

# VARIAZIONI PUNTUALI DELLO STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

(ai sensi dell'art. 57 comma 1 della L.R. 12/2005  
DGR N. VIII/1566 del 22.12.2005 – DGR N. VIII/7374 del 28.05.2008)

## STUDIO DI DETTAGLIO PER LA VALUTAZIONE E LA ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO DI FRANA (Località Monteveroso, Beria di sopra, Casa del Conte, Roncole)

### RELAZIONE ILLUSTRATIVA

#### INDICE

1 - Premessa, finalità e strutturazione del lavoro .....	pag. 2
1.1 - Riferimenti normativi .....	pag. 2
1.2 - Oggetto, metodo e finalità dell'analisi .....	pag. 2
1.3 - Elaborati cartografici realizzati .....	pag. 3
1.4 - Documentazione, dati e metadati di base utilizzati .....	pag. 3
1.5 - Strutturazione dello studio .....	pag. 5
2 - Inquadramento geologico-strutturale, idrogeologico e geomorfologico .....	pag. 5
3 - Criteri utilizzati per la perimetrazione da frana .....	pag. 17
3.1 - Individuazione delle aree omogenee .....	pag. 17
3.2 - Valutazione della pericolosità preliminare .....	pag. 19
3.2.1 - Aree in frana .....	pag. 19
3.2.2 - Aree non in frana .....	pag. 20
3.3 - Valutazione della pericolosità finale .....	pag. 24
3.4 - Valutazione della fattibilità geologica .....	pag. 25

## **1 - PREMESSA, FINALITÀ E STRUTTURAZIONE DEL LAVORO**

### **1.1 - Riferimenti normativi**

La presente analisi, costituisce l'approfondimento propedeutico alla proposta di ripermetrazione di aree di dissesto (già perimetrare in precedenti studi comunali) secondo quanto previsto dalle "procedure di dettaglio per la valutazione e la zonazione della pericolosità del rischio da frana" previste dall'Allegato 2 - Parte II dei criteri attuativi della L.R. 12/05 per il governo del territorio.

Tale procedura è stata sviluppata a circa due anni dalla definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica a supporto del Piano di Governo del Territorio dell'Unione di Comuni "Prima Collina".

### **1.2 - Oggetto, metodo e finalità dell'analisi**

Il Territorio dell'Unione ricomprende i Comuni di Castana, Montescano e Canneto Pavese. Le aree in esame si sviluppano all'interno dei confini di quest'ultimo.

Per la precisione i siti risultano collocati in corrispondenza del settore centro-settentrionale e occidentale del Comune di Canneto Pavese, in Località Monteveneroso, Beria di sopra, Casa del Conte e Roncole, a quote variabili tra i 110,00 m s.l.m. e i 290,00 m s.l.m.

La valutazione della pericolosità da frana di queste specifiche aree e la conseguente proposta di riclassificazione secondo la procedura anticipata in premessa è avvenuta alla luce di indagini geognostiche e rilievi che hanno consentito l'acquisizione di informazioni aggiornate sull'estensione dei dissesti (in relazione al loro stato di attività) e sulla stabilità dei tratti di versante non ricompresi all'interno dei corpi di frana (in relazione alle loro caratteristiche litologiche, alla loro acclività e allo stato delle coltri di alterazione presenti).

Le indagini di cui sopra sono consistite nella esecuzione di nove (9) prove penetrometriche dinamiche, nella realizzazione di diciassette (17) trincee geognostiche esplorative e nell'acquisizione dei dati di altre quattordici (14) prove penetrometriche dinamiche, di otto (8) prove penetrometriche statiche e di quattro (4) trincee geognostiche, realizzate in precedenza.

Si è inoltre provveduto alla misurazione freaticometrica di pozzi disposti nelle immediate vicinanze delle aree di interesse, nella esecuzione di rilievi di dettaglio nei settori salienti di ciascuna delle stesse e nella valutazione dello stato delle infrastrutture di collegamento.

Le indagini dirette sono avvenute contestualmente ad un approfondimento delle caratteristiche morfologiche delle singole aree mediante valutazioni indirette, desunte da analisi fotointerpretativa e topografica.

