerato anche a causa del fatto che la stratificazione delle Carniole poteva suggerirne la possibilità.*

*A tale scopo si ricorda che, la stratificazione presenta caratteri geometrici di estrema variabilità (228÷310°/08÷68°).*

*Sono state pertanto effettuate diverse analisi, considerando un pendio schematizzabile come 05÷15°/45°, attraverso le quali è stato possibile riconoscere che, sotto tali ipotesi, non sono possibili cinematismi di distacco.*

*e) stabilità di speroni isolati……...*

In buona sostanza lo Studio Maione ritiene di escludere la possibilità che si possano verificare instabilità di grandi dimensioni e riconduce a situazioni di maggior sicurezza le problematiche rilevate da Arethusa per il fianco sinistro (area di cava), dove i valori di fattore di sicurezza risultano elevati e si esclude la possibilità che il versante arrivi a saturarsi per la presenza di sistemi importanti di fratturazione.
A seguito delle analisi condotte lo studio Maione propose una serie di interventi attivi e passivi, successivamente realizzati che sono tuttora visibili e hanno ben lavorato come previsto dal progetto, lo stesso studio concludeva comunque evidenziando che:

*Si ricorda infine che ulteriori valutazioni sulle reali condizioni di pericolosità da franamenti di grandi e medie dimensioni siano più realisticamente effettuabili solo a conclusione del primo ciclo di letture del sistema di monitoraggio.*

Se da un lato quindi le analisi e modelli davano conforto circa la stabilità del pendio, si richiamava alla necessità di monitorare la situazione, peraltro con il sistema di monitoraggio che venne a suo tempo installato, ovvero con estensimetri a filo e mire topografiche che, solo successivamente il Comune di Pisogne ha integrato con sondaggi profondi e tubazioni inclinometriche e cavi TDR.

## Attività future – Opere di mitigazione del rischio

Come già espresso in vari punti, si ritiene necessario continuare il monitoraggio e controllo della frana per meglio comprendere il fenomeno di creep in atto; si ritiene che con i vari progetti in atto e raccolta dati, tra due anni, si potranno avere ulteriori dati tecnici importanti utili alla miglior comprensione del dissesto e sarà pertanto necessario rivedere e approfondire questa tematica. Si potranno ad esempio strumentare le tubazioni inclinometriche del sistema di monitoraggio con sonde multiparametriche per lettura in continuo che potranno essere collocate alle profondità precise, dedotte dalle misure manuali che si effettueranno nei prossimi due anni. Nel corso delle perforazioni dell'ampliamento è stato previsto il prelievo di campioni di roccia (gesso) da sottoporre a prova triassiale strumentata, al fine di fornire dati importanti sul comportamento del materiale roccia. Con i dati disponibili si potrà pertanto effettuare delle modellazioni agli elementi finiti del pendio e ricavare i fattori di sicurezza in modo più preciso ed approfondito rispetto ai dati ricavati nel passato (studi di Arethusa srl e Prof. Cancelli Prof. Maione precedentemente citati).
Se infatti le ipotesi del passato ed i dati del passato non ritenevano molto probabili evoluzioni del dissesto, con i nuovi dati di monitoraggio non si esclude a priori questa possibilità dato che deformazioni nell'ordine dei 5 mm/anno sono state misurate. Tali aspetti erano già stati segnalati ed in parte ripresi negli studi eseguiti dalla scrivente

società nell'anno 2016 (Analisi preliminare Opere di Mitigazione del rischio all'apice di conoide del Torrente Trobiolo e analisi di pericolosità lungo la conoide- Land & Cogeo srl e Ing. Umberto Belfiore Mondoni - dicembre 2016). Valori di deformazione di questo tipo sono riferibili a fenomeni lenti ma è necessario verificare l'andamento nel tempo per escludere accelerazioni o incremento delle instabilità del pendio.

La situazione morfologica del sito consente inoltre, a parere degli scriventi, di proporre delle opere di difesa che potrebbe anche essere risolutrici del dissesto.

