



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



## COMUNE DI COSTA VOLPINO

Provincia di Bergamo

Committente: Amministrazione Comunale

### INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DEL VERSANTE E RIPRISTINO RETE ACQUEDOTTISTICA IN LOCALITA' STRAMAZZANO - 2° STRALCIO -

*"Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU. I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia solo quelli degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione europea o della Commissione europea. Né l'Unione europea né la Commissione europea possono essere ritenute responsabili per essi"*

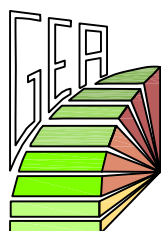
#### TITOLO ELABORATO

## RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

| N. PRATICA | TIPOLOGIA | FASE PROG.             | SCALA | ELABORATO |
|------------|-----------|------------------------|-------|-----------|
| 18_156     | PROG      | DEFINITIVO - ESECUTIVO | -     | <b>C</b>  |

| REVISIONE | DATA          | DESCRIZIONE     |
|-----------|---------------|-----------------|
| 0         | Novembre 2023 | Prima emissione |
| 1         | -             | -               |
| 2         | -             | -               |
| 3         | -             | -               |

#### PROGETTISTI



Studio G.E.A.

24020 RANICA (Bergamo)

Via Patta, 30/D

Telefono e Fax: 035.340112

E - Mail: [gea@mediacom.it](mailto:gea@mediacom.it)

collaborazione al progetto con Ing. Mirco Perico

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI

iscritto all' O.R.G. della Lombardia n. 258



Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI

iscritto Ord. Ing. Prov. BG n. 3057



## **SOMMARIO**

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSA.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>DESCRIZIONE DELL'EVENTO .....</b>                                    | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO .....</b>                            | <b>6</b>  |
|          | 3.1 Disamina degli strumenti .....                                      | 6         |
|          | 3.2 Considerazioni sulla fattibilità dell'opera .....                   | 12        |
|          | 3.3 Eventi storicamente noti .....                                      | 15        |
|          | 3.4 Disamina fotografica.....   | 17        |
|          | 3.4.1 Ortofoto 1975 .....   | 17        |
|          | 3.4.2 Ortofoto 1998 .....   | 18        |
|          | 3.4.3 Ortofoto dal 2003 al 2015.....                                    | 19        |
| <b>4</b> | <b>MODELLO GEOLOGICO DEL SITO .....</b>                                 | <b>22</b> |
|          | 4.1 Inquadramento geomorfologico .....                                  | 22        |
|          | 4.2 Inquadramento geologico .....                                       | 25        |
|          | 4.2.1 Assetto stratigrafico.....  | 25        |
|          | 4.2.2 Descrizione delle unità.....                                      | 27        |
|          | 4.2.3 Assetto strutturale.....  | 28        |
|          | 4.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico .....                     | 29        |
| <b>5</b> | <b>MODELLO GEOTECNICO DEL SITO .....</b>                                | <b>32</b> |
|          | 5.1 Caratterizzazione stratigrafica .....                               | 32        |
|          | 5.2 Parametrizzazione geotecnica .....                                  | 34        |
|          | 5.2.1 Premessa tecnica .....  | 34        |
|          | 5.2.2 Correlazioni geotecniche.....                                     | 36        |
|          | 5.2.3 Attribuzione dei parametri .....                                  | 41        |
| <b>6</b> | <b>MODELLO GEOLOGICO DEL DISSESTO.....</b>                              | <b>42</b> |
|          | 6.1 Frana .....   | 42        |
|          | 6.1.1 Cause predisponenti e innescanti .....                            | 42        |
|          | 6.1.2 Classificazione del movimento .....                               | 43        |
|          | 6.1.3 Possibile evoluzione .....  | 44        |
| <b>7</b> | <b>RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO .....</b>                      | <b>45</b> |
|          | 7.1 Azione sismica .....  | 45        |
|          | 7.1.1 Parametri sismici puntuali.....                                   | 46        |
|          | 7.1.2 Stati limite e probabilità di superamento .....                   | 47        |
|          | 7.1.3 Categorie di sottosuolo .....                                     | 48        |
|          | 7.1.4 Condizioni topografiche .....                                     | 51        |
|          | 7.1.5 Coefficienti sismici .....  | 52        |
|          | 7.2 Risposta sismica locale – Componente sismica dei P.G.T. Comunali 53 |           |
|          | 7.2.1 Generalità e metodologie di analisi .....                         | 53        |



|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 7.2.2 | 1° Livello – carta della PSL .....                           | 56        |
| 7.2.3 | 2° livello – Verifica del fattore di amplificazione Fa ..... | 58        |
| 7.3   | <b>Adeguatezza del terreno di fondazione.....</b>            | <b>60</b> |
| 7.3.1 | Liquefazione.....  | 60        |
| 7.3.2 | Cedimenti sismici .....                                      | 60        |
| 8     | <b>CONCLUSIONI.....</b>                                      | <b>61</b> |



## 1 PREMESSA

Il presente elaborato è volto alla definizione dei principali caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici, geotecnici e sismici dell'area interessata dall'intervento di sistemazione del versante e ripristino rete acquedottistica in località Stramazzano nella frazione Ceratello in comune di Costa Volpino (BG).

L'intervento consiste nella progettazione definitiva/esecutiva degli interventi di ripristino della viabilità comunale in seguito all'evento franoso avvenuto nel 2018, in località Stramazzano nella frazione di Ceratello nel comune di Costa Volpino.

Il presente progetto è un **secondo stralcio** degli interventi realizzati nel 2019, progettato dagli scriventi, e riguarda il ripristino di un bene di pubblica utilità (viabilità) e del danno causato dall'evento franoso.

Va specificato che, nel presente elaborato, per quanto concerne la descrizione delle opere di progetto, si fa riferimento all'elaborato *A - Relazione tecnico-illustrativa*.

L'indagine, in particolare, si rende necessaria in aderenza alle disposizioni normative in capo a:

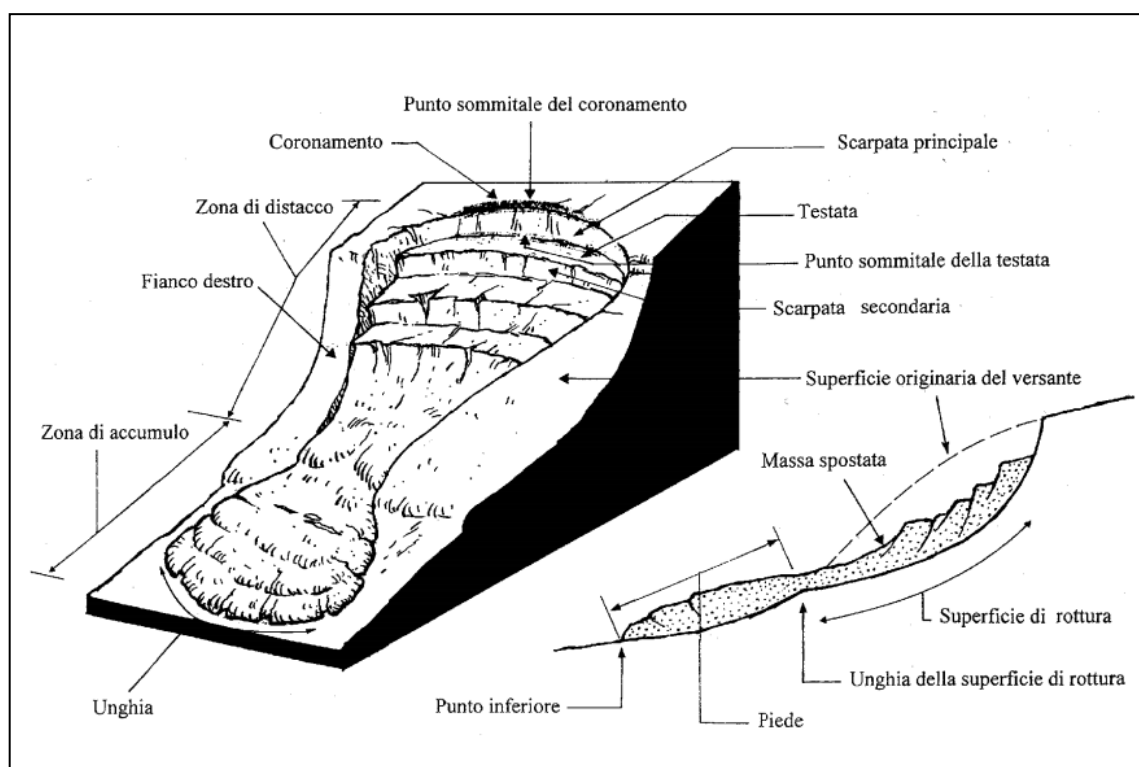
- **L.R. 11 marzo 2005 n. 12** e rispettivi criteri attuativi definiti con D.G.R. 22/12/05, n. 8/1566 *“Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, n. 12”* e s.m.i.
- **D.M. 14 gennaio 2008** *“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”* (pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008 – Supplemento Ordinario n. 30) e **D.M. 17 gennaio 2018** *“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”* (Pubblicato sulla G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018 – Supplemento Ordinario n.8).
- **Norme Geologiche di Piano del P.G.T.**



## 2 DESCRIZIONE DELL'EVENTO

Tra il 28 ed il 30 ottobre 2018 l'intero arco alpino è stato colpito da precipitazioni intense, a seguito delle quali si è verificato il franamento di una parte del versante presso la località Stramazzano, nella frazione di Ceratello.

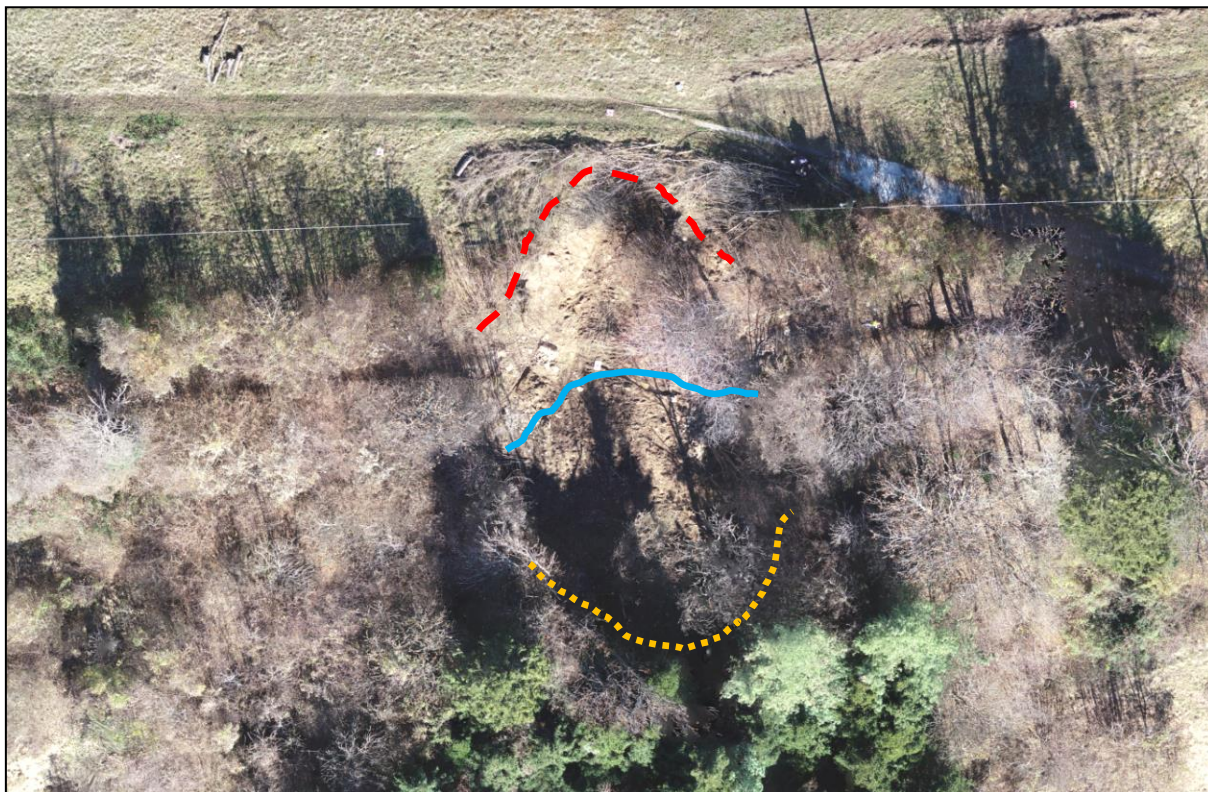
La frana può essere definita morfologicamente sulla base di alcune porzioni specifiche e facilmente individuabili. Si tratta di un metodo di prima classificazione, utile quando ancora non è stato individuato il meccanismo di attivazione. Lo schema riportato di seguito sintetizza i principali elementi rilevabili.