I dati acquisiti con le valutazioni dirette e indirette hanno consentito l'esecuzione di venticinque (25) verifiche di stabilità, lungo direttrici significative, in settori omogenei dei versanti collocati ai margini esterni dei corpi di frana, che hanno permesso di determinare specifici fattori di sicurezza (Fs) del pendio.

### **1.3 - Elaborati cartografici realizzati**

La raffigurazione dell'assetto geolitologico, strutturale e geomorfologico delle aree in oggetto, la rappresentazione dell'ubicazione degli elementi salienti e la configurazione delle considerazioni desunte, sono avvenute per mezzo dei seguenti elaborati cartografici:

- A0 - Corografia (scala 1:10.000)
- A1 - Carta di inquadramento geologico-strutturale (in scala 1:2.000)
- A2 - Carta dei dissesti con elementi morfologici (in scala 1:2.000)
- A3 - Carta delle indagini e degli interventi eseguiti (in scala 1:2.000)
- A4 - Carta dell'acclività (in scala 1:2.000)
- A5 - Carta delle aree omogenee e delle aree in frana ( in scala 1:2.000)
- A6 - Verifiche di stabilità
- A7 - Carta della pericolosità preliminare (in scala 1:2.000)
- A8 - Carta della pericolosità finale (in scala 1:2.000)

### **1.4 - Documentazione, dati e metadati di base utilizzati**

L'analisi è stata condotta facendo riferimento alla documentazione così sintetizzabile:

- Piano di Governo del Territorio dell'Unione di Comuni "Prima Collina" redatto nel 2007 a cura degli scriventi.
- Criteri attuativi per la L.R. 12/05 per il governo del territorio- Componente geologica idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio- Regione Lombardia 2006
- Carta dei movimenti franosi dell'Oltrepò Pavese – 15 tavole della C.T.R. a scala 1:10.000 della zona dell'Oltrepò Pavese) Regione Lombardia 1998
- Scenari di rischio idrogeologico in condizioni dinamiche per alcuni versanti tipo dell'Oltrepò Pavese valutati tramite caratterizzazione geotecnica . Regione Lombardia 1999
- Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in regione Lombardia – Regione Lombardia 2000

- Progetto Speciale Oltrepò - Proposta di piano di riassetto globale del territorio, ai sensi dell'art. 2 della L.R. N59/78. Acquater 1986
- Dati di riferimento contenuti nel Sistema Informativo Territoriale
- “Carta delle unità idrogeologiche con indicazioni litologico-strutturali” - scala 1:100.000 - in “Idrogeologia e insediamenti a rischio ambientale/Il caso della pianura dell'Oltrepo pavese e del relativo margine collinare” - Fondazione Lombardia per l'Ambiente - Cavanna, Marchetti e Vercesi (1998)
- Pubblicazioni e tesi di laurea inedite reperite presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Pavia
- “Esame preliminare delle condizioni pluviometriche dell'Oltrepò Pavese e dei valori critici delle precipitazioni in relazione ai fenomeni di dissesto franoso” estratto da “Geologia Applicata e Idrogeologia”, vol. XIV - Parte III - Ottone e Rossetti (1979)
- “I fenomeni franosi nell'Oltrepò pavese: tipologia e cause” estratto da “Geologia Applicata e Idrogeologia”, vol. XX - Parte II - Braga et alii (1985)
- Osservatorio meteorologico di Brera-Duomo - Raccolta di dati climatologici inerenti il territorio della Provincia di Pavia - Ghezzi (1990)
- Ersal (Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia - 2001) - Progetto “Carta Pedologica” - “I suoli dell'Oltrepò Pavese”
- dati di riferimento contenuti nel Sistema Informativo Territoriale
- Cavanna, Marchetti e Vercesi (1998) - “Carta degli elementi geomorfologici” - scala 1: 100.000 - in “Idrogeologia e insediamenti a rischio ambientale/Il caso della pianura dell'Oltrepo pavese e del relativo margine collinare” - Fondazione Lombardia per l'Ambiente
- Carta inventario del dissesto
- Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia – Progetto I.F.F.I.- Metadati e schede illustrative
- Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 – Foglio n. 59