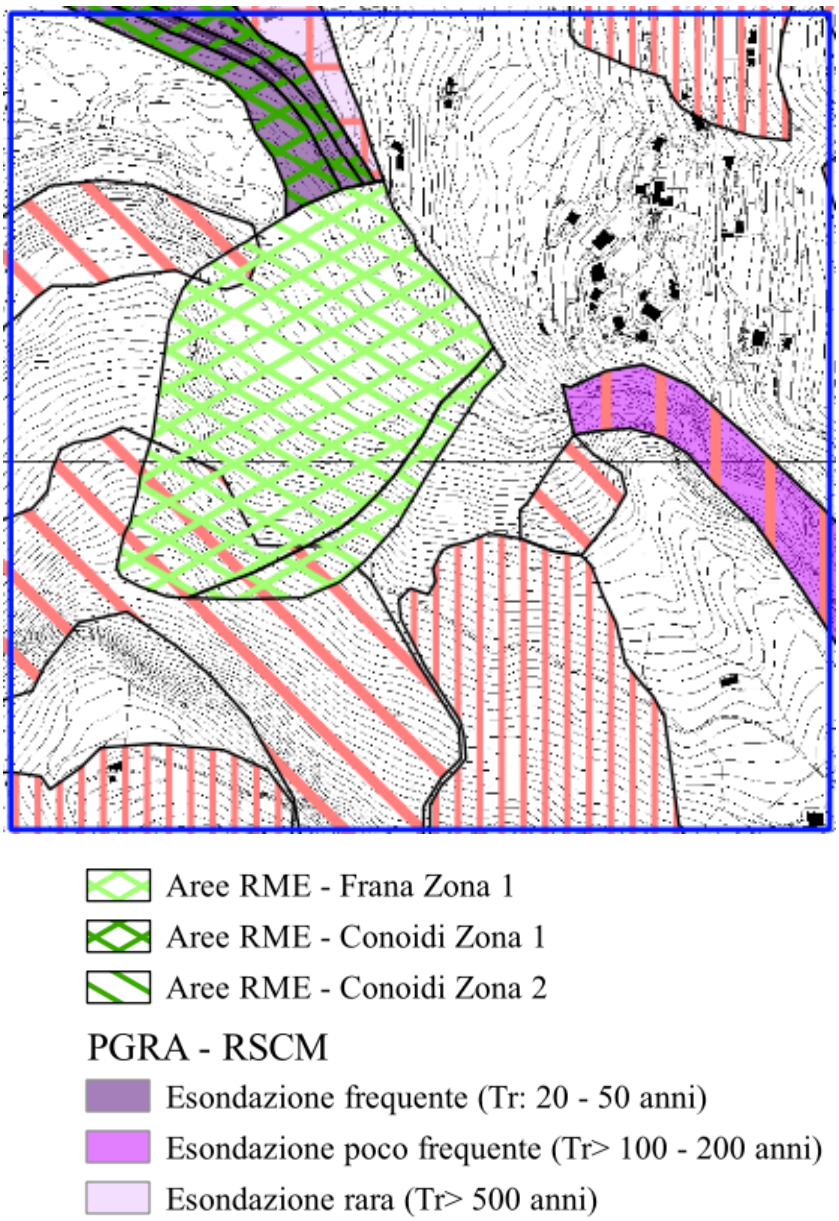
Per il fianco sinistro, già in passato era stata proposta la riprofilatura del pendio con alleggerimento dell'apice e riempimento dell'attuale area depressa oggetto di gradonatura ed escavazione operate dalla ditta Lages srl negli anni passati (area presente in sinistra orografica al T.Trobiolo all'alice di conoide). Tali opere erano state proposte nello studio di Arethusa srl e nello studio della scrivente del 2016 (Analisi preliminare Opere di Mitigazione del rischio all'apice di conoide del Torrente Trobiolo e analisi di pericolosità lungo la conoide- Land & Cogeo srl e Ing. Umberto Belfiore Mondoni -dicembre 2016). Si tratta di un intervento che potrebbe avere una componente importante di miglioramento paesaggistico ed ambientale ad unire pertanto due interessi ovvero la stabilizzazione del pendio ed il recupero naturalistico dell'area. Purtroppo, questa attività il comune di Pisogne ha cercato di portarla avanti anche nel recente passato, in occasione degli interventi che poi sono stati realizzati di costruzione di una nuova briglia sul Torrente Trobiolo (Opere di mitigazione del rischio all'apice di conoide del Torrente Trobiolo e analisi di pericolosità lungo il conoide CUP.D53H19000620001-dicembre 2021- Ing. Gianni Peluchetti geologia Land & Cogeo srl) quando si era ipotizzato per l'appunto di realizzare un'area di accumulo del trasporto solido all'apice di conoide ma senza ottenere l'assenso dei privati ed una forte resistenza dei proprietari dell'area al punto che il comune abbandono questa soluzione tecnica ripiegando appunto sulla realizzazione di una imponente briglia a fessura più a monte dell'area in frana.

