Società di Geotecnica e Geomeccanica
di Restagno e Trimboli S.n.c. -
Servizi di Geoingegneria
Piazza Santa Cecilia 4/1
I-17100 SAVONA

tel.: (+39) 019504788 - FAX (+39) 0198890650
email: admin@sggconsult.it web: www.sggconsult.it
pec: sggsnc@legalmail.it
C.F: P.IVA (VAT-IT) 01061930093
R.E.A. n°. 110285- Reg. Imp. CCIA SV n.° 01061930093

REGIONE LIGURIA

CITTA' METROPOLITANA
DI GENOVA

COMUNE DI CERANESI

Città Metropolitana di Genova

Intervento di sistemazione di versante
in località San Pietro - Cian de Mia

Progetto definitivo

Relazione geologica

Firmato digitalmente da:
TRIMBOLI MARINO
Firmato il 05/07/2022 15:43
Seriale Certificato: 1339643
Valido dal 11/04/2022 al 11/04/2025
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

rif: 02/20/RGEO/00	Nome file: Ceranesi_SPietro_GEO_00	Redatto: Geol. Sergio Restagno
DATA: Marzo 2022		Verificato: Ing. Geol. Marino Trimboli

INDICE

1. PREMESSA 1

2. LINEAMENTI GEOLOGICI 2

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO 3

4. PERICOLOSITA' SISMICA 6

5. DESCRIZIONE DEI SONDAGGI 8

6. IDROGEOLOGIA E PIEZOMETRIA 12

7. MODELLO GEOLOGICO 18

8. CONCLUSIONI 20

9. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 21

Allegati fuori testo
G.01: Cartografia di analisi del dissesto – Modello geologico e geotecnico
Report dei sondaggi effettuati dalla società M3d

1. PREMESSA

Il Comune di Ceranesi, con determinazione del Responsabile dell'Area Tecnica-Urbanistica, ha conferito incarico alla scrivente Società di Professionisti per l'esecuzione di uno studio geologico e geotecnico, nonché della relazione di un progetto definitivo-esecutivo, finalizzato alla sistemazione dell'area per la riduzione del rischio di frana nella zona di San Pietro-Cian de Mia.

In fase di progettazione preliminare, sono stati realizzati alcuni sondaggi a carotaggio continuo per la costruzione di un modello geologico funzionale alla definizione delle caratteristiche geometriche e cinematiche del movimento franoso, nonché delle condizioni idrogeologiche che controllano il fenomeno.

Le indagini hanno compreso, tra l'altro, il prelievo di campioni per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio, il monitoraggio del versante mediante misurazioni inclinometriche periodiche e il monitoraggio dei livelli di falda nel sottosuolo.

Sono stati inoltre eseguiti rilievi delle condizioni geomorfologiche e idrogeologiche del versante in aggiunta alle prescritte analisi di pericolosità geologica della zona in esame. In fase di progettazione definitiva sono stati successivamente seguiti ulteriori sondaggi a carotaggio continuo, inclusivi di prove in foro e attrezzati a piezometro. Le misure piezometriche e inclinometriche sono state infine correlate con le precipitazioni registrate alla stazione ARPAL di Pontedecimo.

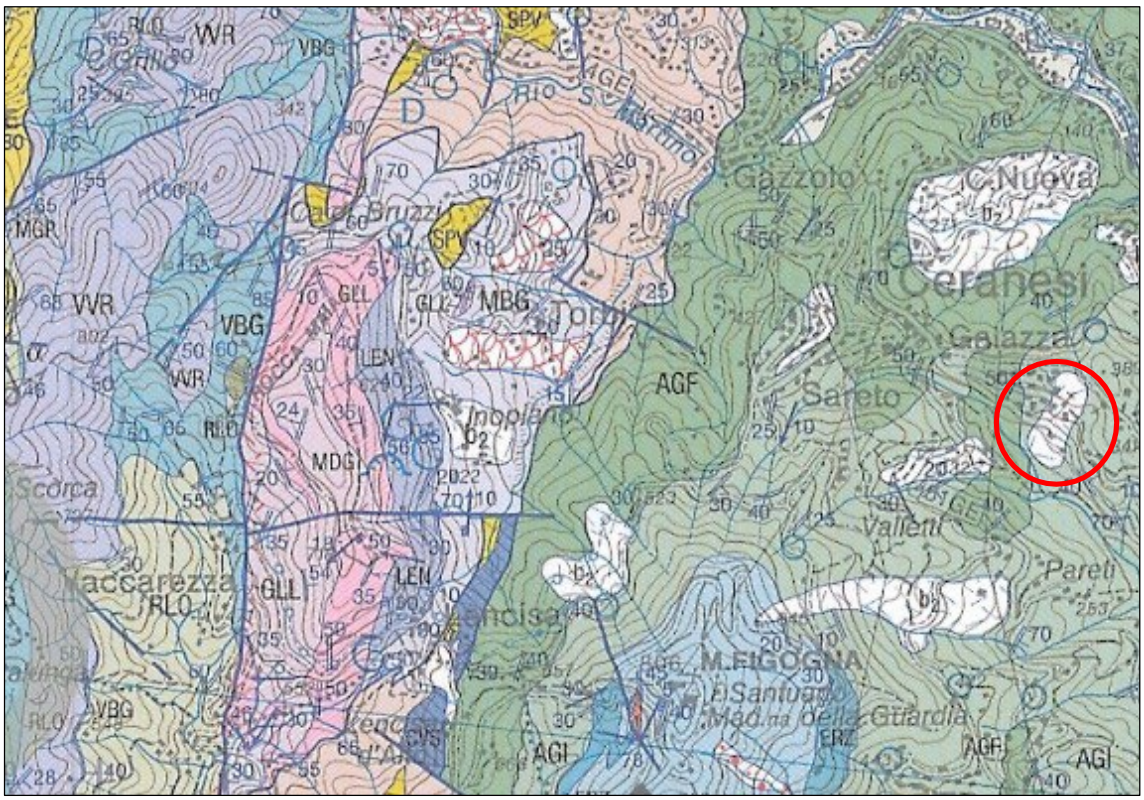


Figura 1: panoramica e ubicazione della zona in esame (Google Earth)

2. LINEAMENTI GEOLOGICI

La zona in studio ricade alla quota di 365 m s.l.m. lungo il versante destro del medio bacino del Torrente Polcevera e, in particolare, sul lato meridionale della dorsale che si diparte dalla sella di Gaiazza in direzione ESE, verso la sponda del Polcevera, che divide i sottobacini del Rio San Martino a nord da quello meridionale del Rio San Biagio. La dorsale in questione presenta uno sviluppo articolato, con un susseguirsi ravvicinato di impluvi e contrafforti con diffuse zone di accumulo pedemontano e di versante costituite da materiale detritico e da depositi di frana. La morfologia è tipica delle aree con basamento roccioso ad elevata componente argillosa.