Le basi cartografiche di riferimento per l'elaborazione dei dati sono consistite in:

- C.T.R. regione Lombardia 1994 scala 1:10.000 – sezione B8c2 – Broni
- Cartografia 1:5.000 e 1:2.000 del territorio della Comunità collinare da restituzione fotografica (aerofogrammetrico)

Le fotografie aeree utilizzate sono consistite in:

- Fotografie aeree a colori in scala 1:20.000 - 1980
- Fotografie aeree in B/N in scala 1:25.000 - 1994
- Fotografie aeree a colori in scala 1:15.000 - 2003
- Fotografie aeree a colori in scala 1:10.000 - 2005
- Fotografie aeree a colori in scala 1:10.000 - 2007
- Fotografie aeree a colori in scala 1: 1.000 - aprile / maggio 2009

## 1.5 - Strutturazione dello studio

Lo studio che segue è stato articolato con la preliminare valutazione puntuale delle caratteristiche geolitologiche, strutturali, geomorfologiche e idrogeologiche delle aree in studio (**area 1-2-3-4**), con illustrazione dei dati salienti raccolti. Successivamente si è provveduto ad effettuare una caratterizzazione di dettaglio dei corpi di frana presenti nelle aree investigate e oggetto di ripermimetrazione.

In seguito all'illustrazione di tali caratteristiche, è stato sviluppato un capitolo destinato ad evidenziare i criteri seguiti per la perimetrazione da frana nell'area in oggetto.

## 2 - Inquadramento geologico-strutturale, idrogeologico e geomorfologico

Nel presente paragrafo vengono descritte le peculiarità litologiche e strutturali delle unità formazionali che caratterizzano le quattro aree oggetto di analisi (v. elaborato A0 "Corografia" ed elaborato A1 "Carta di inquadramento geologico-strutturale").

L'**area 1**, corrispondente alla *Loc. Monteveroso*, risulta contraddistinta dalla presenza di una sola Formazione litologica, che peraltro si presenta solo raramente affiorante vista la diffusa presenza di coperture detritiche eluvio-colluviali. Essa è rappresentata dalle Marne di S. Agata Fossili (*Tortoniano*), le quali rientrano nell'ambito della successione Epiligure, vale a dire nell'insieme di quelle Formazioni che si sono deposte, in discontinuità angolare, al di sopra delle coltri liguri successivamente alla fase orogenetica dell'Eocene medio-superiore (fase ligure), in continuità sedimentaria più o meno regolare.