Per quanto riguarda il fianco destro le opere risulterebbero più complicate per la difficile logistica del sito ma comunque fattibili. Si tratterebbe in questo caso di realizzare dei consolidamenti del piede con ancoraggi profondi e tiranti. Nelle situazioni di *creep* soprattutto quando sono presenti materiali come i gessi, è possibile ottenere importanti effetti benefici riducendo anche di poco le forzanti e quindi con consolidamenti del piede si potrebbe probabilmente ottenere un elevato beneficio e un rallentamento progressivo delle deformazioni.

# QUADRO VINCOLISTICO

### *Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)*

L'area analizzata nel presente elaborato ricade entro la perimetrazione di un'Area RME – Frana Zona 1. Queste sono definite come aree instabili o che presentano un'elevata probabilità di coinvolgimento, in tempi brevi, direttamente dal fenomeno e dall'evoluzione dello stesso.




*Stralcio delle perimetrazioni PAI e PGRA nell'area di studio – non in scala.*

Nella definizione dell'area RME – Frana Zona 1, le norme impongono quanto segue:

Nelle aree di cui ai commi precedenti deve essere predisposto un sistema di monitoraggio finalizzato ad una puntuale definizione e valutazione della pericolosità dei fenomeni di dissesto, all'individuazione dei precursori di evento e dei livelli di allerta al fine della predisposizione dei piani di emergenza, di cui all'art. 1, comma 4, della L. 267/1998, alla verifica dell'efficacia e dell'efficienza delle opere eventualmente realizzate.

Le norme riportano quanto segue:

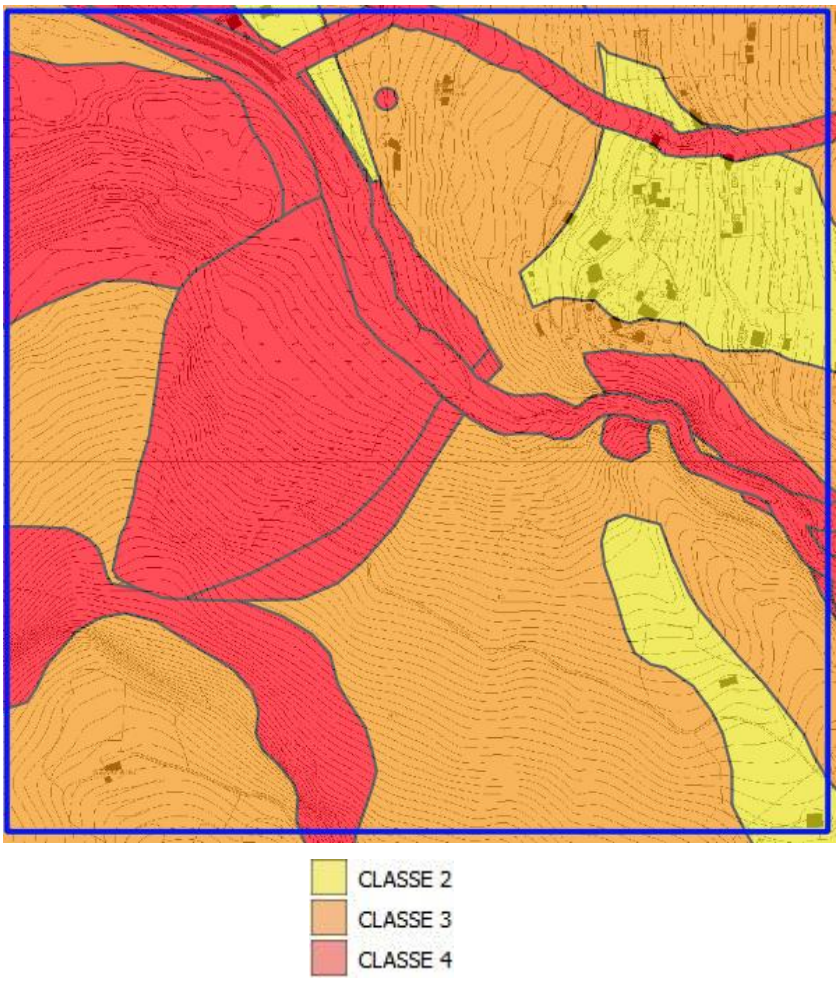
1. Nella porzione contrassegnata come ZONA 1 delle aree di cui all'Allegato 4.1 all'Elaborato 2 di Piano, sono esclusivamente consentiti:
   - gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
   - gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b), c) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457, senza aumenti di superficie e volume, salvo gli adeguamenti necessari per il rispetto delle norme di legge;
   - le azioni volte a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità con riferimento alle caratteristiche del fenomeno atteso. Le sole opere consentite sono quelle rivolte al consolidamento statico dell'edificio o alla protezione dello stesso;
   - gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria relativi alle reti infrastrutturali;
   - gli interventi volti alla tutela e alla salvaguardia degli edifici e dei manufatti vincolati ai sensi del D. Lgs. 29 ottobre 1999 n. 490 e successive modifiche e integrazioni, nonché di quelli di valore storico-culturale così classificati in strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale vigenti;
   - gli interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico e idraulico presente e per il monitoraggio dei fenomeni;
   - la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente valicato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto delle stato di dissesto in essere.