In questo settore del bacino la cartografia geologica regionale CARG in scala 1:50.000 (Foglio 213-230 *Genova*) riporta un basamento roccioso inciso nei terreni dell'*Unità di M. Figogna* caratterizzata da rocce sedimentarie calcaree, metasiliciche ed argillitiche, di età compresa fra il Giurassico ed il Cretaceo. In particolare, si tratta di una sequenza stratigrafica rovesciata dove, alla base del versante, affiorano argilliti scistose cretaciche, appartenenti alle formazioni degli *Argilloscisti di Murta* (AGF) e degli *Argilloscisti di Costagiutta* (AGI), sormontate, in corrispondenza del rilievo di M. Figogna, dai *Metacalcari di Erzelli* (ERZ). Il passaggio fra i litotipi calcarei e quelli argillitici è caratterizzato da una significativa riduzione della pendenza. Un estratto di dettaglio (scala 1:25.000) della geologia della zona è riportato nella tavola fuori testo G01.



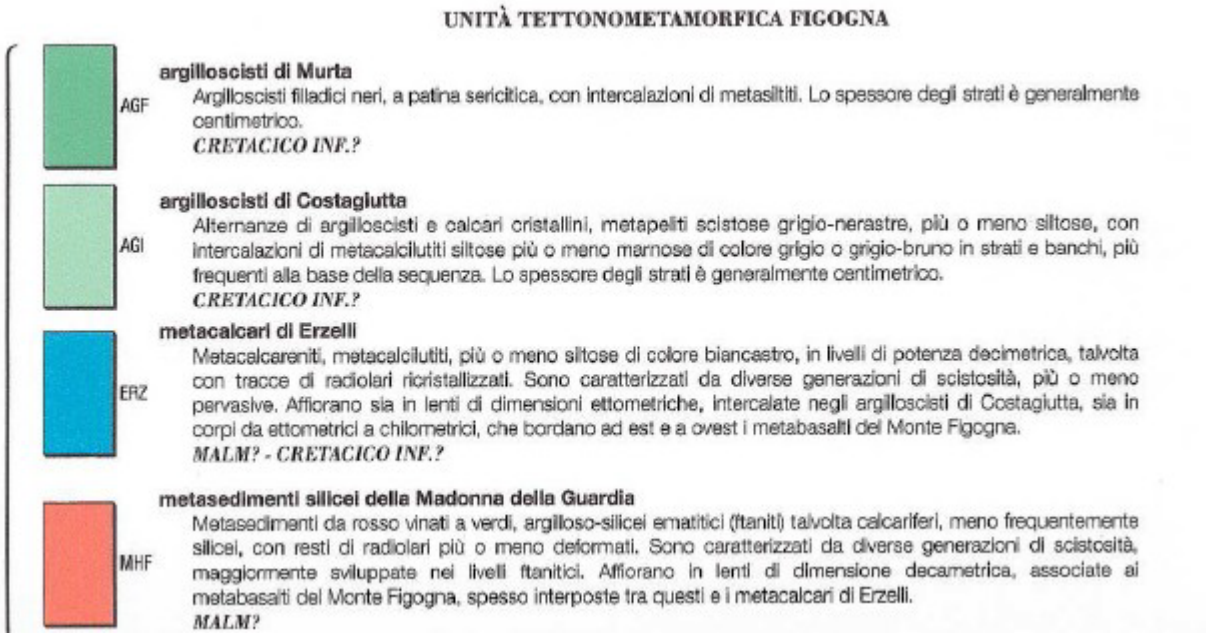


Figura 2: estratto e legenda CARG Foglio 213-230 Genova

La zona in esame è incisa nell'ambito degli *Argilloscisti di Costagiutta* e degli *Argilloscisti di Murta*, disposti con assetto strutturale fortemente inclinato e immergente a ESE, secondo un sistema di pieghe serrate ad asse orizzontale diretto a NNE.

Si osserva, inoltre, in coerenza con quanto descritto in precedenza, una vasta zona di accumulo detritico (b2) nel settore di San Pietro, corrispondente a una potente coltre eluvio colluviale. Tale accumulo si estende dalla frazione di San Pietro fino alla sponda sinistra del Rio San Biagio. Nell'adiacente impluvio, ove si è manifestato il dissesto della sede stradale, è segnalata una preesistente frana attiva (Piano di bacino del T. Polcevera).

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Come già descritto nel paragrafo precedente, la zona di studio si trova a sud di una dorsale in roccia orientata ESE-WNW e appartiene al versante sinistro del sottobacino del Rio San Biagio. In particolare, il settore di versante interessato è caratterizzato da una depressione con morfologia articolata in un'alternanza di impluvi, rotture di pendio e dossi orientati in direzione NNE-SSW (vedi tavola G01). La pendenza media del versante è circa 16° (cfr. sezioni in tavola G01).

Le condizioni di suscettività al dissesto del comparto in esame sono state verificate sulla scorta delle previsioni del Piano di bacino del Torrente Polcevera di cui si riporta un estratto della carta di pericolosità geologica nella Figura n. 2. Si osserva che la zona lungo la quale si è verificato il dissesto ricade nella classe di pericolosità pg3b.