**Figura 1 – Schema di classificazione sulla base degli elementi morfologici della frana**

Per quanto riguarda il dissesto in studio, si evidenzia bene la zona di distacco (coronamento, in rosso) e l'unghia del corpo di frana (in giallo). Meno evidente è la separazione effettiva tra la zona di distacco e la zona di accumulo (in azzurro), che può essere indicata a circa metà del dissesto.





**Figura 2 – Componenti principali del corpo di frana individuate in fase di sopralluogo e grazie al rilievo topografico effettuato mediante SAPR (2019)**

Planimetricamente, la frana ha una larghezza di 17 m c.a. ed una lunghezza di 25 m c.a.. Considerando una differenza di quota dalla nicchia di frana fino al piede del corpo di frana di 14 m, la lunghezza effettiva del dissesto è di 290m c.a.

Il dissesto è completamente in materiale sciolto; nel sito, infatti, non affiora il substrato roccioso, ma sono presenti depositi quaternari composti da ciottoli in matrice limoso – sabbiosa di origine glaciale. Nell'intorno dell'area sono tuttavia presenti affioramenti riferibili sia alla Formazione del San Giovanni Bianco che alla Formazione del Castro Sebino (notazione della Carta Geologica d'Italia).

### 3 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

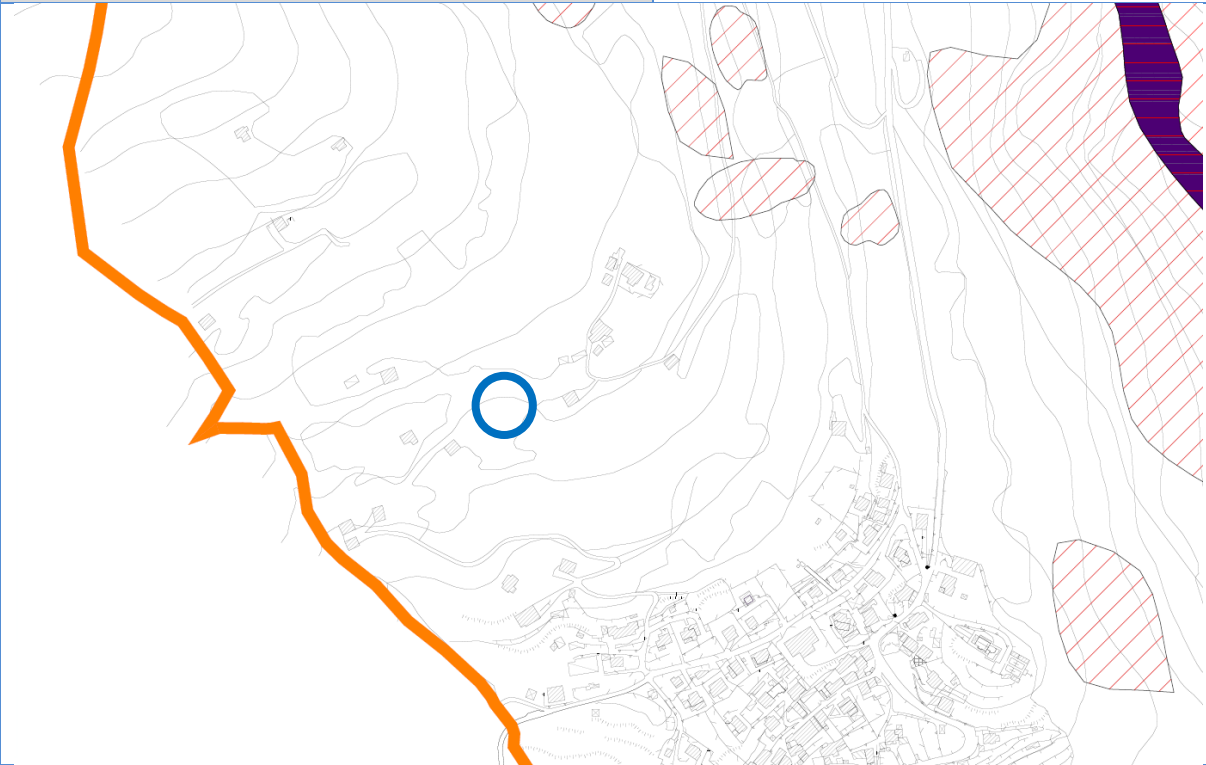
#### 3.1 *Disamina degli strumenti*

Al fine di individuare gli eventuali ambiti di criticità e/o gli eventuali vincoli geologici presenti nell'area di studio, sono stati considerati alcuni strumenti normativi di riferimento, nelle versioni disponibili al momento della redazione del presente documento. In particolare, in questo caso sono stati consultati:


- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio comunale:
  - quadro del dissesto P.A.I. + P.G.R.A.
  - vincoli geologici
  - sintesi
  - fattibilità geologica delle azioni di piano
- Strumenti di pianificazione sovracomunale
  - Inventario dei Fenomeni Franosi regionale (GeoIFFI)

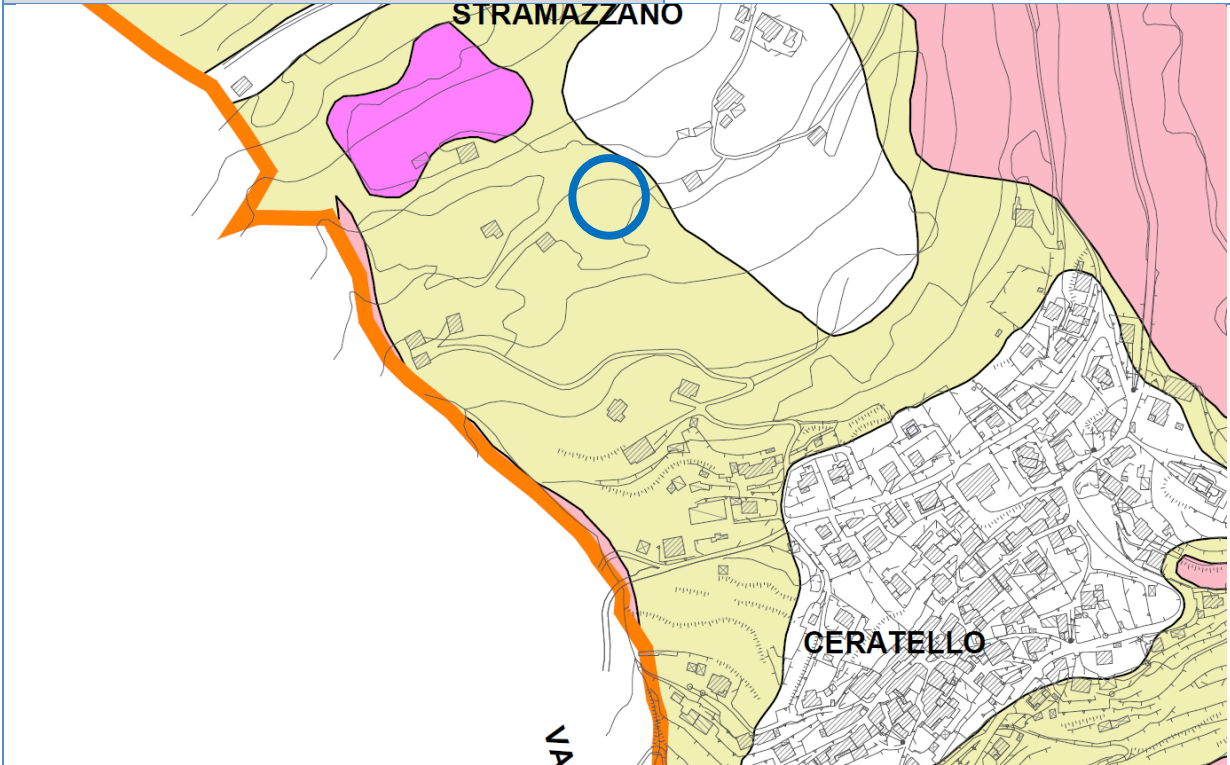
Nelle pagine seguenti si allegano gli stralci cartografici degli strumenti consultati, indicando gli ambiti di criticità o i vincoli con cui l'area eventualmente interferisce.

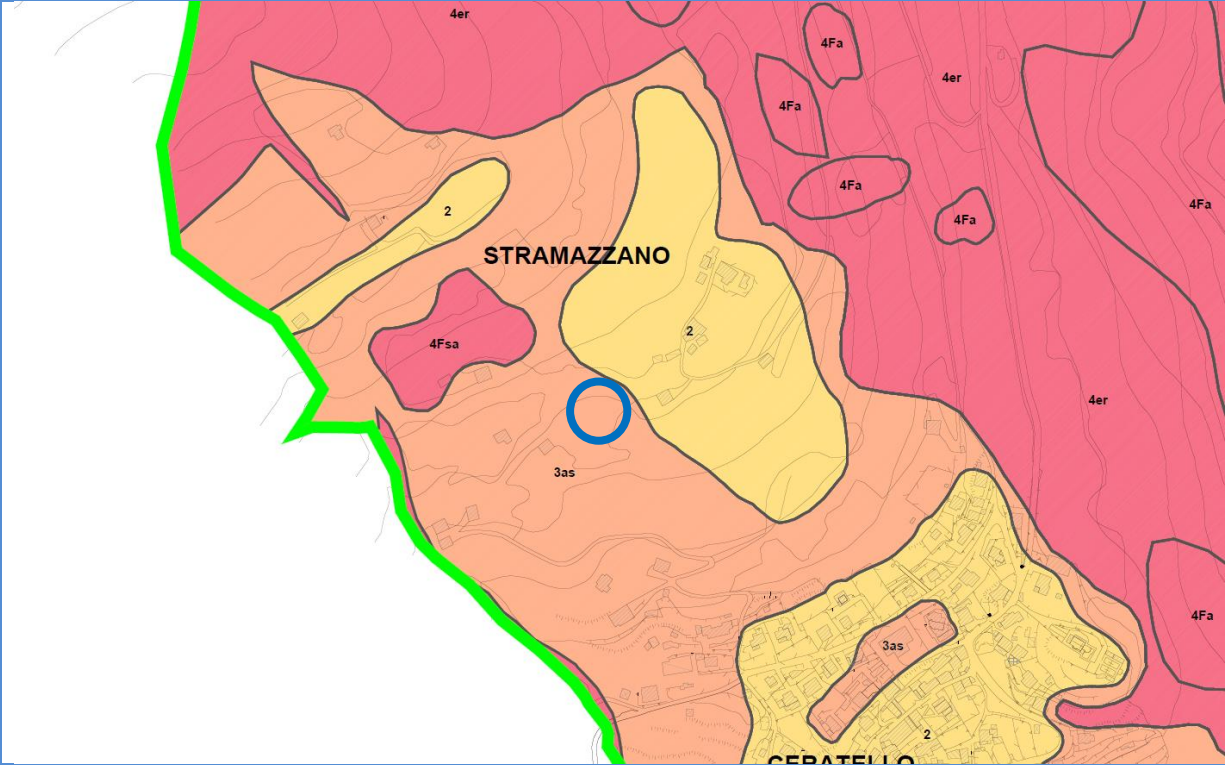


|   |  |
|---|--|
| <b>STRUMENTO</b>  | <b>Carta del dissesto con legenda<br/>uniformata P.A.I.+P.G.R.A. del P.G.T.<br/>comunale</b> |
| <b>AUTORE</b>   | Studio GEA<br>Maggio 2021  |
| <b>AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI NELLA<br/>TAVOLA DEL PGT</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dissesti del P.A.I. – P.G.R.A.</li> </ul>             |
|  |  |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI<br/>COMPLETAMENTE</b>                              | -  |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI<br/>MARGINALMENTE</b>                              | -  |
| <b>NOTE</b>   | -  |