Le aree a valle della frana presso il T. Trobiolo non ricadono entro alcuna perimetrazione del PGRA.

### *Fattibilità*

Compatibilmente con quanto appena descritto per il PAI e per il PGRA, la carta della fattibilità geologica assegna una classe 4 (con gravi limitazioni) all'intera area in esame.

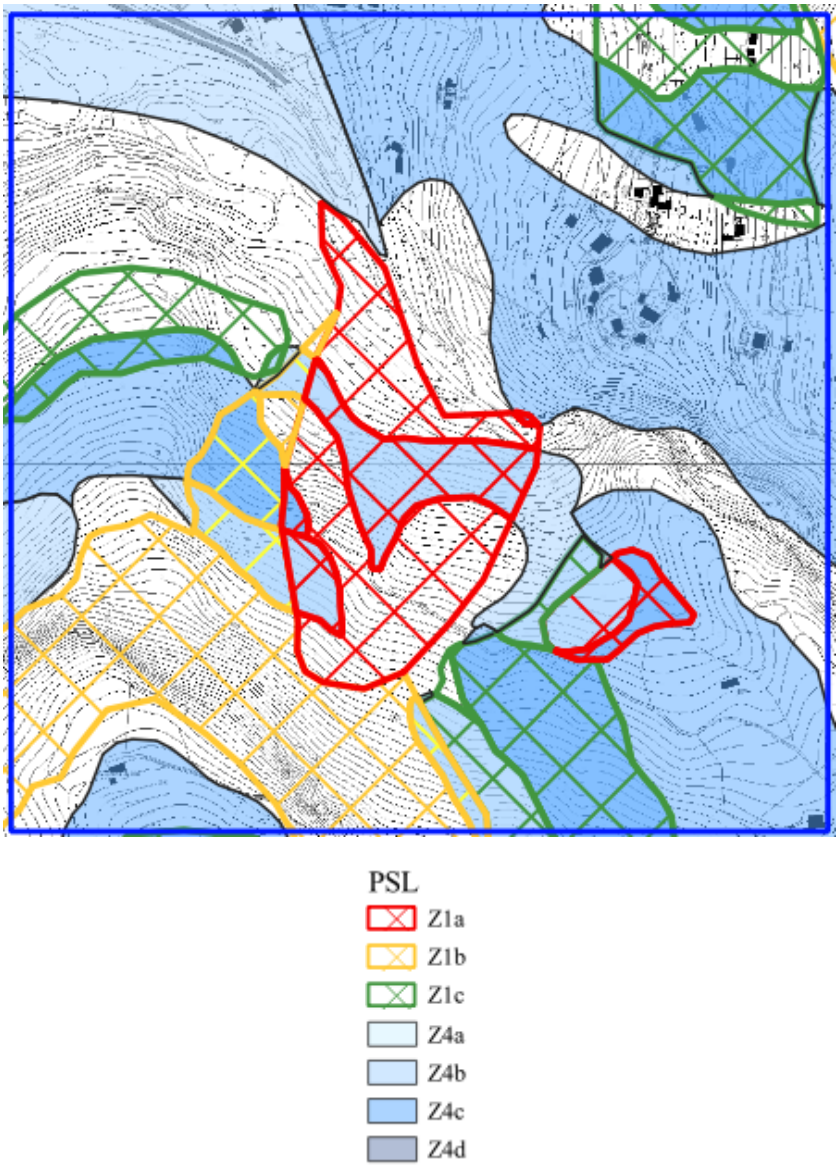
Non si introducono particolari ulteriori vincoli o limitazioni rispetto a quelli già implicati dai vincoli precedentemente esposti.




*Stralcio del mosaico della fattibilità geologica allegata ai PGT comunali locali – non in scala.*

### *Pericolosità Sismica Locale (PSL)*

L'area di progetto ricade entro gli scenari Z1a (zona caratterizzata da movimenti franosi attivi) e Z4c (zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi, comprese le coltri loessiche).