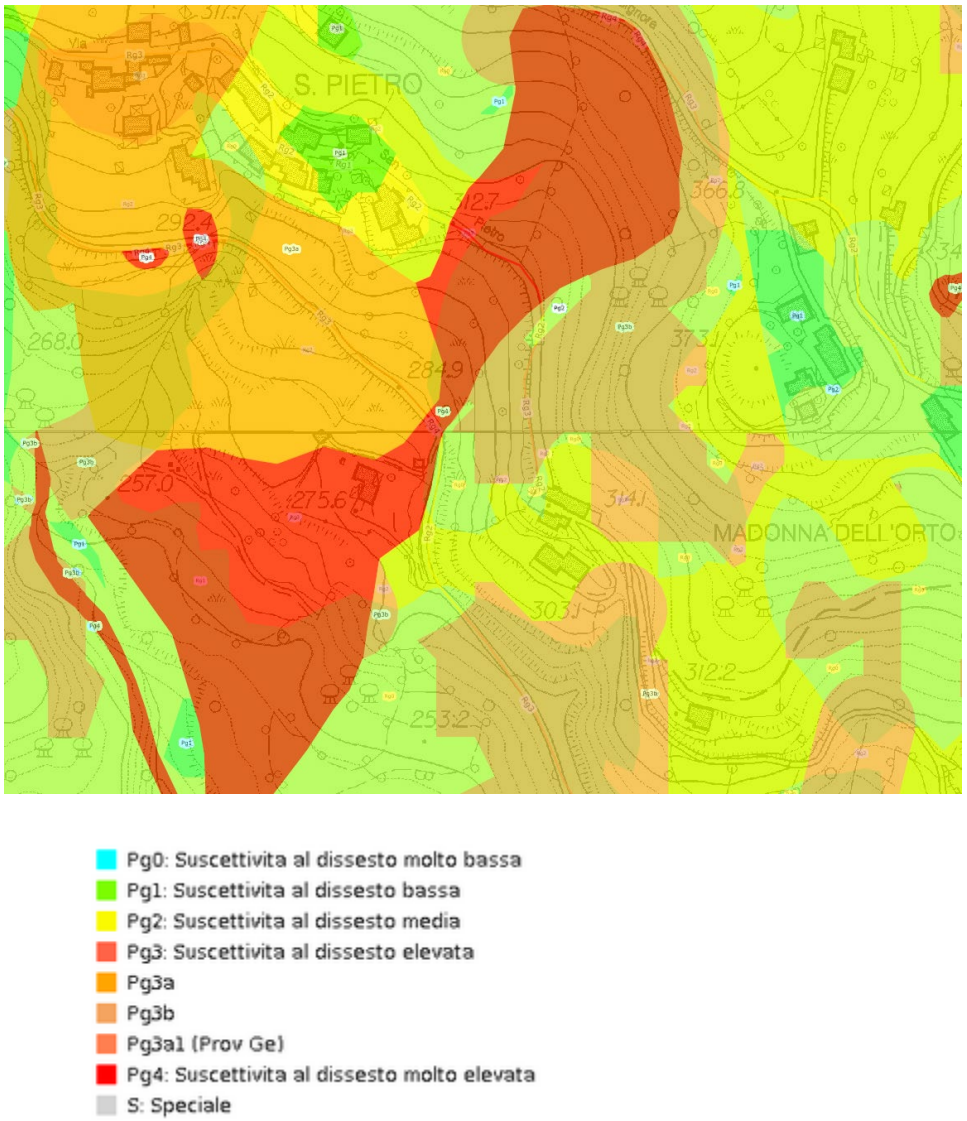


Figura 3: carta della pericolosità geologica del Piano di bacino del T. Polcevera

La classe individuata corrisponde ad un grado di pericolosità per frana elevato come confermato dalla diffusa presenza di zone instabili.

La carta geomorfologica del Piano di Bacino del Torrente Polcevera (figura 3) riporta, nella zona di studio, la presenza di tre aree in frana sviluppate in tre fasce sub-parallele lungo il versante:

- area in frana attiva, collocata nella fascia orientale, che coinvolge in parte le coperture detritiche ed in parte il substrato. Il movimento franoso è classificato come “frana di colamento (*debris flow*)“;
- area in frana attiva, collocata nella fascia sud-occidentale, che coinvolge in parte le coperture detritiche ed in parte il substrato. Il movimento franoso è classificato come “frana complessa”;
- area in frana quiescente, collocata nella fascia centrale, che coinvolge le sole coperture detritiche. Il movimento franoso è classificato come “frana complessa”. All'interno di quest'area è segnalata la presenza di due piccole frane attive.

- area in frana quiescente, collocata nella fascia occidentale, che coinvolge il substrato ed in piccola parte le coperture detritiche. Il movimento franoso è classificato come “frana per scorrimento o scivolamento”.

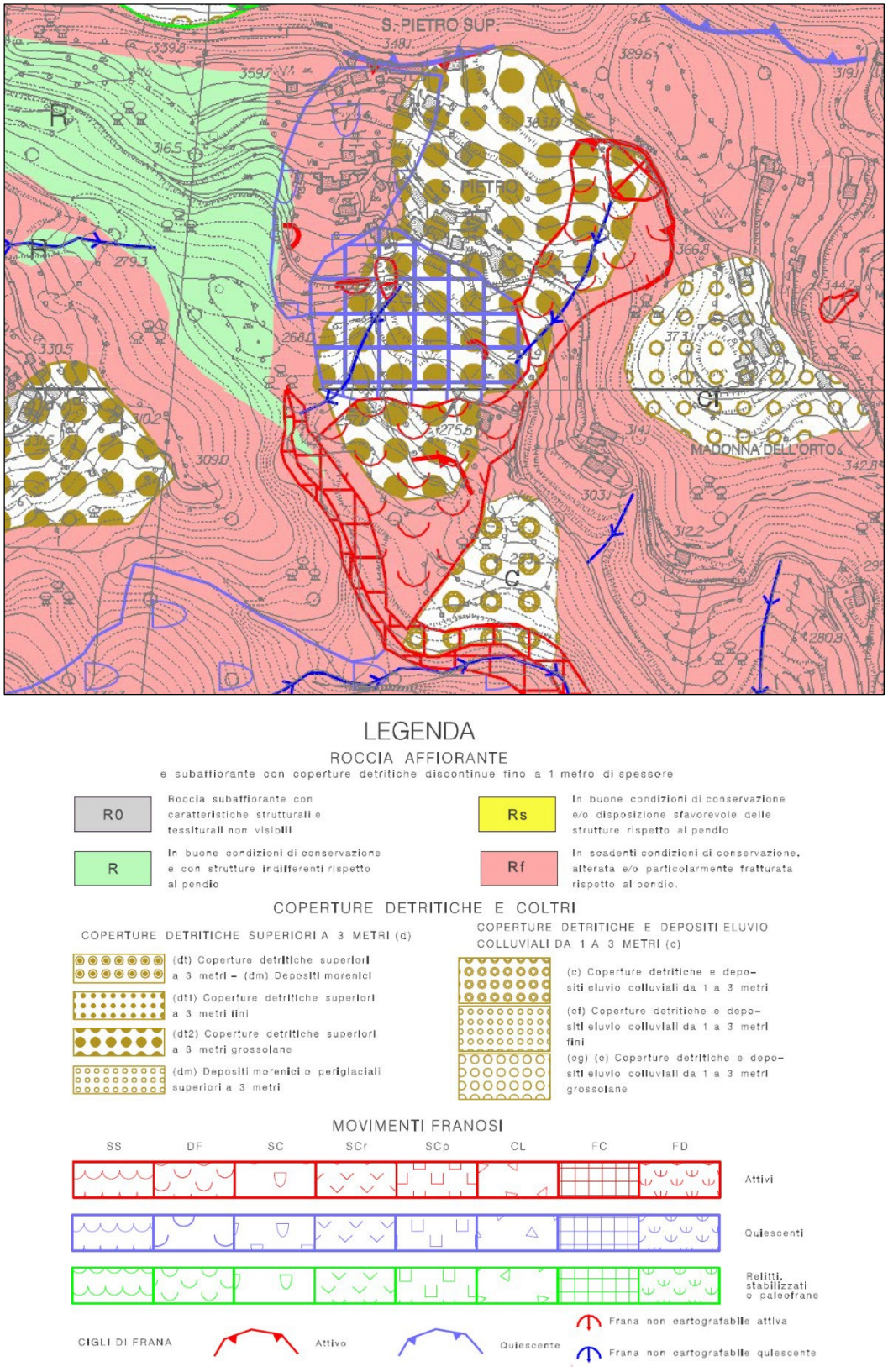


Figura 4: estratto e legenda del PdB del Torrente Polcevera – Carta Geomorfologica fogli 213-070 e 110.

La suddetta carta riporta, inoltre, la presenza di cigli al coronamento delle aree in frana appena descritte e di due frane attive di piccole dimensioni (non cartografabili).

Durante i rilievi geologici-geomorfologici sono stati riconosciuti altri segnali di dissesto (cfr. tavola G01): rotture di pendio orientate trasversalmente alla direzione di massima pendenza del versante, piccole scarpate parallele al versante e lesioni stradali.

4. PERICOLOSITA' SISMICA

La pericolosità sismica a scala regionale è legata alla presenza di zone sismogenetiche nel ponente ligure, nel Mar Ligure e nelle Alpi occidentali (Figura 10) ed è associata ad un campo di accelerazioni di base (su substrato rigido) variabili da *0,05* a *0,10g* con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Figura 11), corrispondenti ad un tempo di ritorno di 475 anni (Eurocodice 8 - D.M. 17.01.2018). La magnitudo massima attesa risulta pari a *4,8*, ad una distanza di circa *16,6 km* dal sito di progetto.