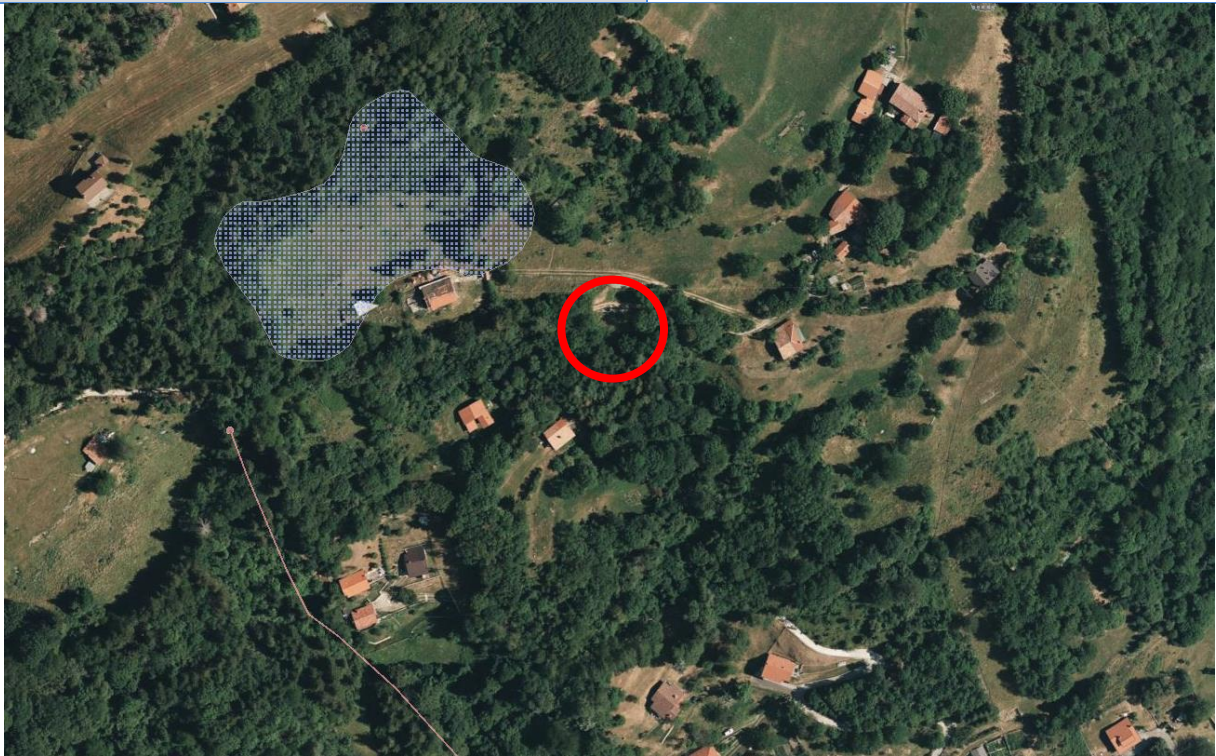


|   |  |
|---|--|
| <b>STRUMENTO</b>  | <b>Carta dei Vincoli<br/>del P.G.T. comunale</b>   |
| <b>AUTORE</b>   | Studio GEA<br>Maggio 2021  |
| <b>AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI NELLA<br/>TAVOLA DEL PGT</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vincolo di polizia idraulica</li> <li>• Aree di salvaguardia sorgenti idropotabili</li> <li>• Vincoli territoriali</li> </ul> |
|  |  |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI<br/>COMPLETAMENTE</b>                              | -  |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI<br/>MARGINALMENTE</b>                              | -  |
| <b>NOTE</b>   | -  |

|   |   |
|---|---|
| <b>STRUMENTO</b>  | <b>Carta di Sintesi<br/>del P.G.T. comunale</b>   |
| <b>AUTORE</b>   | Studio GEA<br>Maggio 2021   |
| <b>AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI NELLA<br/>TAVOLA DEL PGT</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aree vulnerabili dal punto di vista Idrogeologico</li> <li>• Rischio idraulico</li> <li>• Aree con scadenti caratteristiche geotecniche</li> <li>• Elementi di pregio morfologico</li> </ul> |
|  |   |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI<br/>COMPLETAMENTE</b>                              | as – Aree acclivi o prossime a scarpate acclivi   |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI<br/>MARGINALMENTE</b>                              | -   |
| <b>NOTE</b>   | -   |

|   |  |
|---|--|
| <b>STRUMENTO</b>  | <b>Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano del P.G.T. comunale</b>                        |
| <b>AUTORE</b>   | Studio GEA<br>Maggio 2021  |
| <b>AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Classi di fattibilità geologica</li> </ul>                      |
|  |  |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI COMPLETAMENTE</b>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Classe 3as – fattibilità con consistenti limitazioni</li> </ul> |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI MARGINALMENTE</b>                                  | -  |
| <b>NOTE</b>   | -  |



|   |  |
|---|--|
| <b>STRUMENTO</b>  | <b>Inventario dei Fenomeni Franosi<br/>Lombardia (IFFI)</b>                        |
| <b>AUTORE</b>   | Regione Lombardia<br>2017  |
| <b>AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ambiti di dissesto censiti da RL</li> </ul> |
|  |  |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI<br/>COMPLETAMENTE</b>                              | -  |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI<br/>MARGINALMENTE</b>                              | -  |
| <b>NOTE</b>   | -  |

### 3.2 Considerazioni sulla fattibilità dell'opera

| STRUMENTO                          | AMBITO | DESCRIZIONE   |
|------------------------------------|--------|---|
| Dissesti del P.A.I.+P.G.R.A.       | -      | Nessuna interferenza  |
| Vincoli geologici ed idrogeologici | -      | Nessun interferenza   |
| Sintesi                            | as     | Aree acclivi o prossime a scarpate acclivi  |
| Fattibilità geologica              | 3as    | Aree acclivi o prossime a scarpate acclivi<br>Fattibilità con consistenti limitazioni |
| IFFI                               | -      | Nessuna interferenza  |

**Figura 3 – Tabella di sintesi degli ambiti presenti secondo gli strumenti di pianificazione territoriale**

Come si evince dagli strumenti di pianificazione territoriale Comunali e Sovracomunale, non erano presenti elementi di dissesto censiti prima dell'evento oggetto di studio e di sistemazione. La cartografia della Fattibilità, che ricalca quella di sintesi, indica un'area in classe 3as, la quale individua quelle che possono essere classificate come aree acclivi, ma senza elementi di dissesto.

Si rende presente che l'ambito individuato non risulta ostativo alla realizzazione delle opere.

Le Norme Geologiche di Piano di Costa Volpino per la classe "3" e la relativa sottoclasse 3as, riportano quanto segue:



**CLASSE 3 – FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI**

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica.

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stessa.

Copia della relazione geologica e dei relativi allegati deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione dei Piani Attuativi (L.R. 12/05 art. 14) o in sede di richiesta del permesso di costruire (L.R. 12/05 art. 38).

Si sottolinea che gli approfondimenti di cui sopra non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui alla normativa nazionale.

Per ciascuna sottoclasse sono stati inoltre individuati i supplementi di indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito territoriale di riferimento (puntuale, quali caduta massi, o relativo ad ambiti più estesi, coinvolti dal medesimo fenomeno, quali ad esempio conoidi, interi corsi d'acqua, ecc.) e la finalità degli stessi al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale, e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per procedere o meno all'edificazione.

**Ambiti "as": aree acclivi o prossime a scarpate acclivi**

Si tratta delle scarpate in parte di origine antropica in parte naturali (terrazzo di Grignano) che pur essendo acclivi presentano una buona copertura vegetale e contenute forme di dissesto.

In questo ambito, oltre alle norme generali della classe 3 riportate in testa al





capitolo (D.G.R. IX/2616 del 30-11-2011) valgono le seguenti prescrizioni specifiche.

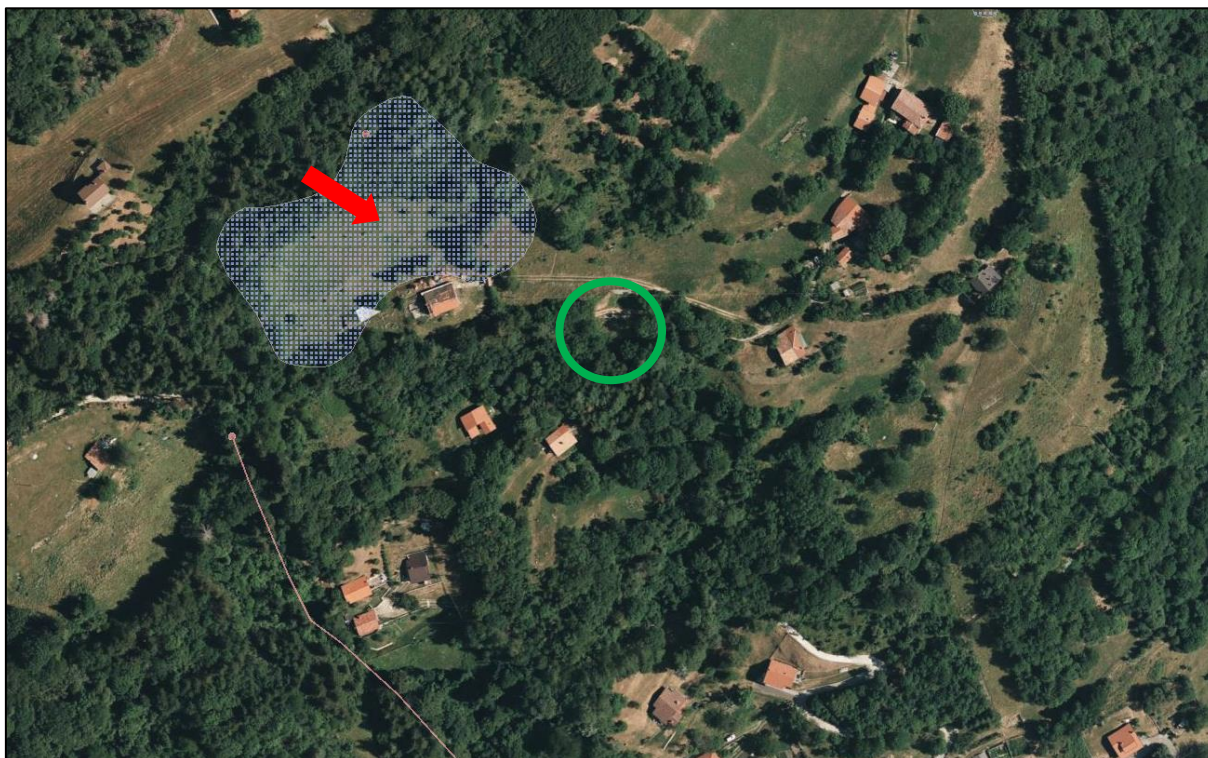
Le relazioni geologiche redatte per eventuali interventi ricadenti in questo ambito dovranno considerare caso per caso quanto riportato nella premessa e nel corpo dell'Allegato 4 ai punti:

- GT.1, GT.2, GT.3, GT.5, GT.6, GT.7, GT.8, GT.9, GT.12, GT.15







### 3.3 Eventi storicamente noti

Dalla ricerca degli eventi storici (perpetrate attraverso le schede di censimento frane dell'IFFI), è stato possibile osservare un ambito di frana superficiale diffusa, con stato di attività quiescente, a ovest rispetto al dissesto attuale.



**Figura 4 - Ubicazione del dissesto censito nell'IFFI (area a punti azzurri indicata dalla freccia rossa) rispetto all'area di dissesto oggetto di intervento (cerchiata in verde)**

| GeoIFFINet   |  |
|--|--|
| Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia  |  |
|    |  |
| <p><b>DETTAGLI FRANA</b></p>   |  |
| <p><b>Id. frana</b></p> <p><b>0162360600</b></p> <p><b>Primo Livello</b></p> <p><a href="#">Generalità</a></p> <p><a href="#">Classificazione/Attività</a></p> <p><a href="#">Metodo Valutazione</a></p> <p><a href="#">Fotointerpretazione</a></p> <p><a href="#">Stima dei danni</a></p> | <p><b>Generalità</b></p> <p><b>Localizzazione</b></p> <p><b>Regione</b> Lombardia</p> <p><b>Provincia</b> Bergamo</p> <p><b>Comune</b> Costa Volpino</p> <p><b>Autorità di bacino</b></p> <p><b>Toponimo IGM</b></p> <p><b>Sigla</b></p> <p><b>Sigla</b></p> <p><b>Compilazione</b></p> <p><b>Data</b> 2000-12-31</p> <p><b>Compilatore</b> Protezione Civile</p> <p><b>Istituzione</b> Regione Lombardia</p> <p><b>Note</b></p> <p>Incertezza:2</p> <p><b>Carg</b></p> <p><b>Carg</b></p> <p><b>CTR</b></p> <p><b>Scala 1:</b> 10000</p> <p><b>Numero</b> D4a4</p> <p><b>Toponimo</b> Costa\Volpino</p> |
| <p><b>Dati Correlati</b></p> <p><a href="#">Secondo Livello</a></p> <p><a href="#">Terzo Livello</a></p> <p><a href="#">Cartografia</a></p>  |  |
| <p><a href="#">Home</a></p>  |  |

| GeoIFFINet   |   |
|--|---|
| Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia  |   |
|    |   |
| <p><b>DETTAGLI FRANA</b></p>   |   |
| <p><b>Id. frana</b></p> <p><b>0162360600</b></p> <p><b>Primo Livello</b></p> <p><a href="#">Generalità</a></p> <p><a href="#">Classificazione/Attività</a></p> <p><a href="#">Metodo Valutazione</a></p> <p><a href="#">Fotointerpretazione</a></p> <p><a href="#">Stima dei danni</a></p> | <p><b>Livello 1 - Classificazione/Attività</b></p> <p><b>Classificazione</b></p> <p><b>Tipo movimento</b> Aree soggette a frane superficiali diffuse</p> <p><b>Note</b></p> <p><b>Attività</b></p> <p><b>Stato</b> Quiescente</p> <p><b>Data della più recente osservazione</b> 1982-08-15 00:00:00.0</p> <p><b>che ha permesso di determinare lo stato di attività</b></p> |
| <p><b>Dati Correlati</b></p> <p><a href="#">Secondo Livello</a></p> <p><a href="#">Terzo Livello</a></p> <p><a href="#">Cartografia</a></p>  |   |
| <p><a href="#">Home</a></p>  |   |

### 3.4 Disamina fotografica

Di seguito vengono analizzate le fotografie aeree della zona (tratte dal Portale Cartografico Nazionale e dal altri strumenti), con la finalità di individuare eventuali consistenti modifiche del sito nel corso degli anni, o qualsiasi altra anomalia.