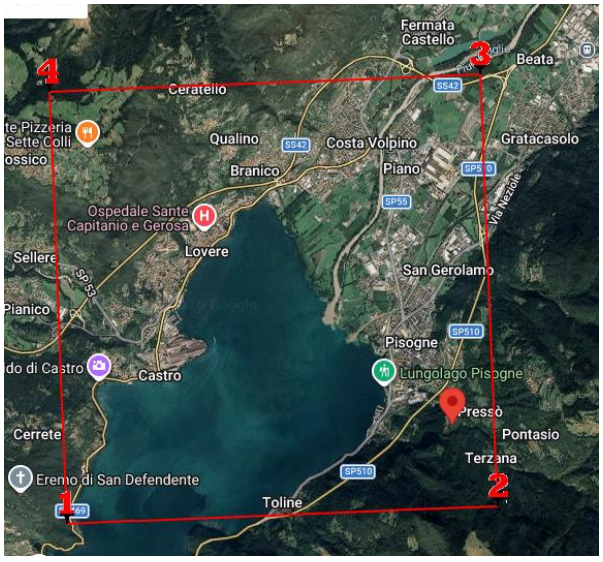



*Stralcio della cartografia della PSL allegata ai PGT comunali locali – non in scala*

# SISMICITA'

## Caratteri sismici del sito

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 Pisogne, 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 "A" e una categoria topografica T2**, che rispecchiano un contesto di pendio (pendenza > 15°) impostato in depositi sciolti. Si tenga conto che questi parametri sono definiti in via indicativa, in assenza di indagini specifiche non richieste in questa fase dalla committenza.




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 | $Tc^*$ [s] |
|---|---|---|---|---|
| Operatività (SLO) | 30 | 0.034 | 2.459 | 0.202 |
| Danno (SLD) | 50 | 0.044 | 2.461 | 0.223 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 475 | 0.113 | 2.454 | 0.279 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 975 | 0.145 | 2.483 | 0.289 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 50 | | | |

*A sinistra: ubicazione del sito rispetto alle maglie di calcolo del software; a destra: output del software Geostru PS*

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T2

| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---|---|---|---|---|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,48 |
| CC Coeff. funz categoria | 1,78 | 1,72 | 1,60 | 1,58 |
| ST Amplificazione topografica | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |

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

| Coefficienti | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---|---|---|---|---|
| kh | 0.012 | 0.016 | 0.049 | 0.062 |
| kv | 0.006 | 0.008 | 0.024 | 0.031 |
| Amax [m/s²] | 0.603 | 0.771 | 1.994 | 2.529 |
| Beta | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.240 |

*Parametri di calcolo: suolo **C**, categoria topografica **T2** per stabilità di pendii e fondazioni*

Tipo: Fronti di scavo e rilevati

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T2

| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---|---|---|---|---|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,48 |
| CC Coeff. funz categoria | 1,78 | 1,72 | 1,60 | 1,58 |
| ST Amplificazione topografica | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |

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

| Coefficienti | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---|---|---|---|---|
| kh | 0.000 | 0.037 | 0.077 | 0.000 |
| kv | -- | 0.018 | 0.039 | -- |
| Amax [m/s²] | 0.603 | 0.771 | 1.994 | 2.529 |
| Beta | -- | 0.470 | 0.380 | -- |

*Parametri di calcolo: suolo **C**, categoria topografica **T2** per fronti di scavo e rilevati*

## 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 Uc < 3,5 e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5."

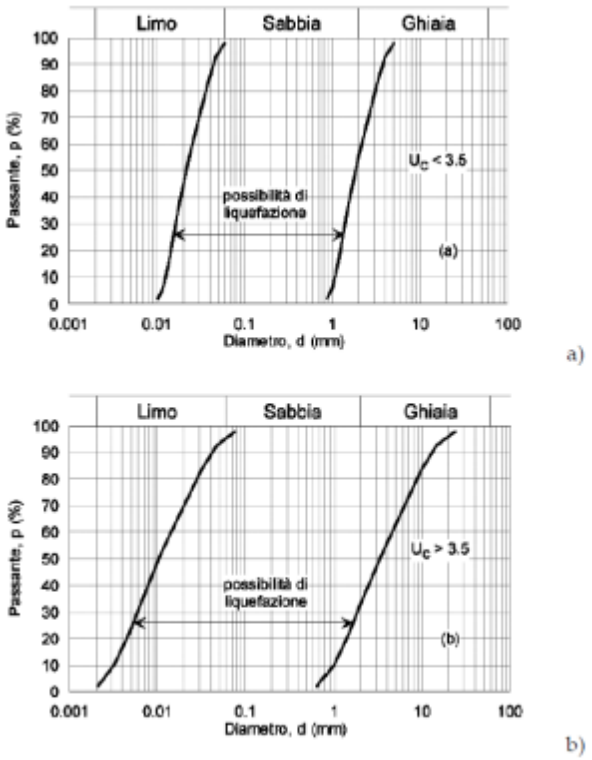



**Fig. 7.11.1** – *Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione*

Nel caso in esame, i depositi osservati nel tratto del versante sono costituiti da una dominante frazione ghiaiosa con abbondanti blocchi, mentre il materiale fine presente nella porzione in sinistra del vallo ha carattere locale e non persistente. Dunque, i depositi presenti in sito sono troppo grossolani per produrre fenomeni di liquefazione, portando a ritenere che l'aspetto di liquefazione dei terreni corrisponda a una <u>bassa probabilità di occorrenza</u>.