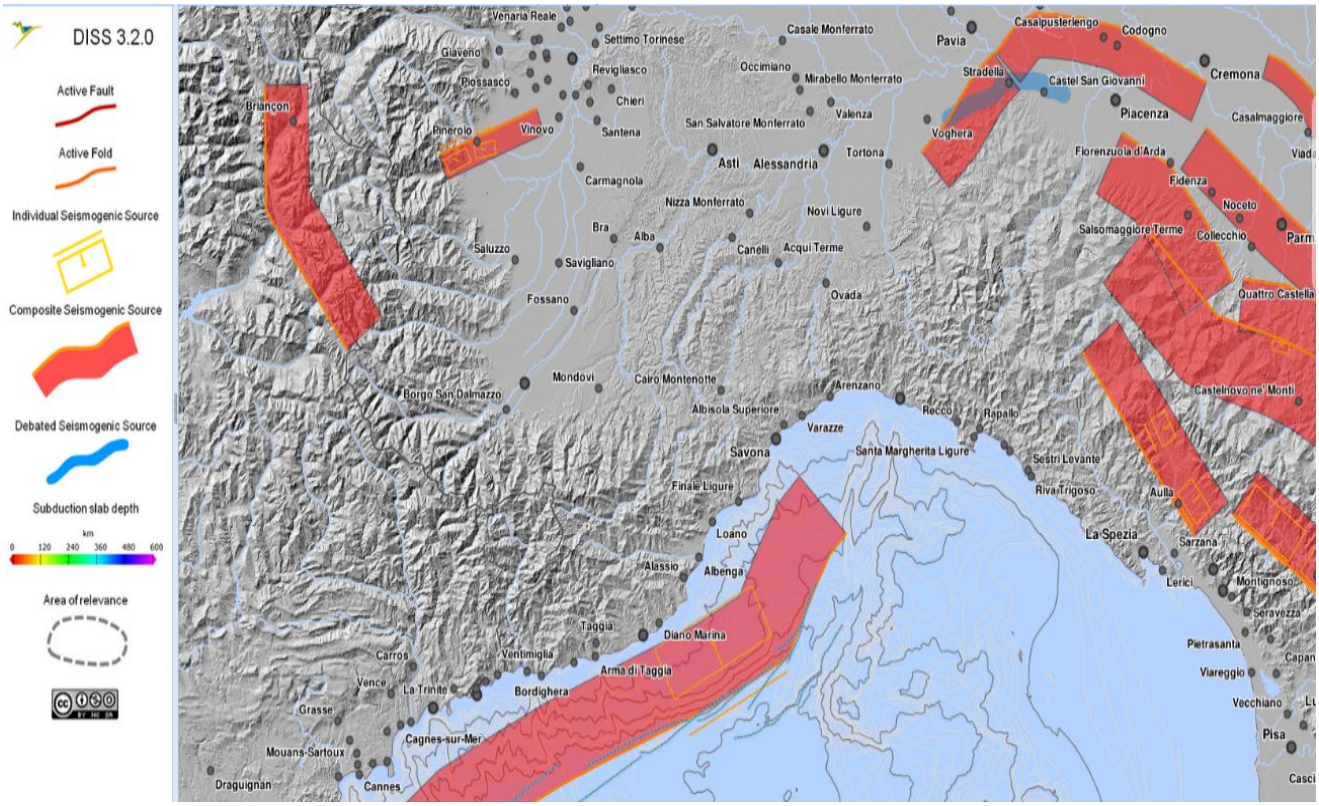


Figura 5: quadro di sintesi della pericolosità sismica della zona (fonte I.N.G.V.)

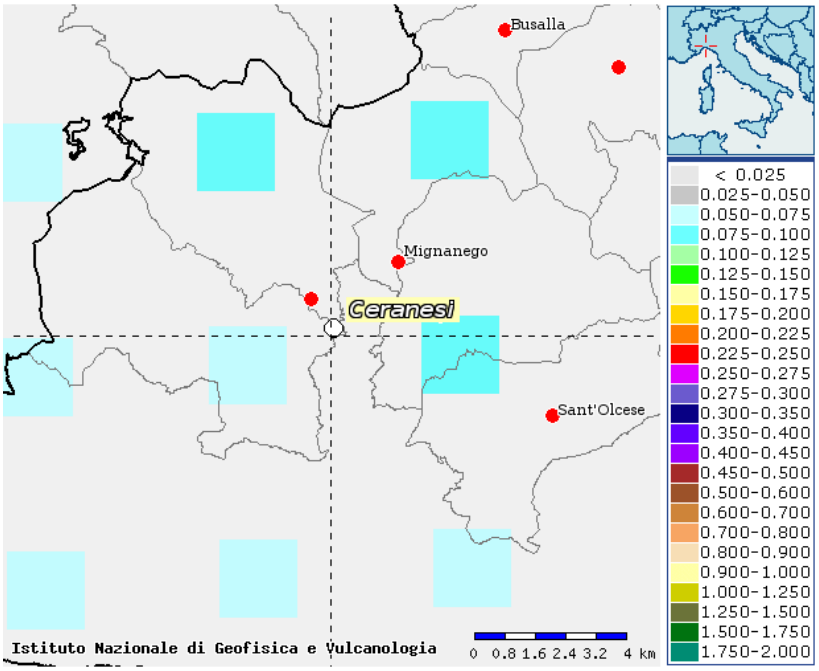


Figura 6: nodi del reticolo MPS04 della carta di pericolosità sismica (Fonte INGV)

I dati permettono di ricavare i seguenti parametri di progetto:

Sito in esame

latitudine: 44,4958

longitudine: 8,884

Classe: II

Vita nominale: 50

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]

ag: 0,078 g

Fo: 2,502

Tc*: 0,280 [s]

Coefficienti Sismici

SLV:

Ss: 1,000

Cc: 1,000

St: 1,200

Kh: 0,077

Amax: 0,916

Beta: 0,827

5. DESCRIZIONE DEI SONDAGGI

5.1 Indagini progettazione preliminare

Come introdotto in premessa, durante la fase di progettazione preliminare, sono stati considerati i quattro sondaggi a carotaggio continuo (S1-S4)la cui ubicazione è riportata nella tavola fuori testo G01,in aggiunta a n 2 sondaggi a distruzione di nucleo (PZ1-PZ2).

In Tabella 1 sono riportate posizioni e profondità raggiunte su ciascuna verticale d'indagine.

Sondaggio	Profondità (*m*)	Ubicazione	Quota p.c (*m* slm)	Attrezzatura
S1	28	Coordinate (UTM): 490537,6 – 4927333,8	284,9	inclinometro
S2	15	Coordinate (UTM): 490490 – 4927378,4	291,0	inclinometro
S3	20	Coordinate (UTM): 490515 – 4927268,5	275,5	inclinometro
S4	20	Coordinate (UTM): 490606,3 - 4927400	309,0	inclinometro
PZ1	9	Adiacente a S1	284,9	piezometro T.A:
PZ2	9	Adiacente a S4	309,0	piezometro T.A:

Tabella 1: dati relativi ai sondaggi

Risultanze stratigrafiche

Si riportano di seguito le informazioni stratigrafiche desunte dall'osservazione delle cassette catalogatrici e dall'analisi dei materiali di risulta dallo spurgo del foro.