#### 3.4.1 Ortofoto 1975

Nelle immagini del 1975 appare un territorio caratterizzato da una minore copertura boschiva. Tale fatto permette di evidenziare maggiormente il profilo del versante, caratterizzato da una morfologia concava proprio presso la zona del dissesto, anche se non appaiono dissesti attivi. I piccoli terrazzamenti paralleli al versante suggeriscono più un'intensa attività da parte del soliflusso, piuttosto che dovuti ad un'azione antropica volta alla coltura.



**Figura 5 – Ortofoto 1975 con ubicazione in rosso dell'area di dissesto  
(Fonte base cartografica Regione Lombardia)**

### **3.4.2 Ortofoto 1998**

L'immagine mostra l'aumento del carico antropico sul territorio e un debole aumento delle coperture boschive. Non sono tuttavia presenti elementi che possono indicare eventuali dinamiche di dissesto.



**Figura 6 - Ortofoto 1998 con ubicazione in rosso dell'area di dissesto  
(Fonte base cartografica Regione Lombardia)**



### **3.4.3 Ortofoto dal 2003 al 2015**

Il rilievo fotografico del 2003 non mostra elementi di dissesto, così come i successivi del 2007, del 2012 e del 2015. Aumentano gradualmente il carico antropico (anche se mai in maniera eccessiva) e le coperture boschive.



**Figura 7 – Ortofoto 2003 (Fonte Regione Lombardia)**



**Figura 8 - Ortofoto 2007 (Fonte Regione Lombardia)**





**Figura 9 - Ortofoto 2012 (Fonte Regione Lombardia)**



**Figura 10 - Ortofoto 2015 (Fonte Regione Lombardia)**

Nelle immagini, l'unico elemento di spicco nell'area è la morfologia del versante, il quale richiama una forma concava che potrebbe indicare un abbassamento (relitto) della porzione immediatamente a valle delle strade di accesso agli edifici ad ovest. Tale elemento è ben marcato nelle immagini del 1975, mentre in quelle successive si perde all'interno della macchia boschiva in accrezione.

In effetti, tale morfologia potrebbe indicare la presenza di un antico dissesto, ormai relitto, per cui una parte potrebbe essersi riattivata.



## 4 MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

### 4.1 Inquadramento geomorfologico

L'area di dissesto si pone lungo la media porzione del versante destro della Valle Camonica, appena a nord ed a monte della punta settentrionale del Lago d'Iseo (Sebino).

Il contesto morfologico e geomorfologico è quindi quello delle medie energie di versante, dell'azione torrentizia e delle alterazioni meteoriche legate ad un clima alpino.

La morfologia generale a livello regionale (dal punto di vista geologico-strutturale) è legata alla presenza di importanti lineamenti interni alla successione triassica del Parautoctono Bergamasco e della Culminazione Camuna. Si distingue, presso l'area di dissesto, la presenza della "*Faglia della Val Supine (FVS)*" lungo la quale si imposta l'omonima valle che forma, a fondovalle, il conoide sul quale si pone buona parte del comune di Costa Volpino. La presenza della faglia ha un forte riscontro non solo nella valle da cui prende il nome, ma anche presso le altre valli secondarie che solcano, parallelamente alla Val Supine, il versante e che si immettono nel fondovalle della Valle Camonica o direttamente nel lago.

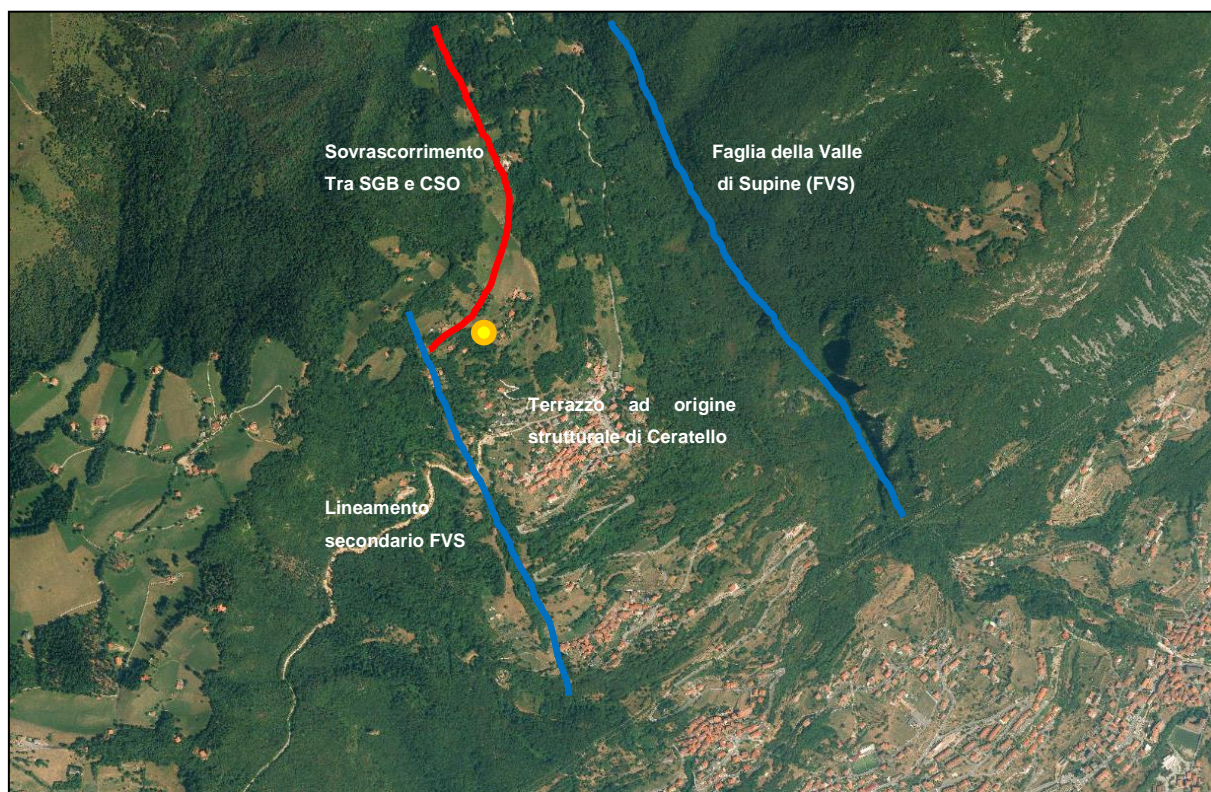
La presenza di tali elementi direzionati secondo la pendenza del versante ha comportato il lento rilascio verso valle di tali "strisce" di versante (soprattutto ed in particolare dopo il disgelo glaciale) generando dei blocchi terrazzati sui quali sono sorte le varie frazioni e località di monte dei Comuni della Valle Camonica, tra cui proprio Ceratello. Tale fenomeno, dovuto alla presenza di discontinuità strutturali e meccaniche, si è attivato a partire dal disgelo glaciale a causa della perdita del sostegno laterale che il ghiacciaio offriva ai versanti; è dunque noto come "rilascio post-glaciale" ed è caratterizzante l'intera valle Camonica, ma anche le porzioni superiori ed interessate dal passaggio dei ghiacciai delle altre valli alpine.

Per completare gli elementi morfologici di derivazione strutturale, è bene evidenziare anche la presenza di un sovrascorrimento (tagliato dai lineamenti coerenti alla FVS, pertanto antecedente) tra la Formazione del San Giovanni Bianco (SGB) e quella di





Castro (CSO) immediatamente a monte dell'area di dissesto e che viene, con ogni probabilità, evidenziato dalla presenza del Monte di Lovere.



**Figura 11 – Schematizzazione dei principali elementi strutturali dell'area con evidenze morfologiche significative (base topografica Regione Lombardia)**  
**Indicata in giallo l'area di dissesto**



**Figura 12 – Versante prossimo all'area in dissesto, caratterizzato da un piccolo terrazzo (antropico) e da soliflusso diffuso**

Localmente, l'area in cui si inserisce il dissesto è caratterizzata da un versante irregolare, interessato da deboli contropendenze a controllo sia gravitativo della coltre superficiale (soliflusso), sia gravitativo a controllo strutturale, sia antropico (terrazzamenti da coltura, tagli stradali). L'area è caratterizzata dalla presenza di una morfologia (pre-evento) concava che va dalla zona di attuale distacco fino alla strada che collega gli edifici rurali più a valle. Tale morfologia, ben evidente nelle ortofoto del 1975, ad

oggi viene mascherata dalla presenza delle coperture boschive.

Si individua, immediatamente ad

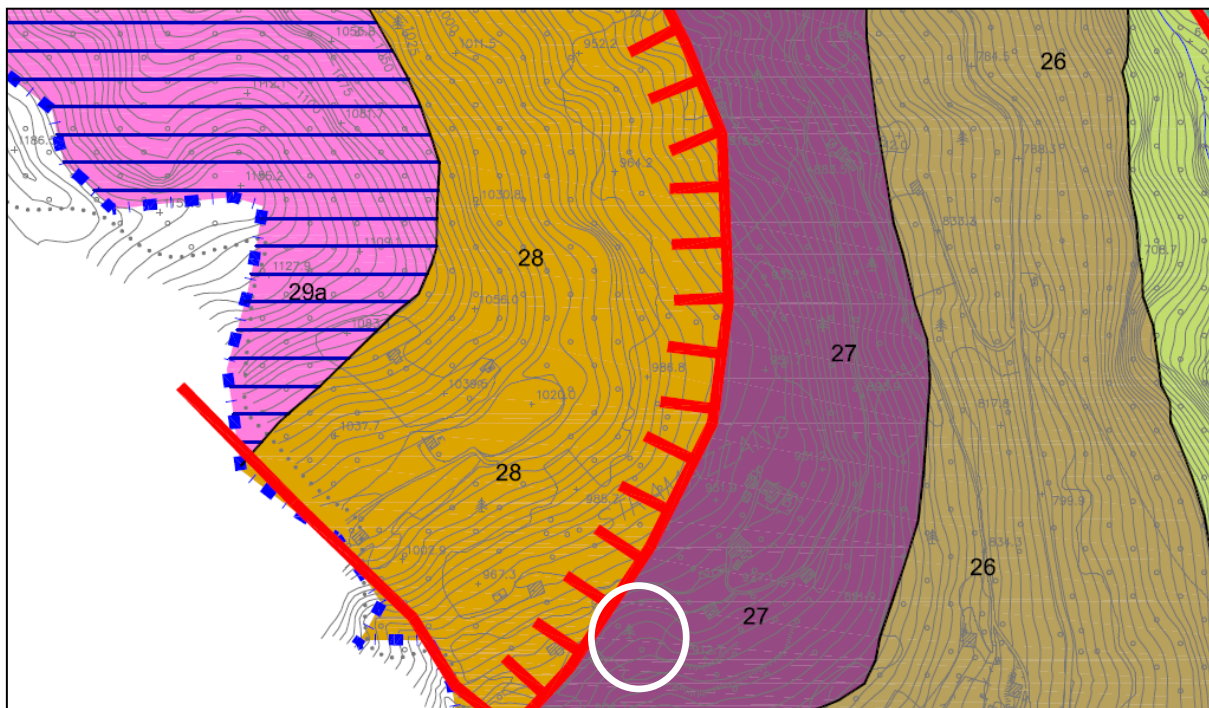
ovest alla medesima quota, una morfologia simile con interposto tra le due un dosso, o displuvio, ben evidente. Tali elementi morfologici ben si inseriscono nel contesto di rilascio post – glaciale come strutture minori di rilassamento del versante, la cui naturale evoluzione, a volte, è proprio quella franosa così come comunemente inteso.