# ELEMENTI A RISCHIO

Le opere previste nel progetto qui considerato puntano ad integrare e ripristinare il sistema di mitigazione del rischio associato ai processi d'instabilità presenti nell'area della Frana del Gasso ma solo per piccoli eventi di crollo dalla zona di nicchia.

La Frana del Gasso comprende processi d'instabilità superficiali e locali, oltre che processi più profondi ed estesi. In particolare, la nicchia di frana è soggetta a processi di rilascio di blocchi rocciosi di dimensioni variabili ove impostata in substrato roccioso. Dove la superficie interseca invece sedimenti recenti, si sviluppano processi erosivi, legati alla dinamica degli agenti atmosferici. Nelle porzioni in cui affiorano rocce evaportiche (Carniola di Bovegno), si osservano poi processi di natura carsica e di degradazione dell'ammasso roccioso. Tutti questi processi comportano la progressiva evoluzione della superficie di frana, con dinamiche di movimentazione verso valle di piccoli volumi distribuite nel tempo, e la progressiva retrogressione della nicchia.

Processi di questo tipo possono produrre notevoli quantità di depositi nel tempo. Data la posizione dell'area in frana, tali sedimenti andrebbero ad alimentare i processi di trasporto legati al T. Trobiolo, posto alla base del pendio in frana. *Ne conseguirebbe una variazione della dinamica del corso d'acqua, che nel tratto di conoide ove insite l'abitato di Pisogne è già fortemente antropizzato: l'incremento di sedimenti trasportati porterebbe a un maggior carico esercitato sulle opere idrauliche presenti; quindi, a una più frequente e importate necessità di pulizia e manutenzione*. *La manutenzione e sistemazione del rilevato e lo svuotamento del vallo esistenti hanno lo scopo di riportare le opere alla funzionalità richiesta per gestire questo tipo di problematiche*.

Delle informazioni pregresse disponibili si evince che la dinamica a scala dell'intero pendio comprende scenari di ampliamento dell'area di frana, sia verso monte che sui fianchi. Le volumetrie in gioco, dell'ordine di decine e/o centinaia di migliaia di metri cubi, definiscono un livello di pericolosità sicuramente elevato o molto elevato. Questo è coerente con le indicazioni del PAI, che colloca l'area entro una zona RME per frana.

La propagazione verso valle del collasso di porzioni estese del versante comporterebbe necessariamente il coinvolgimento dell'asta del T. Trobiolo: l'accumulo di materiale nel fondovalle, oltre a coinvolgere gli edifici presenti in quel punto e immediatamente a valle, potrebbe edificare con molta probabilità uno sbarramento di frana, con conseguente sviluppo di un lago di sbarramento e la variazione dei circuiti di flusso delle acque, sia per quanto concerne il deflusso superficiale che quello sotterraneo. La presenza di rocce evaportiche comporta un elevata probabilità di sviluppo di processi carsici, come per altro dimostrato dalla diffusa presenza di morfologie legate a questi processi (doline, zone in subsidenza, calanchi). Un incremento nell'infiltrazione favorirebbe lo sviluppo di questi processi, causando con probabilità l'insorgere di fenomeni di subsidenza in superficie che potrebbero coinvolgere ampie porzioni del tratto apicale della conoide del T. Trobiolo. In profondità, si potrebbero osservare dinamiche di circolazione idrica drasticamente incrementata, in particolare in corrispondenza delle gallerie della SP 510, che attraversano l'area in direzione circa NE-SO.

Questi aspetti sono ritenuti probabili anche alla luce di quanto già avvenuto ai tempi dell'innesco della frana.

L'implementazione delle opere integrative al sistema di monitoraggio previste in progetto hanno dunque un ruolo chiave nel gestire il rischio associato alle dinamiche del versante della Frana del Gasso.