Sondaggio 1 (cfr. ubicazione tavola G01)

La quota di inizio corrisponde al piano stradale sulla banchina di valle.

- Da piano campagna a 5 *m*: terreno di riporto con terreno vegetale in superficie;
- da 5 a 7,3 *m*: argilla marrone debolmente sabbiosa scarsamente consistente;
- da 7,3 a 14 *m*: argillite marrone molto alterata e degradata;
- da 14 a 28 *m*: argillite grigio-nerastra alterata e degradata, strutturata in livelli argillificati con frammenti litoidi alternati a livelli litoidi con vene di calcite più abbondanti verso il fondo foro; presenza di un livello più compatto tra i 18,4 e i 26 *m*.

Sondaggio 2 (cfr. ubicazione tavola G01)

La quota di inizio corrisponde al piano stradale sulla banchina di valle.

- Da piano campagna a 4,5 *m*: terreno di riporto con terreno vegetale in superficie;
- da 4,5 a 7 *m*: argilla marrone debolmente sabbiosa scarsamente consistente;
- da 7 a 15 *m*: argillite grigia alterata e degradata.

Sondaggio 3 (cfr. ubicazione tavola G01)

La quota di inizio corrisponde al piano campagna appena a valle dell'edificio Cian de Mia.

- Da piano campagna a 4,8 *m*: terreno di riporto con terreno vegetale in superficie;
- da 4,8 a 7 *m*: argilla marrone debolmente sabbiosa scarsamente consistente;
- da 7 a 11,5 *m*: argillite marrone molto alterata e degradata;
- da 11,5 a 20 *m*: argillite grigio-nerastra alterata e degradata strutturata in livelli argillificati con frammenti litoidi, alternati a livelli litoidi con vene di calcite più abbondanti verso il fondo foro.

Sondaggio 4 (cfr. ubicazione tavola G01)

La quota di inizio corrisponde al piano stradale sulla banchina di monte.

- Da piano campagna a 4 *m*: terreno di riporto con terreno vegetale in superficie;
- da 4 a 6 *m*: argilla marrone debolmente sabbiosa scarsamente consistente;
- da 6 a 15 *m*: argillite grigio-marrone molto alterata e degradata, strutturata in livelli argillificati alternati a livelli litoidi molto frammentati (ridotti in breccia);
- da 15 a 20 *m*: argillite grigio-nerastra ben litificata, molto frammentata, a tratti ridotta in breccia, con vene di calcite più abbondanti verso il fondo foro.

I dati ottenuti hanno permesso di predisporre un modello geologico del versante in esame attraverso 2 sezioni trasversali (vedi paragrafo 6). Le sezioni sono riportate nella tavola fuori testo G01.

Prelievo campioni

Durante le operazioni di sondaggio, erano stati prelevati alcuni campioni indisturbati di terre mediante campionatore a pareti sottili *Shelby*, per le successive analisi di laboratorio (tabella 2). Le risultanze delle prove di laboratorio sono descritte nel paragrafo 7.

Sondaggio	Campione	Profondità (*m* da p.c.)
S1	CI1	13,0 - 13,5
S2	CI1	7,5 – 8,0
S3	CI1	9,0 - 9,5
S4	CI1	4,0 - 4,5

Tabella 2: Prelievo campioni

5.2 Indagini progettazione definitiva

Allo scopo di ottenere ulteriori informazioni stratigrafiche nonché dati aggiuntivi per una migliore parametrizzazione geotecnica dei terreni, sono stati effettuati, nel mese di aprile 2021, tre nuovi sondaggi a carotaggio continuo, la cui ubicazione è rilevabile nella tavola fuori testo D03.

Nel corso dei sondaggi sono state realizzazione prove di permeabilità *Lefranc* e, vista la difficoltà nell'attribuire parametri geotecnici allo strato di alterazione del substrato roccioso, prove pressiometriche tipo *Menard*.

Sondaggio 1/21 (cfr. ubicazione tavola D03)

La quota di inizio si trova a valle della sede stradale poco a monte (NO) di un casotto esistente.

- Da piano campagna a 10,7 *m*: terreno prevalentemente grossolano con clasti di argilloscisti;
- da 10,7 a 17,3 *m*: argillite grigia destrutturata e argillificata;
- da 17,3 a 20 *m*: argillite grigia, da fratturata a molto fratturata con vene di calcite. Fra 17,30-17,70 m il substrato presenta un RQD=0, fra 17,70-18,30 un RQD=45, fra 18,30-19,40 m un

RQD=12, fra 19,40-20,0 m un RQD=58.

Sondaggio 2/21 (cfr. ubicazione tavola D03)

La quota di inizio si trova a valle della sede stradale in adiacenza (SO) ad un deposito agricolo esistente.

- Da piano campagna a 11,0 *m*: terreno prevalentemente grossolano con clasti di argilloscisti; con terreno vegetale in superficie;
- da 11,0 a 15,80 *m*: argillite grigia destrutturata e argillificata;
- da 15,8 a 20,0 *m*: argillite grigia, da fratturata a molto fratturata con vene di calcite. Fra 14,80-16,30 *m* il substrato presenta un RQD=14, fra 16,30-16,80 un RQD=0, fra 16,80-18,00 *m* un RQD=17, fra 18,00-19,0 *m* un RQD=28, fra 19,00-20,00 *m* un RQD=36.

Sondaggio 3/21 (cfr. ubicazione tavola D03)

La quota di inizio si trova sul margine SO della zona d'intervento, in corrispondenza di un evento franoso che recentemente ha interessato la strada comunale.

- Da piano campagna a 8,70 *m*: terreno prevalentemente grossolano con clasti di argilloscisti; con asfalto e sottofondo stradale in superficie;
- da 8,70 a 13,00 *m*: argillite grigia molto fratturata con fratture ravvicinate e materiale di riempimento limoso sabbioso;
- da 13,00 a 15,0 *m*: argillite grigia destrutturata e argillificata.

Prove di permeabilità in foro

Allo scopo di verificare la permeabilità dei terreni in gioco sono state effettuate alcune prove di permeabilità durante l'esecuzione dei sondaggi. In particolare, sono state effettuate prove di tipo *Lefranc* a carico variabile, in cui si misura la velocità di riequilibrio del livello dell'acqua nel foro, dopo averlo alterato mediante immissione. Dall'istante in cui si sospende l'immissione di acqua, una volta che il livello ha raggiunto la testa della tubazione di rivestimento, a intervalli di tempo variabili in funzione della velocità di discesa dell'acqua stessa nel foro, si rilevano il livello e il tempo di ciascun abbassamento. Il calcolo della permeabilità è stato ottenuto, secondo quanto consigliato dall'Associazione Geotecnica Italiana (Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche, AGI 1977) secondo la formula

$$k = A / C_L (t_2-t_1) \ln (h_1/h_2) \ [m/s]$$

dove

k: coefficiente di permeabilità

A: area di base del foro di sondaggio

h_1 e h_2: altezza livelli d'acqua nel foro agli istanti t_1 e t_2

C_L: coefficiente di forma.

In relazione a quanto sopra indicato, sono stati calcolati i coefficienti di permeabilità come può essere verificato nella seguente tabella 3.