2017), l'area si trova al contatto (di tipo strutturale) tra la Formazione di San Giovanni Bianco (27) e la Formazione di Castro (28) entrambe del Carnico superiore.



**Figura 14 – Stralcio della Carta Geologica a supporto del P.G.T. di Costa Volpino (Marsetti, 2017); indicata in bianco l'area di dissesto**

È bene evidenziare come la cartografia del P.G.T. sia leggermente difforme rispetto alla cartografia CARG, la quale non indica nell'area la formazione di Castro. Ciò può essere dovuto alla differente risoluzione delle due cartografie (la Carta Geologica nazionale è redatta alla scala 1:50.000, mentre quella del P.G.T. alla scala 1:5.000).

---

#### **4.2.2 Descrizione delle unità**

Tratta dalla Carta Geologica d'Italia, Foglio 078 "Breno".

##### **Substrato: Formazione di San Giovanni Bianco – Litofacies Arenitica (SGB<sub>a</sub>)**

Descrizione: Alternanze di arenarie e siltiti da grigio a verdi, localmente piriti fere; le arenarie sono da fini a grossolane, in strati centimetrici – decimetrici, solo localmente laminate; quelle più grossolane sono alterate in colori ferruginosi. Presso il Monte Pora affiorano marne grigio-verdastre a patina di alterazione beige sottilmente stratificate e laminate con laminazione piano – parallela e plaghette di sabbie ferruginose bioturbate. Ambiente lagunare alla base passante verso l'alto a intertidale o sopratidale, fino a *sabkha*.

Spessore: da 100 a 200 m

Età: Carnico Medio – Superiore

##### **Substrato: Formazione di Castro (Sebino)**

Descrizione: Breccie calcaree e breccie dolomitiche superiormente massicce. LE breccie carbonatiche, sinsedimentarie, eterometriche e caotiche, sono di colore da grigio a nocciola con caratteristiche screziature, marroncine quelle calcaree e grigio – scuro quelle dolomitiche, e con diffuse tasche di cementi calcarenitici e calcisiltitici laminati. Le breccie dolomitiche si presentano localmente con clasti dolomitici centimetrico-decimetrici grigi, rari clasti calcarei ricristallizzati, e alcuni biancastri e sfaticci ad abito prismatico (gesso?); i clasti spiccano sulla matrice calcarea grigio – nocciola. Inferiormente sono presenti dolomie terrose evaporitiche con breccie intercalate; localmente doloareniti grigio – scuro, laminate, passanti a breccie con elementi prevalentemente dolomitici.

Spessore: Massimo 380 m

Età: Carnico Medio - Superiore

##### **Depositi: Supersintema della Colma del Piano (CM)**

Descrizione: Diamicton e diamictiti a clasti eterometrici (depositi glaciali); conglomerati, ghiaie, sabbie stratificate (depositi alluvionali); limi e argille laminate (depositi lacustri). Superficie limite superiore polifasica e poligenica; profilo di alterazione sviluppato;

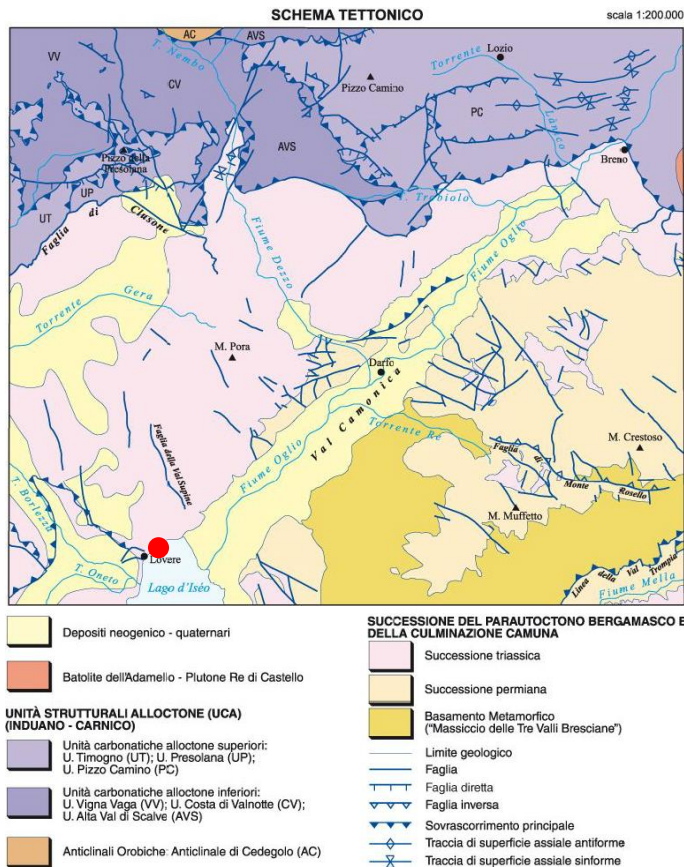
Spessore: variabile

Età: Pleistocene



#### 4.2.3 Assetto strutturale

Lo schema tettonico del foglio 078 “Breno” individua due gruppi strutturali distinti, le Unità Strutturali Alloctone nella porzione settentrionale e la Successione del Parautoctono Bergamasco e della Culminazione Camuna nelle porzioni centrale e meridionale del foglio. Questi vengono delimitati dal lineamento direzionato Est –



Ovest, di tipo compressivo, che trova come elementi principali la Faglia di Clusone e la serie di Anticlinali e Sinclinali ad ovest del Batolite dell'Adamello.

La valle Camonica, a partire da Breno vero sud, si imposta al contatto, di tipo sia tettonico che stratigrafico, tra la Successione Triassica (versante destro) e la Successione Permiana (versante sinistro) facenti parte del Parautoctono Bergamasco e della Culminazione Camuna. Il contatto tra unità litologicamente differenti,

unitamente alla presenza di elementi tettonici non principali, ma comunque significativi, ha permesso la formazione della valle ed il suo sviluppo.

L'area di dissesto (indicata nello schema tettonico dal pallino rosso), come anticipato nella componente geologica, è posta entro la Successione Triassica ed in prossimità della *Faglia della Val Supine*, elemento strutturale minore direzionato nord – sud.

A completare il quadro strutturale locale, in base della cartografia geologica del P.G.T., è inoltre presente un contatto strutturale antecedente alla Faglia, interposto tra la formazione di San Giovanni Bianco e la Formazione di Castro.

### 4.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico

Dal punto di vista idrografico, non sono presenti elementi idrici censiti dallo studio del Reticolo Idrico e vincolati dalla Polizia Idraulica nell'area di dissesto.

Gli elementi più vicini sono l'impluvio codificato CV83 ad ovest (che segna il limite comunale di Costa Volpino presso la frazione di Ceratello) e l'impluvio codificato CV3 ad est (tributario della Val Supine, m codificato BG168).

Si tratta di elementi idrici ad emergenza locale, presumibilmente legati a sorgenti localizzate attribuibili al contatto strutturale presente.

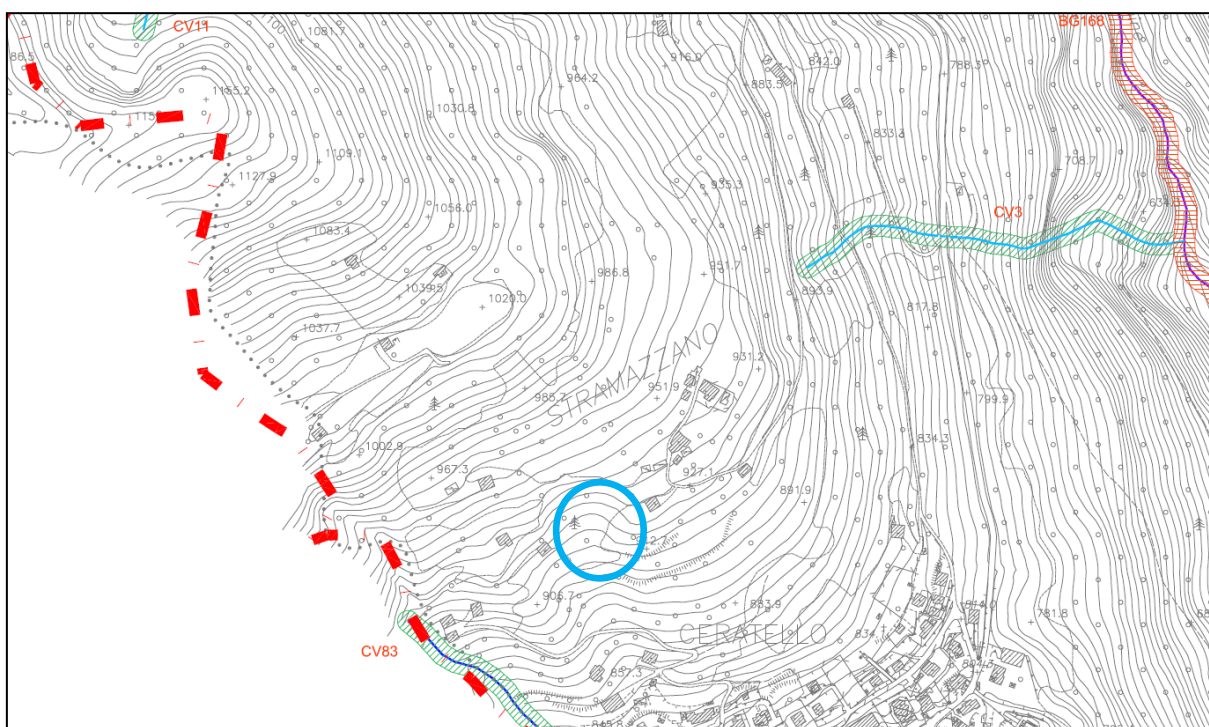
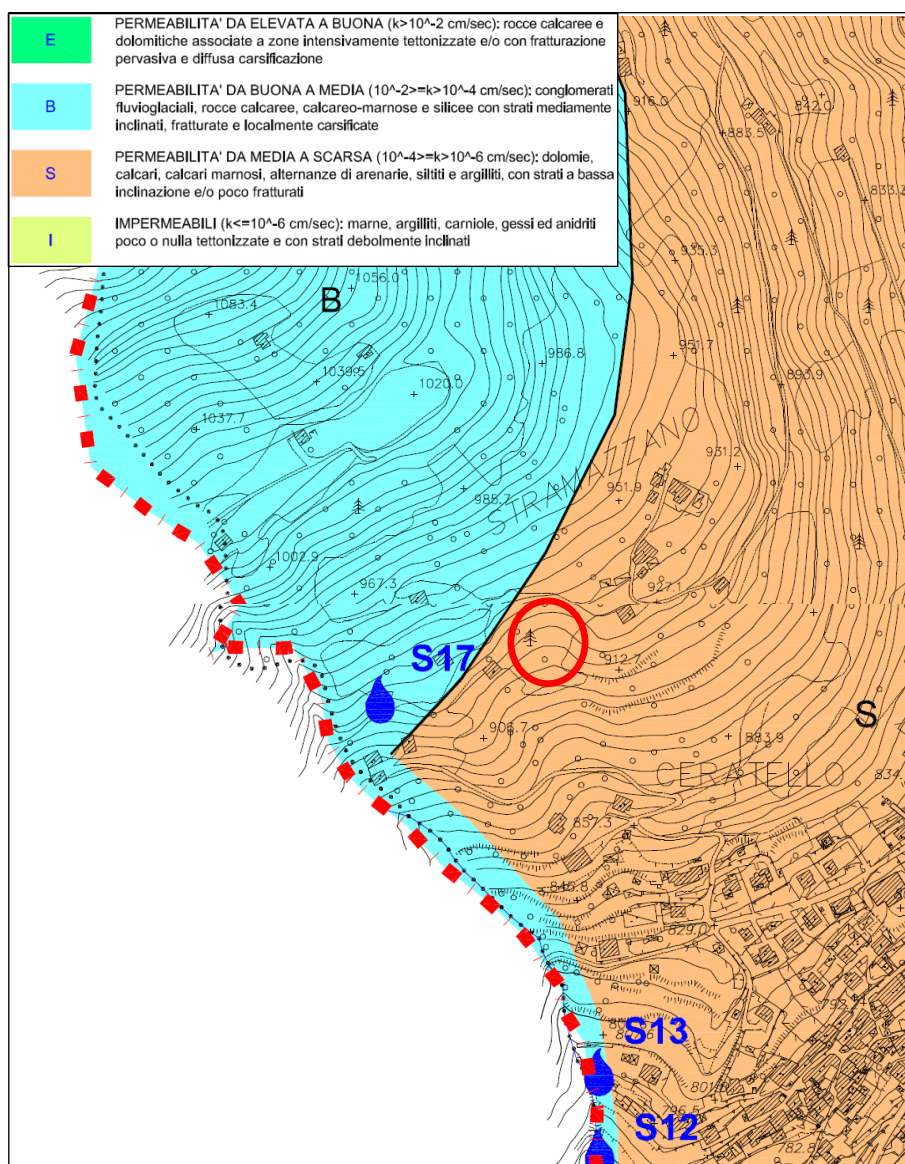


Figura 15 – Individuazione degli elementi idrici minori e principali vincolati dal Documento di Polizia Idraulica di Costa Volpino (Marsetti, 2015).