*Schema semplificato dell'area in frana e della possibile espansione del fianco sinistro e destro – non in scala.*

# SINTESI

## Modello geologico di riferimento (MGR)

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di pendii da acclivi a molto acclivi, interessati da dinamiche geomorfologiche di tipo franoso alla scala del versante, facendo riferimento alla Frana del Gasso. Alle dinamiche ad ampia scala sono poi associati processi di dimensioni più contenute e carattere locale e/o puntuale di rilascio di materiale, erosione e retrogressione della nicchia di frana. Nei punti di affioramento delle rocce evaporitiche del substrato si osservano poi processi erosivi di natura carsica. Questi processi superficiali producono nel tempo significative quantità di detrito, che si propaga verso valle. Per contenere questi processi era stato realizzato nel 2003 il rilevato con vallo esistenti e oggetto d'intervento. In particolare, nei vent'anni successivi la dinamica superficiale della frana ha sostanzialmente colmato il vallo: il rilevato, infatti, appare rialzato rispetto ai depositi solamente di circa 1-1.5 m. Il materiale presente è caratterizzato da granulometria sostanzialmente grossolana o molto grossolana, con abbondanti ciottoli e frammenti rocciosi, oltre a occasionali blocchi di dimensioni metriche o superiori. Localmente, processi di degradazione e alterazione delle rocce del substrato hanno prodotto materiale più francamente fine, fangoso. Nel dettaglio della porzione sinistra del vallo, poi, i processi erosionali legati agli agenti atmosferici e alla circolazione idrica sub-superficiale a monte della nicchia di frana hanno sviluppato due piccoli coni di detrito, su cui sono ben evidenti le azioni del ruscellamento concentrato. Le acque lì incanalate tendono in gran parte a proseguire verso sinistra lungo il pendio oltre il rilevato esistente, ma in parte vengono trattenute nel vallo dove si osserva un diffuso ristagno.

Dal punto di vista strettamente geologico, l'area si imposta su substrato roccioso di natura evaporitica (Carniola di Bovegno), costituito da prevalenti gessi e anidriti. L'andamento della stratificazione è immergente verso SO a medio angolo. Si individuano diverse fratture nell'ammasso, di cui un sistema immergente a franapoggio ad alto angolo e uno immergente a Ovest. Questi, uniti alle scarse proprietà meccaniche delle rocce e all'effetto dei processi

idrogeologici e carsici, controllano la dinamica della frana. Sulla base dei dati ottenuti dal sistema di monitoraggio profondo (inclinometri), il versante è soggetto a processi deformativi di natura plastica, diffusi su ampie porzioni del versante. Questi processi si manifestano con deformazioni di contenuta entità (8-9 mm registrati nelle misure eseguite fra fine 2023 e inizio 2026) e velocità limitata (3-4 mm/anno sino a 5 mm/anno). Non è noto se questo processo di *creep* sia di carattere primario o sia una conseguenza e/o continuazione dei processi legati alla Frana del Gasso.

Per quanto riguarda la frana nel suo insieme, le misure del sistema di monitoraggio mostrano come il suo sviluppo futuro tenda a un coinvolgimento del fianco destro, con potenziale significativa estensione delle aree in dissesto verso NE. Il fianco sinistro della frana, ove si riconoscono tutt'oggi le morfologie legate alla discontinuata attività di cava, può risultare coinvolto in processi di destabilizzazione dell'ammasso roccioso, di carattere locale e superficiale in funzione dell'elevata pendenza delle bancate di cava. Infine, l'area del coronamento attuale della frana e a monte di questo tende a subire processi di distacco localizzato di volumi di sedimenti e ammasso in una dinamica retrogressiva diluita nel tempo. Per gestire il sedimento prodotto da questi fenomeni è stato realizzato nel 2003 il rilevato e il retrostante vallo esistenti. Gli scenari ipotizzati negli studi eseguiti in passato nell'area segnalano anche la possibilità che si destabilizzino porzioni estese del versante, con volumetrie significative.

Che si destabilizzi il fianco sinistro, il fianco destro o la zona a monte della frana, le caratteristiche morfologiche del pendio, in particolare la sua elevata pendenza, determinano inevitabilmente il coinvolgimento dell'asta del T. Trobiolo, collocato direttamente al piede dell'area in frana. L'accumulo sul fondovalle del materiale di frana comporterebbe potenzialmente l'edificazione di uno sbarramento di frana, con conseguente ristagno delle acque del torrente e sviluppo di un lago di sbarramento. Oltre al significativo incremento del sedimento disponibile al trasporto verso il lago, questa eventualità determinerebbe una variazione dei regimi di circolazione delle acque. Nel caso del reticolo idrico superficiale, si tratterrebbe potenziali fenomeni di attivazione di nuovi alvei o ri-attivazione di paleoalvei sulla conoide (ove insiste l'abitato di Pisogne). In scenari particolarmente rischiosi, questo potrebbe accadere in modo estemporaneo, conseguentemente a processi di rottura dello sbarramento di frana. Nel caso dei sistemi di circolazione delle acque sotterranee, la presenza di uno sbarramento del T. Trobiolo comporterebbe un necessario incremento dell'infiltrazione. Considerando il substrato di natura evaporitica, in cui sono attestati fenomeni di carsismo, questo determinerebbe significative problematiche sia idrauliche che strutturali per le opere in sotterraneo presenti al di sotto dell'area in esame (gallerie della SP 510), ma anche delle strutture presenti in superficie, con estensione di processi di cedimento già presenti in forma tutto sommato contenuta nell'area apicale della conoide.