Sondaggio/prova	Tipo prova	Tratto prova (*m*)	K (*m/s*)
S1/21 p1	*Lefranc* carico variabile	3,00-4,00	2,36836E-06
S1/P2 p2	"	6,00-7,00	3,79534E-06
S1/21 p3	"	12,00-13,00	9,47345E-07
S2/21 p1	"	1,60-2,60	5,46545E-07
S2/21 p2	"	4,60-5,60	3,55254E-06
S2/21 p3	"	10,00-11,00	7,10509E-06

Tabella 3: coefficienti di permeabilità da prove Lefranc

Prove pressiometriche tipo Menard

La prova consiste nel dilatare nel terreno una sonda di forma cilindrica e nel rilevare la curva pressione-volume corrispondente. In particolare, la prova permette la determinazione diretta dei principali parametri di deformabilità del terreno. Le risultanze delle specifiche prove effettuate sono riportate nella relazione sulle indagini a cura della società M3D, allegate alla presente relazione.

I dati sono riassunti nella relazione geotecnica del progetto.

6. IDROGEOLOGIA E PIEZOMETRIA

Come già introdotto l'area di studio appartiene al bacino idrogeologico del Rio San Biagio. La circolazione idrica superficiale si concentra in due impluvi principali e in alcuni impluvi e canalizzazioni secondarie. L'impluvio più inciso si trova nella zona occidentale (cfr. tavola G01) (Figura 7 e 8), è scavato in parte in roccia, raccoglie le acque provenienti dal versante e dalle canalizzazioni dell'abitato di San Pietro e sfocia nel Rio San Biagio. Appena a ovest di detto impluvio si segnala la presenza di un canale artificiale lungo il confine di una proprietà agricola.



Figura 7: impluvio principale a valle della strada



Figura 8: impluvio principale a monte della strada

Il secondo dei due impluvi principali raccoglie le acque provenienti dal settore di versante a sud-est dell'abitato di San Pietro. L'incisione è evidente appena a sud del sondaggio S4, dove il fondo è in parte cementato, prosegue verso il sondaggio S1 dove le acque vengono raccolte in una vascaed incanalate sotto strada, per poi essere deviate in un canale che borda la recinzione occidentale dell'edificio di Cian de Mia. A sud-ovest dell'edificio, poco prima di immettersi nel Rio San Biagio, il fondo dell'impluvio è in parte cementato ed è attraversato da una briglia in pietrame.

La circolazione idrica sotterranea è molto diffusa nella coltre detritica, come evidenziato dalle risultanze dei sondaggi e dai dati piezometrici raccolti. Si rileva, tra l'altro, la presenza di due sorgenti (cfr. tavola G01). La prima si trova nell'abitato di San Pietro, è captata da una vecchia vasca/lavatoio (Figura 9) e la sua portata, stimata al momento del rilievo, è di circa 2 litri al minuto. La seconda si trova a monte del sondaggio S1, in corrispondenza di un piccolo dissesto (Figura 10 e 11) e origina uno scorrimento superficiale che si articola in pozze e rivoli convogliati in un canale di scolo a bordo strada che si immette nel secondo dei due impluvi principali descritti sopra.

I due piezometri PZ1 e PZ2 installati in corrispondenza dei due sondaggi a distruzione, adiacenti rispettivamente i sondaggi S1 e S4, hanno evidenziato la presenza di una falda nella coltre detritica.

I primi dati, raccolti il 14/02/2017, rilevavano una soggiacenza di 3,32 m per il PZ1 e di 1,73 m per il PZ2.



Figura 9: sorgente nell'abitato di San Pietro, con vasca di raccolta acque.



Figura 11: dissesto a monte del sondaggio S1



Figura 10: scorrimento idrico superficiale appena a valle della sorgente (ingrandimento della figura 10)

Nello stesso periodo, il livello piezometrico affiorava in corrispondenza della sorgente che si trova tra i due piezometri di cui sopra, dove è presente una piccola scarpata nella coltre detritica (Figura 10), per poi risalire in vicinanza del sondaggio 3 (misura effettuata nel pozzo dell'abitazione Cian de Mia).

Successivamente e fino al maggio 2019 tali piezometri sono stati monitorati mediante sensori elettrici che hanno permesso l'acquisizione dei dati di soggiacenza in remoto. Come accennato, due dei sondaggi realizzati nel 2021 sono stati anch'essi attrezzati con tubi piezometrici e le misure effettuate hanno mostrato la presenza di una falda superficiale nel sondaggio S1/21, mentre nel sondaggio S2/21 la falda sembra adeguarsi alla morfologia mostrando un rapido abbassamento verso valle, come dalla seguente tabella n. 4

Piezometri	**Soggiacenza** (m) 15/04/2021	**Soggiacenza** (m) 23/04/2021	**Soggiacenza** (m) 22/03/2022
S1/21	1,00	1,00	1,50
S2/21	8,20	8,27	8,55

Tabella 4: misure piezometriche

Le permeabilità dei litotipi presenti possono essere espresse qualitativamente come segue:

- livello superficiale rappresentato da terreno di riporto con terreno vegetale in superficie con permeabilità per porosità medio-bassa a seconda del contenuto in argilla-limo;
- livello intermedio rappresentato da argille sabbiose/sabbie limose e argilliti molto alterate e degradate con permeabilità per porosità molto bassa;
- livello basale rappresentato da argilliti da alterate a ben litificate, con permeabilità per fratturazione variabile da molto bassa a media nei livelli fratturati.

6.1 Modellazione della falda

Per studiare i flussi di falda, i dati raccolti durante le varie di fasi di monitoraggio sono stati elaborati con un modello numerico a elementi finiti mediante il software *Modflow 6* (*U.S. Geological Survey*).

Attraverso l'interfaccia grafico *ModelMuse* (*U.S. Geological Survey*) è stato infatti creato un modello dell'area di studio in una griglia 400x450, inserendo le coordinate e le quote dei punti rilevati.

Il primo *layer*, denominato *Model Top*, è dato dall'interpolazione triangolare delle quote di piano campagna, per rappresentare la superficie topografica del modello (Figura 12).

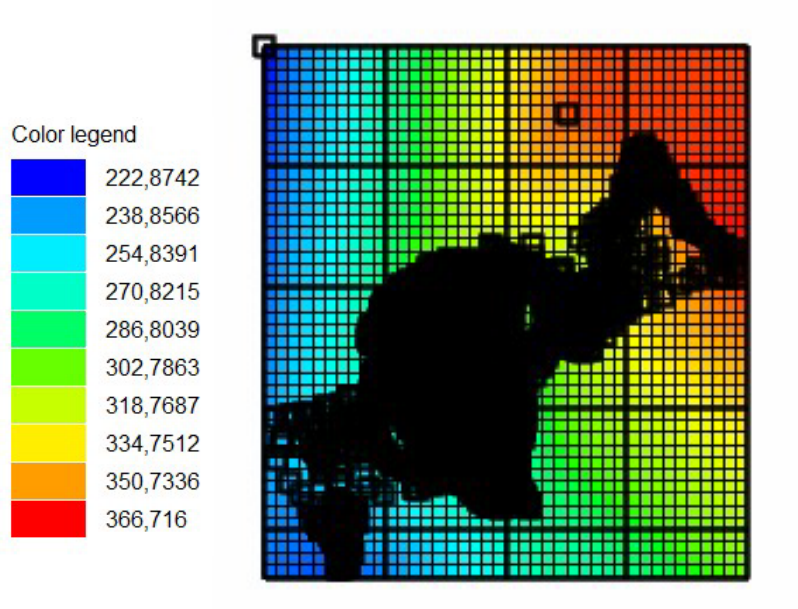


Figura 12: modello della superficie topografica (quote slm da rilievo) elaborata con il software MODEL MUSE (USGS)

Successivamente, per caratterizzare il modello, sono state inserite le coordinate dei piezometri e creati diversi *layer* corrispondenti all'andamento stratigrafico dell'area, come riportato in figura 13. Assimilando un comportamento isotropo per i due *layer*, sono stati assegnati i valori di permeabilità *Kx* [*m/s*] ottenuti dalle prove in sito *Lefranc* effettuate durante la seconda campagna di indagini: 2,37 E-6 *m/s* per la copertura detritica e 9,5 E-7 *m/s* per la roccia alterata.