**Figura 16 – Stralcio della Carta Idraulica ed Idrogeologica a supporto del P.G.T. di Costa Volpino, indicata in rosso l'area di dissesto**

Lo stralcio della Carta Idraulica ed Idrogeologica di cui alla figura precedente indica chiaramente la presenza di una superficie di contrasto litologico portato dal sovrascorrimento tra la Formazione di San Giovanni Bianco e la Formazione di Castro.

Alla formazione di Castro (Caratterizzata da brecce dolomitiche in cementi calcarenitici e calcilutitici) assume una permeabilità da buona a media, mentre la Formazione del San Giovanni Bianco (costituita da Arenarie e siltiti fini e laminate) ha una permeabilità minore, definita da media a scarsa. La formazione di San Giovanni Tale contrasto nella permeabilità del substrato si traduce nelle emergenze idriche indicate nella cartografia e che portano alla formazione degli elementi idrici indicati dal R.I.M., nonché alla possibile presenza di acque in superficie o che si spostano da uno scorrimento profondo (nel substrato) ad uno scorrimento al contatto substrato – depositi o entro i depositi.

La presenza di venute d'acqua, anche abbondanti, è stata da subito individuata e, in via preliminare, si è provveduto all'allontanamento delle acque onde evitare l'evoluzione del fenomeno.





## 5 MODELLO GEOTECNICO DEL SITO

### 5.1 Caratterizzazione stratigrafica

Dalle osservazioni di terreno effettuate, dalla consultazione della bibliografia disponibile e dall'esperienza maturata dallo scrivente in terreni prossimali al sito di intervento, è possibile delineare la seguente situazione stratigrafica media.

| LIVELLO | PROFONDITÀ        | INTERPRETAZIONE   |
|---------|-------------------|---|
| A       | 4.00/5.00 m       | Diamicton glaciale (ciottoli subarrotondati in matrice limoso – sabbiosa) |
| B       | oltre 4.00/5.00 m | Substrato roccioso  |

Figura 17 - Stratigrafia dell'area di studio



Lo spaccato stratigrafico osservabile sia nella nicchia che nelle porzioni dislocate del corpo di frana permette di osservare la situazione stratigrafica dell'area di dissesto.

Si tratta prevalentemente di un diamicton di origine glaciale formato da ciottoli e rari massi immersi in una matrice (che fa da supporto) medio – fine composta da sabbie e limi anch'essi derivanti dalla deposizione glaciale, ma anche dall'alterazione e dal colluvio. Non si osservano organizzazioni stratigrafiche interne se non locali lenti ove è maggiore la componente in ciottoli (immagine a lato). Il substrato, non affiorante, è riferibile alla litofacies arenitica della Formazione del San Giovanni Bianco.



**Figura 18 – Spaccato stratigrafico offerto dalla nicchia di frana (2018)**

---

## 5.2 Parametrizzazione geotecnica

### 5.2.1 Premessa tecnica

L'Eurocodice 7: "Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules", introduce il concetto dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Il valore caratteristico, inteso come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione, dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica, che si tratti di SLU (stati limite ultimi ovvero potenziale presenza di una superficie di rottura) o di SLE (stati limite di esercizio ossia deformazioni di tipo elastico o di consolidazione a prescindere dallo stato di rottura).

L'EC7, al punto 2.4.5.2 2(P), definisce quanto segue:

"Il valore caratteristico di un parametro geotecnico sarà scelto come una stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite"

I punti salienti della definizione sono i seguenti:

- ✓ Stima cautelativa: si tratta di una stima (il vocabolo prende in considerazione l'incertezza esistente in geotecnica dovuta alla notevole variabilità delle proprietà dei depositi nonché all'incertezza dovuta alle informazioni non complete generalmente a disposizione tramite prove in situ e di laboratorio), che deve essere a favore della sicurezza.
- ✓ Valore che influenza l'insorgere dello stato limite: il valore caratteristico è in funzione dello stato limite considerato, ad esempio la rottura del terreno al collasso verticale della fondazione. Se esaminiamo, invece della rottura al collasso verticale, la rottura allo slittamento, il valore del parametro geotecnico sarà generalmente diverso.

Definire il valore caratteristico significa pertanto scegliere il parametro geotecnico che influenza il comportamento del terreno in quel determinato stato limite, ed adottarne un valore, o stima, a favore della sicurezza.



Si pone in evidenza che l'unica metodologia delineata dall'EC7 per la definizione dei valori caratteristici è di natura statistica, anche se questa non è resa obbligatoria per gli stati membri.

**Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.**

1. Una stima cautelativa del valore medio è una selezione del valore medio del limitato insieme dei valori del parametro geotecnico, con un livello di confidenza del 95%.
2. Dove l'analisi riguarda una rottura locale, una stima cautelativa del 'low value' è il 5° percentile.

Occorre considerare tra l'altro se esiste compensazione spaziale o strutturale valutando le fluttuazioni dei parametri.

In sintesi, all'interno di uno strato omogeneo e dello spessore di influenza dello stato limite considerato, valgono le seguenti regole:

- A. Se esiste compensazione spaziale (volume interessato dallo stato limite, o suo spessore in una dimensione, significativamente maggiore della lunghezza delle fluttuazioni nei parametri di resistenza del terreno), allora il valore caratteristico corrisponde al 5° percentile della media ed è generalmente non molto distante dalla media stessa.
- B. Se esiste compensazione strutturale (fondazioni sufficientemente rigide tali da distribuire le sollecitazioni omogeneamente sul terreno), allora il valore caratteristico è lo stesso del precedente caso A.
- C. Se non esiste compensazione strutturale, né compensazione spaziale, allora il valore caratteristico è il 5° percentile della distribuzione statistica del campione, ed è generalmente piuttosto distante dalla media.





### **5.2.2 Correlazioni geotecniche**

Nel caso in oggetto, i dati disponibili derivano dalle prove penetrometriche dinamiche. I valori del numero dei colpi è stato trasformato in  $N_{SPT}$ , secondo la procedura di seguito descritta.

#### **5.2.2.1 Correlazione con $N_{SPT}$ delle prove penetrometriche**

Poiché la prova penetrometrica standard (S.P.T.) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{SPT}$  ottenuto con la suddetta prova; pertanto, si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{SPT}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{SPT}$  è quella riferita alla prova S.P.T.



L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui:

- M = peso massa battente;
- M' = peso aste;
- H = altezza di caduta;
- A = area base punta conica;
- δ = passo di avanzamento.

Si ricava quindi un coefficiente di correlazione  $N_{SPT}$  pari a:

| Coeff. Corr. $N_{SPT}$ |
|------------------------|
| 1.489 (DPSH)           |

#### **5.2.2.2 Determinazione dei parametri geotecnici**

Una volta eseguita tale trasformazione sono stati stimati i parametri geotecnici di riferimento per gli strati omogenei individuati.

Le correlazioni utilizzate per la stima dei principali parametri sono quelle più adatte al contesto litologico del sito tra le seguenti:



---

### 5.2.2.3 A - Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

#### Correzione $N_{SPT}$ in presenza di falda

$$N_{SPT} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{SPT} - 15).$$

$N_{SPT}$  è il valore medio nello strato.

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

#### Angolo di Attrito

- ✓ Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a profondità < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per profondità < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq).
- ✓ Shioi-Fukuni 1982 (Road Bridge Specification) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (condizioni ottimali per profondità di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- ✓ Shioi-Fukuni 1982 (Japanese National Railway) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- ✓ Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (condizioni ottimali per profondità > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.

#### Modulo di Young ( $E_y$ )

- ✓ Terzaghi, elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- ✓ Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- ✓ Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- ✓ D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- ✓ Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo



sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

**Peso di volume gamma ( $\gamma$ )**

- ✓ Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

**Peso di volume saturo ( $\gamma_{sat}$ )**

- ✓ Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $\gamma = 2,65$  t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 ( $N_{SPT} = 0$ ) a 1,99 ( $N_{SPT} = 95$ ).

**5.2.2.4 B - Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

**Coesione non drenata ( $C_u$ )**

- ✓ Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- ✓ Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  min-max.
- ✓ Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- ✓ Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.





***Modulo edometrico-confinato ( $M_o$ )***

- ✓ Stroud e Butler (1975), per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- ✓ Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali.
- ✓ Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

***Peso di volume gamma ( $\gamma$ )***

- ✓ Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

***Peso di volume saturo ( $\gamma_{sat}$ )***

Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,70$  (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ( $N_{SPT} = 0$ ) a 0,545 ( $N_{SPT} = 28$ ).



### 5.2.3 Atribuzione dei parametri

In prima battuta si è deciso di considerare il caso in cui esista la **compensazione spaziale e/o strutturale** per la definizione dei parametri geotecnici. Nel caso in cui le scelte progettuali definitive (dimensione e profondità di posa delle fondazioni ecc.), non permettano di considerare la compensazione spaziale e/o strutturale, i parametri di seguito elencati andranno rivalutati sulla scorta delle nuove condizioni. Per ciascuno dei livelli riconosciuti si possono considerare i seguenti parametri geotecnici caratteristici, suddivisi per ciascuna prova penetrometrica dinamica eseguita:

Di seguito si riassumono i parametri determinati.

| Livello |                | Peso specifico naturale | Peso specifico saturo | Angolo d'attrito | Coesione drenata   | Coesione non drenata | Modulo edometrico/ elastico |
|---------|----------------|-------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|
|         |                | kg/m <sup>3</sup>       | kg/m <sup>3</sup>     | °                | kg/cm <sup>2</sup> | kg/cm <sup>2</sup>   | kg/cm <sup>2</sup>          |
| COESIVO | A <sup>2</sup> | 1700                    | 1800                  | 23 – 25          | 0.00 – 0.05        | 0.25 – 0.50          | 70 - 120 (Ed)               |
| MISTO   | B              | 1800                    | 1900                  | 27 – 29          | n.c.               | n.c.                 | 300 – 350 (Ed)              |

**Figura 19 – Litologie e principali parametri geotecnici caratteristici**

I parametri geomeccanici assegnati ai livelli litotecnici riconosciuti sono stati ricavati dalle correlazioni geotecniche di letteratura. I valori di ciascun parametro sono stati scelti tra le correlazioni più adatte allo specifico contesto geologico e geotecnico del sito, e parzialmente rivalutati secondo una stima ragionata e cautelativa.

<sup>2</sup> I parametri sono stati valutati considerando la situazione di frana avvenuta, al superamento dei parametri di taglio di picco ( $\phi_r$ ;  $c_r$ ).



## 6 MODELLO GEOLOGICO DEL DISSESTO

### 6.1 Frana

#### 6.1.1 Cause predisponenti e innescanti

Il dissesto si inserisce in un contesto di grande fragilità geologica e geomorfologica, del quale si possono individuare i seguenti elementi principali, che costituiscono, a tutti gli effetti, cause predisponenti il movimento franoso:

1. L'assetto strutturale e geomeccanico del versante, caratterizzato dalle dinamiche di rilascio post – glaciale;
2. le caratteristiche geomeccaniche dei terreni, costituiti da un diamicton a matrice fine di depositi glaciali posto sul substrato roccioso;
3. la presenza di venute d'acqua dovute contatto strutturale tra i due litotipi caratterizzanti il substrato, a differente permeabilità, che genera una risalita d'acqua verso superficie;
4. l'acclività del versante;

Le cause innescanti sono invece da ricercarsi nelle precipitazioni intense e/o prolungate (temporali forti o periodi di piogge abbondanti e prolungate, che hanno il duplice effetto di saturare i terreni e potenziare le emergenze d'acqua).