Per quanto riguarda i depositi di frana su cui insiste il rilevato oggetto d'intervento si riportano i seguenti parametri dedotti da letteratura:

- Angolo di resistenza al taglio: 33 – 37°;
- Peso unità di volume: 19 – 21 kN/m$^3$;
- Coesione: 0 kPa.

# CONCLUSIONI

Sulla base del quadro di dissesto descritto, l'intervento di recupero e ripristino della funzionalità del rilevato e del vallo esistenti appare del tutto coerente con il quadro vincolistico esistente. L'opera ha prodotto una tangibile mitigazione del rischio legato alla propagazione verso valle, e in particolare verso il T. Trobiolo, dei processi superficiali e locali di distacco di porzioni dell'ammasso roccioso affiorante nella zona di nicchia della Frana del Gasso. Questo è testimoniato dal riempimento pressoché completo del vallo a tergo del rilevato. Lo svuotamento del vallo, l'estensione e rialzo del rilevato rappresentano un ripristino delle funzioni di mitigazione delle opere e un loro miglioramento. Il quadro di dissesto descritto per l'area in esame, indica come la presenza di acqua sul versante sia un carattere di significativa importanza, sia in funzione della dinamica globale del versante che per lo sviluppo e progressione di fenomeni di carattere superficiali sia a spese del substrato roccioso carbonatico ed evaporitico, sia a spese dei depositi superficiali e di frana presenti sul pendio. Questi processi superficiali, nello specifico, hanno edificato un conoide di deiezione che interessa la porzione di sinistra del vallo, contribuendone al riempimento. In questo senso, l'estensione in sinistra del vallo contribuisce alla gestione del trasporto solido verso valle prodotto da questi processi. La realizzazione della pista di accesso ai luoghi, oltre ovviamente a soddisfare necessità logistiche relative alla cantieristica di questo specifico progetto, contribuisce a migliorare la gestione e la manutenzione delle opere esistenti, facilitando l'accesso e di conseguenza la possibilità di svuotare nel tempo con maggior regolarità il vallo paramassi. Anche questo aspetto rappresenta un fattore di miglioramento della gestione del rischio, in quanto corrisponde al mantenimento in efficacia del vallo. La circolazione idrica in superficie, alimentata dalle precipitazioni che cadono direttamente sulla superficie di frana ma anche dalla circolazione sotterranea, tende poi a ristagnare a tergo del rilevato, in quanto la presenza di questo ne impedisce il deflusso verso valle. Il progetto originale del rilevato, risalente ai primi del 2000, ha previsto la realizzazione di canalette per la gestione del deflusso idrico sulla superficie a valle del rilevato, tutt'ora esistenti, che non sono però evidentemente sufficienti a drenare il ristagno visibile in superficie. Infine, si segnala che il deflusso tende naturalmente a proseguire verso sinistra rispetto al rilevato, incidendo le rocce evaporitiche presenti nell'area di cava dismessa. Il presente progetto prevede la captazione sub-superficiale tramite gabbioni drenanti del ristagno e del deflusso a monte del rilevato, permettendo di gestire la problematica descritta in modo adeguato.

Tenendo conto del contesto di frana attiva (Area RME del PAI), nonché dell'esistenza di un sistema di monitoraggio esistente nell'area, si suggerisce di prevedere durante l'esecuzione dei lavori a integrare un sistema di allerta temporaneo al fine di garantire la sicurezza del personale operativo sull'area di frana. Si consiglia e di attivare delle proposte di intervento per la sistemazione del fianco destro e sinistro dell'area in frana che il Comune di Pisogne può candidare a finanziamento, riprendendo precedenti suggerimenti di intervento, con lo scopo di contenere il fenomeno di creep degli ammassi gessosi che, nel tempo, può evolvere e peggiorare.

*Darfo Boario Terme, aprile 2026*

*Dott. Geol. Battista Taboni* *Geol. Luca M. Albertelli*