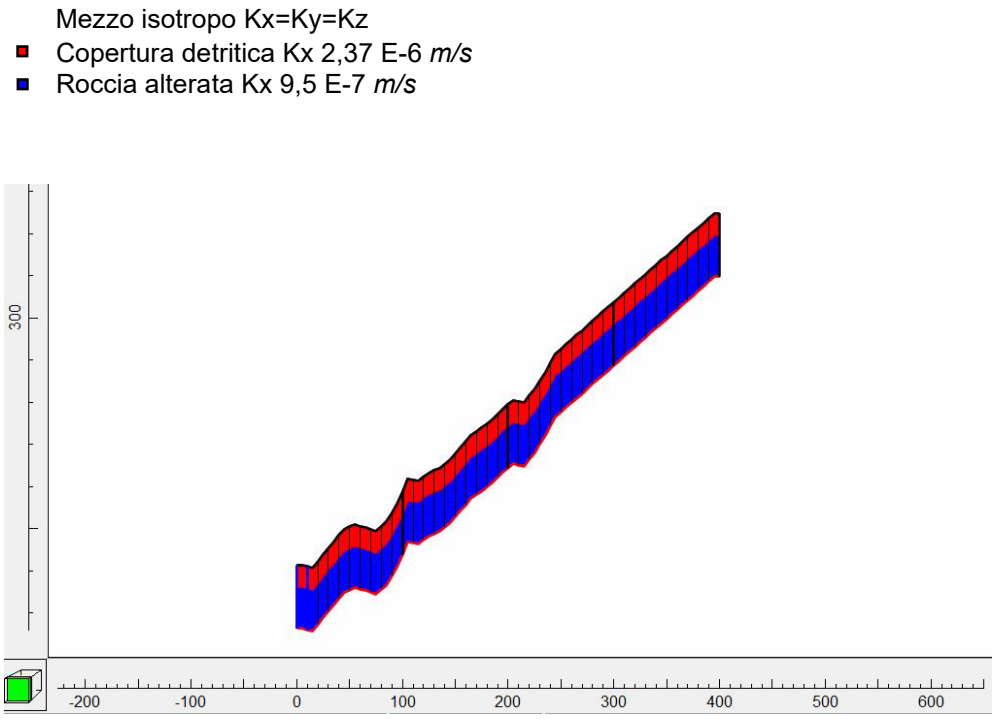


Figura 13: sezione geologica del lato Est del modello MODEL MUSE (USGS)

Per ricreare le condizioni iniziali nel modello in esame, sono stati inseriti i parametri idraulici noti:

- carico idraulico a monte, pari a 365 *m* s.l.m (da rilievo topografico);

- carico idraulico per ciascun piezometro (letture del 23/04/2021).;

- carico idraulico del Rio San Biagio pari a 235 *m* s.l.m. (da rilievo topografico).

L'*output* restituito da *Modflow*, visibile nella successiva figura, ha definito la portata istantanea per metro lineare pari a 0,745 *l/s m*

```
 VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP    1, STRESS PERIOD   1
 ------------------------------------------------------------------------------

     CUMULATIVE VOLUMES      L**3       RATES FOR THIS TIME STEP      L**3/T
     ------------------                 ------------------------

           IN:                                  IN:
           ---                                  ---
             STORAGE =          0.0000            STORAGE =          0.0000
      CONSTANT HEAD =       7.4473E-04     CONSTANT HEAD =       7.4473E-04

            TOTAL IN =       7.4473E-04           TOTAL IN =       7.4473E-04

          OUT:                                 OUT:
          ----                                 ----
             STORAGE =          0.0000            STORAGE =          0.0000
      CONSTANT HEAD =       7.4473E-04     CONSTANT HEAD =       7.4473E-04

           TOTAL OUT =       7.4473E-04           TOTAL OUT =       7.4473E-04

            IN - OUT =       2.9104E-10           IN - OUT =       2.9104E-10

 PERCENT DISCREPANCY =            0.00  PERCENT DISCREPANCY =            0.00
```

Figura 14: bilancio idraulico riferito alle letture di aprile 2021 MODFLOW 6 (USGS)

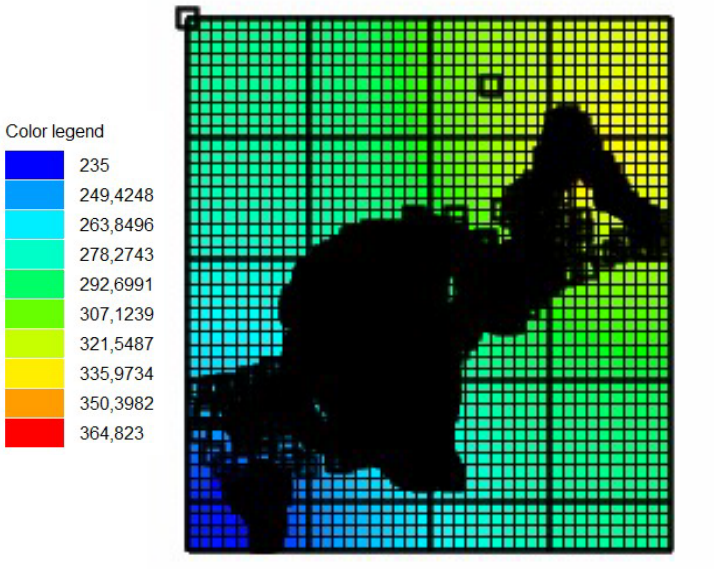


Figura 15: quote di falda (m slm) elaborazione da MODEL MUSE (USGS)

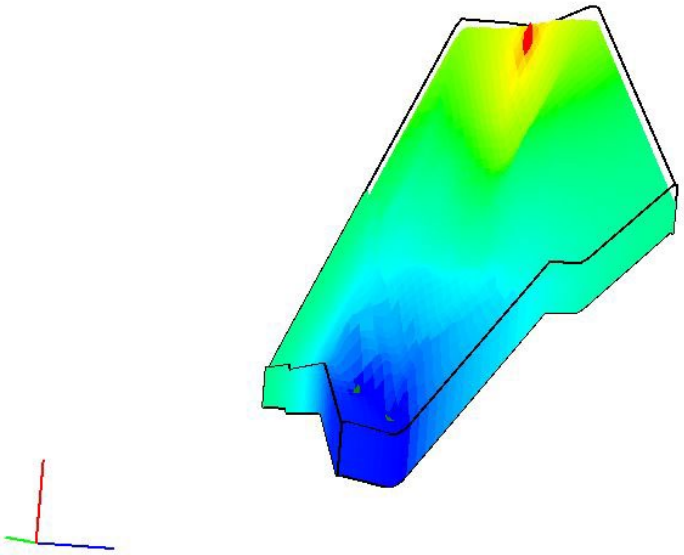


Figura 16: modello 3D del flusso in falda visto da Sud MODEL MUSE (USGS)