### 6.1.2 Classificazione del movimento

Stando alla classificazione di Varnes dei movimenti franosi, il dissesto può essere considerato uno scivolamento di detriti (in funzione del meccanismo d'innescio) con movimento traslazionale.

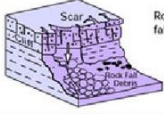
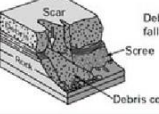
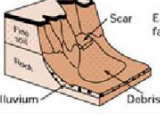

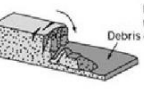
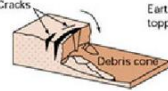
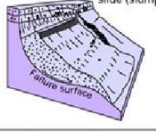
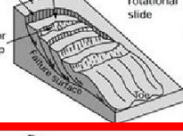
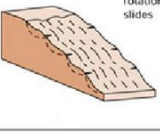
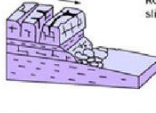
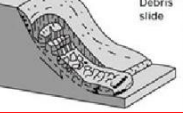
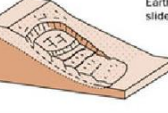
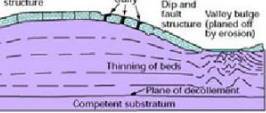

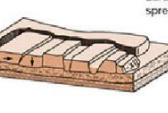
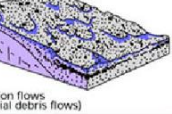
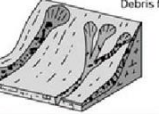
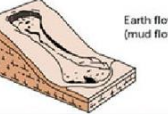
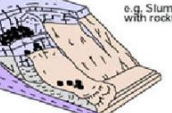

| Material      |                        | ROCK  | DEBRIS  | EARTH   |
|---------------|------------------------|---|---|---|
| Movement type |                        |   |   |   |
| FALLS         |                        |    |    |    |
|               |                        |   |   |   |
| TOPPLES       |                        |    |    |    |
|               |                        |   |   |   |
| SLIDES        | Rotational             |   |   |   |
|               | Translational (Planar) |  |  |  |
| SPREADS       |                        |  |  |  |
|               |                        |   |   |   |
| FLOWS         |                        |  |  |  |
|               |                        |   |   |   |
| COMPLEX       |                        |  |  |   |
|               |                        |   |   |   |

Figura 20 – Classificazione di Varnes dei movimenti franosi



### **6.1.3 Possibile evoluzione**

Le condizioni di criticità della scarpata sono tali da rendere possibile un'evoluzione peggiorativa del dissesto, con possibile arretramento della nicchia e rischio di coinvolgimento delle retrostanti/soprastanti strutture. Infatti, tutte le cause predisponenti (terreni scadenti, circolazione idrica, acclività) permangono immutate dopo la frana, e il fenomeno, in assenza di interventi di messa in sicurezza più tempestivi possibile, potrebbe sicuramente accentuarsi o ripetersi.

Non è possibile, con le conoscenze attuali, prevedere una tempistica di evoluzione: essa dipenderà in larga misura, infatti, dal regime meteorico. Periodi a maggior rischio di dissesto sono, tipicamente, novembre (per via delle precipitazioni di solito abbondanti) e la primavera (per il disgelo).



---

## 7 RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO

### 7.1 Azione sismica

La verifica dell'operatività di una struttura, o infrastruttura, necessita della definizione delle caratteristiche sismiche dell'area e delle possibili accelerazioni che le caratteristiche stratigrafiche e topografiche dell'area possono portare.

A partire dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (DM 14 gennaio 2008) e nell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17 gennaio 2018) il fattore "sismicità" entra direttamente nelle verifiche di Stato Limite come Azione Sismica.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al par. 3.2.2 delle NTC2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_E(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  come definite nel par 3.2.1 delle NTC2018, nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definito nel par 2.4 delle NTC2018. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*_c$  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a



velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

### 7.1.1 Parametri sismici puntuali

Per la definizione dei parametri sismici  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  si è tenuto conto della categoria d'uso I.

Data la tipologia di opera, si è inoltre prevista una vita nominale >50 anni.

Di seguito si riportano i parametri puntuali riferiti all'edificio in progetto.



| Stato Limite                                 | Tr [anni] | $a_g$ [g] | $F_0$ | $T_c^*$ [s] |
|--|-----------|-----------|-------|-------------|
| Operatività (SLO)                            | 30        | 0.032     | 2.468 | 0.198       |
| Danno (SLD)                                  | 35        | 0.034     | 2.483 | 0.203       |
| Salvaguardia vita (SLV)                      | 332       | 0.086     | 2.492 | 0.274       |
| Prevenzione collasso (SLC)                   | 682       | 0.112     | 2.491 | 0.286       |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 35        |           |       |             |

**Figura 21 – Parametri sismici puntuali**

Per lo stato limite di vita (SLV) si definiscono quindi i seguenti parametri sismici:

|         |           |
|---------|-----------|
| Tr      | 332 anni  |
| $A_g$   | 0.086 [g] |
| $F_0$   | 2.492     |
| $T_c^*$ | 0.274 [s] |

### **7.1.2 Stati limite e probabilità di superamento**

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati di esercizio (SLE) comprendono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi (SLU) comprendono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione





conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate di seguito.

| Stati Limite PVR          | PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR |     |
|---------------------------|---|-----|
| Stati limite di esercizio | SLO   | 81% |
|                           | SLD   | 63% |
| Stati limite ultimi       | SLV   | 10% |
|                           | SLC   | 5%  |

**Figura 22 – Tabella delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato**

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di  $P_{VR}$  forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  si ricava il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

### **7.1.3 Categorie di sottosuolo**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel par. 7.11.3 delle NTC2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella che segue, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato



costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo.

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

I parametri vengono così definiti:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella della formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite di seguito:



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

**Figura 23 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato**

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al par. 3.2.3 delle NTC2018.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Vista la stratigrafia presupposta dai sopralluoghi di terreno, la classe di sottosuolo sismico che più si approssima all'area di studio è la E. Tuttavia, a titolo di sicurezza e considerato che non è stata svolta un'analisi sismica di secondo livello nell'area, si consiglia di adottare una **classe di sottosuolo D**.



#### 7.1.4 **Condizioni topografiche**

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica  |
|-----------|---|
| T1        | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$                      |
| T2        | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$  |
| T3        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$                  |

**Figura 24 - Categorie topografiche**

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

L'area di progetto si trova in un contesto con acclività media pari a circa 40/45°, per cui si associa una **classe di amplificazione topografica T2**, associata ad una **fattore di amplificazione  $S_T$  pari a 1.2.**





### 7.1.5 Coefficienti sismici

Per la definizione dei coefficienti sismici per gli stati SLO, SLD, SLV e SLC si è tenuto conto della tipologia per la definizione della Stabilità dei pendii e fondazioni.

La categoria di sottosuolo assunta (par. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) è la D.

La categoria topografica assunta (par. 7.1.4) è la T2.

|                                 | SLO  | SLD  | SLV  | SLC  |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,80 | 1,80 | 1,80 | 1,80 |
| CC Coeff. funz categoria        | 2,81 | 2,78 | 2,39 | 2,34 |
| ST Amplificazione topografica   | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |

**Figura 25 – Fattori di amplificazione definiti per gli stati limite considerati**

L'accelerazione massima attesa al sito è pari a  $0.6 \text{ m/s}^2$

| Coefficienti             | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                       | 0.014 | 0.015 | 0.037 | 0.058 |
| kv                       | 0.007 | 0.007 | 0.019 | 0.029 |
| Amax [m/s <sup>2</sup> ] | 0.676 | 0.722 | 1.821 | 2.365 |
| Beta                     | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.240 |

**Figura 26 – Coefficienti di accelerazione sismica definiti per gli stati limite considerati**



## **7.2 Risposta sismica locale – Componente sismica dei P.G.T. Comunali**

### **7.2.1 Generalità e metodologie di analisi**

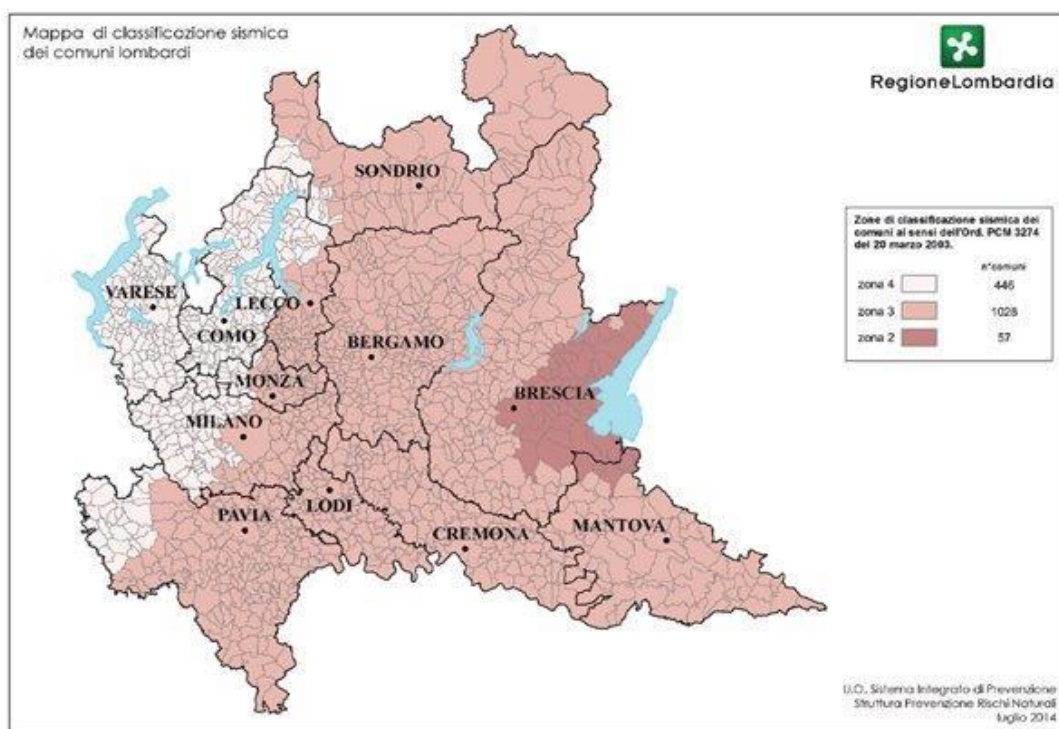
Con l'entrata in vigore, il 23 ottobre 2005, dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (pubblicata sulla G.U. n. 105 del 08-05-2003 Supplemento ordinario n. 72), viene effettuata una suddivisione del territorio nazionale su base sismica e vengono fornite le prime normative tecniche per le costruzioni nelle zone sismiche. La Regione Lombardia ha preso atto della classificazione di tale Ordinanza mediante la d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003.

L'Ordinanza è peraltro entrata in vigore contestualmente al D.M. 14-09-2005 "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 222 del 23-09-2005 Supplemento ordinario n. 159.

Grazie alla nuova Ordinanza, si è passati dalla vecchia classificazione sismica del territorio nazionale (D.M. 5 marzo 1984) alla suddivisione nuova che, per la Lombardia, classifica 41 comuni in zona 2, 238 comuni in zona 3 e 1267 comuni in zona 4.