Si può apprezzare dalla figura 16 che a valle del pianoro di Cian de Mia si determina un gradiente piezometrico responsabile della depressione del livello di falda; tale situazione è legata alle misure effettuate nel piezometro S2/21. Per quanto attiene invece la situazione a monte le letture eseguite confermano il quadro emerso in fase di progettazione preliminare con livelli prossimi al piano campagna. Pertanto il miglioramento del fattore di sicurezza del pendio sarà legato al mantenimento dei livelli di falda al disotto delle soglie critiche determinate nelle analisi di stabilità effettuate alla fine della campagna di monitoraggio idrogeologico e geotecnico.

7. MODELLO GEOLOGICO

Le due sezioni trasversali riportate nella tavola G01 mostrano il modello geologico ottenuto dai dati di superficie integrati con le stratigrafie dei sondaggi effettuati nelle due campagne.

Il livello più superficiale è rappresentato da terreno di riporto con terreno vegetale in superficie costituito da sabbia argilloso-limosa con spessore variabile tra i 0 - 5 *m* in funzione dell'acclività del versante.

Il livello intermedio è rappresentato da coltre detritica e argille marroni derivanti dall'alterazione del substrato argillitico. Poiché non è possibile individuare il limite tra la coltre e l'alterazione del substrato, oltre al fatto che le caratteristiche geotecniche dei due litotipi sono paragonabili, si è scelto di rappresentarle in un unico livello.

Nel settore centrale del versante, dove la pendenza è minore, lo spessore di tale livello varia da un massimo di 12 *m* nella zona occidentale dell'area di interesse (sezione A-A') a un minimo di 5 *m* nella zona orientale (sezione B-B'). Come quello superficiale, questo livello si rastrema a monte e a valle dove la pendenza del versante aumenta.



Figura 17: argilliti del substrato

Lo strato di base è costituito dalle argilliti del substrato (*Argilloscisti di Murta* e *Argilloscisti di Costagiutta*). Si tratta di argilliti grigio-nerastre stratificate e/o foliate in livelli di spessore da centimetrico a decimetrico (Figura 18), talvolta piegate e spesso fratturate, talora brecciate. Si rileva la presenza di vene di calcite più abbondanti in profondità. L'immersione generale delle foliazioni è verso SE con un'inclinazione compresa tra i 25° e i 65°, a traverpoggio rispetto al versante.

Il versante in esame è interessato da una serie di fenomeni franosi di cui alcuni quiescienti e altri attivi. In particolare, i due dissesti attivi più evidenti interessano la porzione a monte e quella a valle della strada comunale coinvolgendo in entrambi i casi uno spessore di terreno di coltre eluvio-colluviale e di alterazione del substrato pari a circa 10 *m*, pur risultando distinti e non assimilabili a un unico dissesto. La falda esistente gioca un ruolo fondamentale nell'attività dei due fenomeni, tanto che la ripresa del movimento avviene quando la falda risale fino a determinati livelli di soggiacenza, indicativamente assimilabili a circa 2,00 *m*.

8. CONCLUSIONI

In virtù delle indagini svolte, emergono le seguenti considerazioni finali nonché le indicazioni relative a un intervento di mitigazione del rischio idrogeologico.

In particolare, è emerso che l'obiettivo del progetto risulta quello di ottenere il mantenimento dei livellidi falda nel sottosuolo al disotto delle soggiacenze critiche che hanno segnato la ripresa degli spostamenti lungo tutte le verticali di monitoraggio messe in opera.

La profondità di sicurezza è stata stimata a circa 2 *m* da quota di piano campagna lungo il sondaggio 1 e 3 *m* nel sondaggio 4.

Per ottenere efficaci depressioni della piezometrica nel terreno è consigliabile la realizzazione di una rete drenante, la cui rappresentazione grafica è riportata nella tavola D03 di progetto, così suddivisa:

- Sistemazione dell'alveo del Rio denominato San Pietro con adeguamento delle sezioni idrauliche al regolare deflusso della portata attesa con tempo di ritorno duecentennale. La sistemazione riguarda l'intera asta fluviale condotta a partire dalla strada comunale della N.S. dell'Orto ed estesa fino alla sponda sinistra del Rio San Biagio. La finalità della nuova opera è legata l ripristino della rete drenante del sottobacino individuato, le cui acque sono state parzialmente deviate dagli interventi effettuati dal Genio Civile dopo l'alluvione del 1970;
- realizzazione di nuovo sistema di trincee drenanti, raccordate con la nuova inalveazione. La finalità del sistema di trincee drenanti è la raccolta delle acque di infiltrazione superficiale che scorrono incontrollate nell'impluvio in esame e che alimentano alcune sorgenti temporanee ubicate a monte della strada dell'ex Guidovia;
- trivellazione di pozzi drenanti, di profondità >10-11 *m*, dai quali si dipartano più ordini di dreni suborizzontali, collegati mediante scarichi di fondo eseguiti con perforazioni a *trivellazione orizzontale controllata* (TOC);
- esecuzione di pozzo di grande diametro (6 *m*), realizzato con pali strutturali e secanti, con funzione di collettore finale del sistema di drenaggio diprofondità, dotato di scarico di fondo a gravità anch'esso eseguito con *trivellazione orizzontale controllata* (TOC).

9. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Circolare 2 febbraio 2009. “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008”. D. Min. Infrastrutture e Trasporti 14.01.2008 “Testo Unitario delle Norme Tecniche per le costruzioni” Suppl. Ord. n. 30 alla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4.02.2008.

- D. Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 “Norme in materia ambientale” (modificato con i decreti legislativi 8.12.2006 n. 284, 9.11.2007 n. 205, 16.01.2008 n. 4, 20.11.2008 n. 188, 16.03.2009 n. 30, 29.06.2010 n. 128, 2.07.2010 n. 104, 3.12.2010 n. 205, 10.12.2010 n. 219, 7.07.2011 n. 121, e con le leggi: 26.02.2007 n. 17, 6.06.2008 n. 101, 4.07.2008 n. 123, 27.02.2009 n. 13, 24.06.2009 n. 77, 25.02.2010 n. 36)

- D. Min. Infrastrutture e Trasporti 14.01.2008 “Testo Unitario delle Norme Tecniche per le costruzioni” Suppl. Ord. n. 30 alla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4.02.2008.

- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" Gazzetta Ufficiale n. 108 del 11.05.2006.

- ISPRA - Regione Liguria (2008) Carta Geologica CARG 1:50.000 Fg. 213-230 “Genova”. Ed. SELCA Firenze.

- Provincia di Genova (2003-2004) “Piano di bacino stralcio del Torrente Polcevera – Ambito n. 17”.