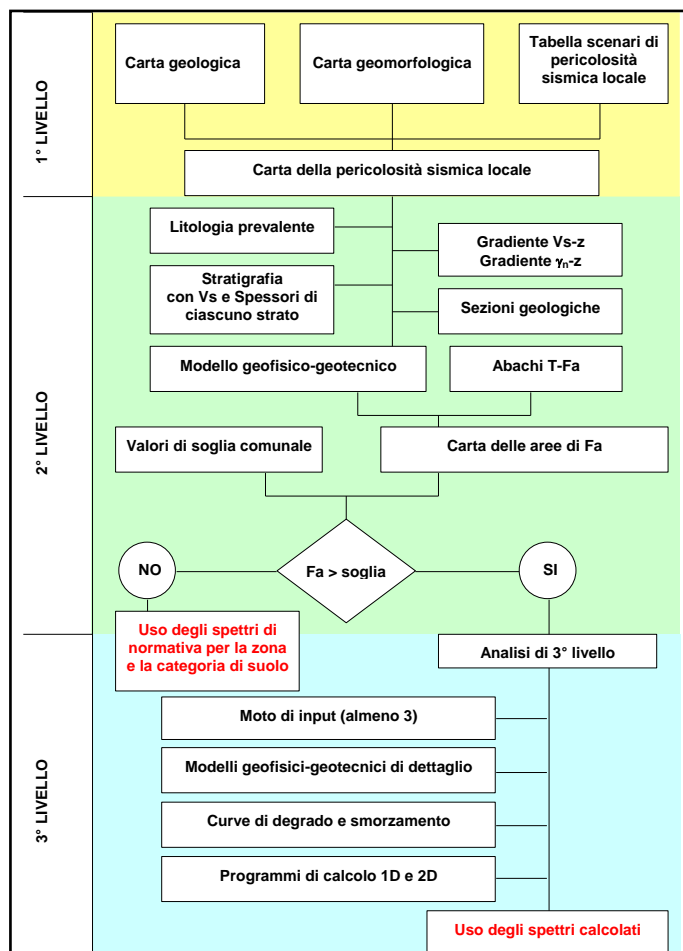
**In tempi più recenti, la classificazione sismica del territorio lombardo è stata oggetto di una nuova revisione in base alla quale il territorio di Costa Volpino è stato riclassificato nella zona sismica 3.**





**Figura 27 - Classificazione sismica secondo D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129 (tutta la bergamasca si trova in zona sismica 3, ivi Costa Volpino)**

Al fine di sviluppare una metodologia di valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento alle nuove normative nazionali, la Regione Lombardia ha predisposto uno studio pilota, elaborato dal Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Strutturale, basato sull'analisi di indagini dirette e prove sperimentali effettuate in aree campione del territorio regionale. Tale metodologia, esaustivamente descritta nell'Allegato 5 dei Criteri attuativi della L.R. 12/2005, prevede studi basati su **tre livelli di approfondimento crescente**.



**Figura 28 - Diagramma dei percorsi di definizione dei tre livelli di approfondimento sismico (Criteri attuativi L.R. 12/05 – Regione Lombardia)**



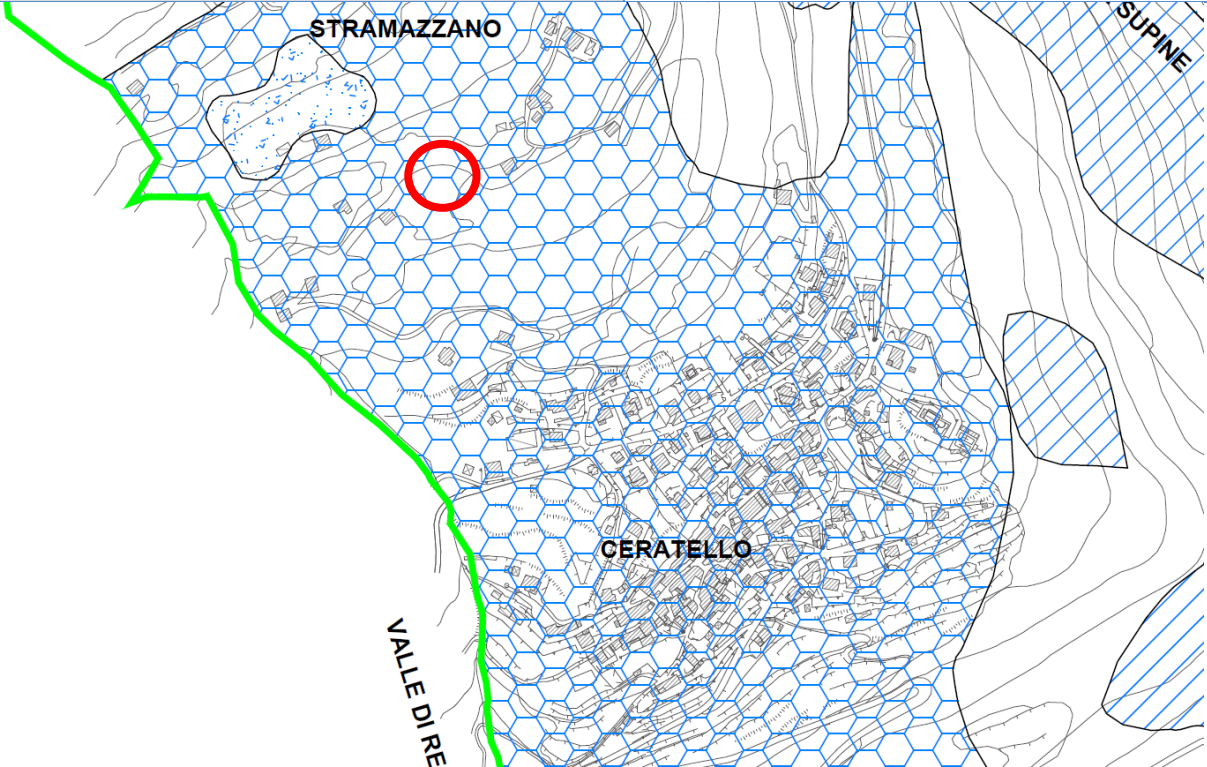
### 7.2.2 1° Livello – carta della PSL

Il **1° livello**, obbligatorio per tutti i comuni, consiste in una zonazione del territorio comunale in aree a diverso grado di pericolosità sismica locale, sulla base degli elementi geologici e geomorfologici presenti, nonché la redazione di una Carta della Pericolosità Sismica Locale contenente tali perimetrazioni.

| <i>Sigla</i> | <i>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>  | <i>EFFETTI</i>                           |
|--------------|---|--|
| Z1a          | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi   | Instabilità                              |
| Z1b          | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti   |  |
| Z1c          | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana  |  |
| Z2a          | Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) | Cedimenti                                |
| Z2b          | Zone con depositi granulari fini saturi   | Liquefazioni                             |
| Z3a          | Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)   | Amplificazioni topografiche              |
| Z3b          | Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate  |  |
| Z4a          | Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi                  | Amplificazioni litologiche e geometriche |
| Z4b          | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre   |  |
| Z4c          | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)                                     |  |
| Z4d          | Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale   |  |
| Z5           | Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse                   | Comportamenti differenziali              |

Figura 29 - Scenari di pericolosità sismica locale



|   |  |
|---|--|
| <b>STRUMENTO</b>  | <b>Carta della Pericolosità Sismica Locale<br/>del P.G.T. comunale</b>   |
| <b>AUTORE</b>   | Studio GEA<br>Maggio 2021  |
| <b>AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ambiti di amplificazione sismica locale</li> </ul>  |
|  |  |
| <b>VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI<br/>COMPLETAMENTE</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Z4c – zona con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)</li> </ul> |

La classificazione sismica di 1° livello inserisce l'area in zona Z4c riferita alla presenza di depositi morenici, per cui si attendono effetti di amplificazione legati al contesto litologico e geometrico.

### **7.2.3 2° livello – Verifica del fattore di amplificazione Fa**

Mediante il 2° livello di approfondimento si individuano quelle aree dove la normativa nazionale non è sufficiente a salvaguardare dagli effetti dell'amplificazione sismica locale, ovvero quelle zone dove il fattore di amplificazione Fa calcolato è superiore al valore Fa di soglia fornito per il comune dal Politecnico di Milano.

In queste aree bisogna procedere con gli approfondimenti di 3° livello, oppure usare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore

In base ai dati ricavati dalle indagini indirette vengono calcolati il valore delle  $V_{s,eq}$  e il periodo proprio ( $T$ ) per ogni colonna stratigrafica analizzata.

Il valore delle  $V_{s,eq}$  viene calcolato utilizzando l'equazione di cui al paragrafo 9.1.3.

Il periodo proprio del sito  $T$  necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità  $V_s$  è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s,i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ove  $h_i$  e  $V_{s,i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato  $i$ -esimo del modello.

Sempre in base ai dati ricavati dalle indagini indirette, viene associata ad ogni ambito di interesse la relativa scheda litologica di valutazione di riferimento, verificandone la validità in base all'andamento dei valori di  $V_s$  con la profondità.

È così possibile calcolare il valore di  $F_a$  per gli intervalli di periodi 0.1 – 0.5 s e 0.5 – 1.5 s, individuando così i valori soglia del fattore di amplificazione in funzione della categoria di suolo e per i due intervalli di periodi.



Tali valori devono essere confrontati con il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia, che rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

| Comune         | intervallo [s] | B   | C   | D   | E   |
|----------------|----------------|-----|-----|-----|-----|
| <b>Costa</b>   | 0.1-0.5        | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 2.0 |
| <b>Volpino</b> | 0.5-1.5        | 1.7 | 2.4 | 4.2 | 3.1 |

**Figura 30 – Tabella di sintesi delle soglie definite per il Comune di Costa Volpino  
(Fonte RL)**

Nessuna delle indagini atte alla verifica di secondo livello per il comune di Costa Volpino è stata eseguita in prossimità dell'area di dissesto, tantomeno presso la frazione Ceratello.

In ogni caso, l'insieme delle indagini ha individuato come la normativa nazionale **non** sia sufficiente al tener conto degli effetti di amplificazione sismica, per cui si prospetta l'utilizzo della categoria di sottosuolo inferiore, vale a dire la D, anche per l'area di intervento.



### **7.3 Adeguatezza del terreno di fondazione**

I problemi riguardanti i terreni di fondazione in rapporto al fenomeno sismico sono la liquefazione e il cedimento; fenomeni che possono determinare pericolosità anche elevata per l'integrità della struttura e per la popolazione.

#### **7.3.1 Liquefazione**

Ai fini delle norme, il termine “liquefazione” denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall’aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l’annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

Non sono presenti le condizioni idrogeologiche e geologiche affinché si verifichi tale fenomeno.

#### **7.3.2 Cedimenti sismici**

Ai fini delle norme, il termine “cedimento sismico” denota un addensamento di sabbie sciolte in condizioni sia sature che sottosature. Non sono presenti le condizioni geologico – stratigrafiche necessarie al verificarsi di tale fenomeno.





## 8 CONCLUSIONI

Gli scriventi sono stati chiamati dall'Amministrazione Comunale di Costa Volpino al fine di redigere il progetto di sistemazione del versante coinvolto da dissesto presso la località Stramazzano in frazione Ceratello di Costa Volpino (BG).

L'intervento consiste nella progettazione definitiva/esecutiva degli interventi di ripristino della viabilità comunale in seguito all'evento franoso avvenuto nel 2018, in località Stramazzano nella frazione di Ceratello nel comune di Costa Volpino.

Il presente progetto è un **secondo stralcio** degli interventi realizzati nel 2019, progettato dagli scriventi, e riguarda il ripristino di un bene di pubblica utilità (viabilità) e del danno causato dall'evento franoso.

Lo studio ha permesso di definire i caratteri territoriali del sito sia in riferimento al contesto generale sia in riferimento all'evento specifico. Gli studi effettuati sono stati sviluppati comprendendo l'esecuzione di sopralluoghi specifici in sito, il rilievo topografico mediante tecnologia SAPR e GNSS e la ricerca bibliografica e cartografica dei caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici.

Da tale analisi è stato possibile ricostruire il modello topografico e su di esso quello geologico e geomorfologico dell'area, in modo tale da poter sviluppare le specifiche opere di stabilizzazione.

In particolare, l'area si inserisce in un contesto di versante interessato da elementi strutturali e dal rilascio post – glaciale; il modello stratigrafico ipotizzato prevede un primo livello in diamicton glaciale medio – fine posto al di sopra del substrato roccioso. La presenza di un contatto strutturale tra litotipi a differente permeabilità poco a monte dell'area di dissesto genera delle risalite delle acque presenti all'interno della Formazione di Castro, che si manifesta in varie sorgenti lungo tutto il versante.



Le cause della frana vanno ricercate nell'assetto stratigrafico (depositi medio – fino disorganizzati posti al di sopra di un versante inclinato) ed idrogeologico (presenza di sorgenti e risorgive) in un contesto di versante comunque destrutturato e disorganizzato.

Le acque provenienti in risalita dal substrato hanno con ogni probabilità creato dei circuiti preferenziali all'interno del deposito glaciale fino alla perdita delle proprietà di resistenza al taglio ed il conseguente franamento. Le proposte di messa in sicurezza (che verranno debitamente descritte nella relazione e nelle tavole specifiche facenti parte del presente studio), pertanto, oltre che volte alla stabilizzazione del corpo di frana, dovranno prevedere anche il drenaggio delle acque presenti nei depositi.

Dal punto di vista sismico, il comune di Costa Volpino è posto in classe sismica 3; il sito di indagine è posto in classe di pericolosità sismica locale Z4c. La classe di sottosuolo assegnata è la D, visti anche i risultati dell'analisi di II livello, la classe topografica è la T2, data l'elevata pendenza del versante (40/45°).