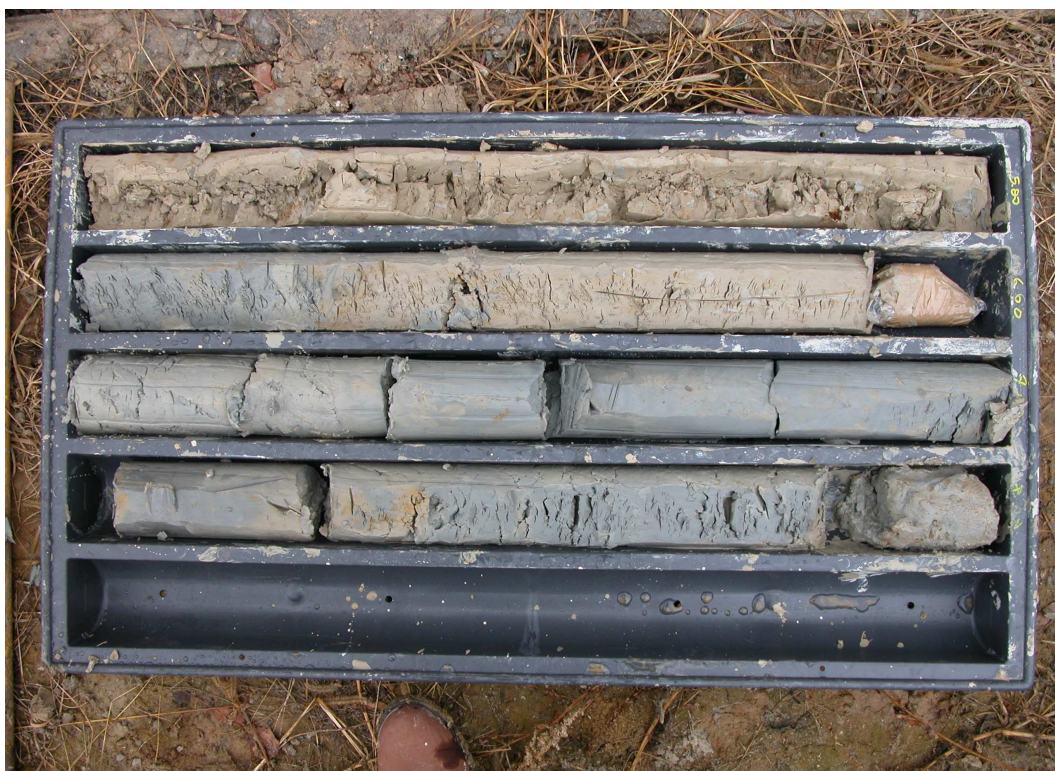
Nella sequenza stratigrafica, le Marne di S. Agata Fossili si sviluppano "al tetto" delle Arenarie di Serravalle (*Serravalliano*) e "al letto" della Formazione Gessoso-solfifera (*Messiniano inf.*)

Esse si presentano con un colore grigio-azzurro (v. *Foto 1*), molto spesso sabbiose, e presentano intercalazioni sabbioso-arenacee verso il basso, passanti verso l'alto a marne argillose. Rappresentano il prodotto principale della fase deposizionale marina tortoniana, con sedimentazione a prevalente carattere terrigeno, avvenuta in ambiente di piattaforma prossimale (bacino interno continentale). La macrofauna è rappresentata da prevalenti lamellibranchi, gasteropodi e coralli-isolati. La formazione poggia in continuità stratigrafica sulle sottostanti Arenarie di Serravalle e presenta una composizione prevalentemente pelitica a permeabilità nulla o molto bassa per fessurazione e/o porosità.

L'analisi delle caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi ha consentito di classificare le Marne di S. Agata Fossili (in riferimento al loro grado di coerenza e di compattezza, nonché al diverso comportamento idrogeologico) tra le rocce pseudocoerenti omogenee, vale a dire tra le rocce compatte, pseudocoerenti e impermeabili, porose e gelive che tendono a divenire plastiche nelle porzioni superficiali qualora siano impregnate d'acqua, risultando pertanto soggette a smottamenti generalmente superficiali. Mostrano, in genere, erodibilità elevata e conseguente ridotto sviluppo del suolo.

L'assetto strutturale della Formazione, seppur scarsamente identificabile a causa dell'assenza di significativi affioramenti, evidenzia una giacitura prevalente verso nord-est con immersione degli strati di 15-20°.

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, come già premesso il grado di permeabilità primaria e secondaria delle marne di S. Agata Fossili risulta molto basso o nullo collocandosi in un intervallo di  $10^{-4} \div 10^{-8}$  cm/s. La capacità di immagazzinamento idrico risulta quindi, quasi esclusivamente interessare il Cappellaccio di alterazione, presente a contatto con la coltre di copertura eluvio-colluviale.



*(Foto 1) Transizione tra “Cappellaccio di alterazione e orizzonte compatto nelle Marne di S. Agata Fossili – foto di repertorio da PGT.*

Quest'ultima, in particolar modo, riveste un ruolo molto importante per l'analisi particolareggiata della stabilità del settore in oggetto. La coltre di copertura eluvio-colluviale derivante, in parte, dai processi pedogenetici che hanno interessato il substrato marnoso e in parte dal trasporto delle acque di ruscellamento superficiale presenta una composizione di natura argillo-sabbiosa e nell'area 1 in studio (esternamente alle aree in frana) raggiunge spessori variabili da 1,50 m a 3,50 m dal p.c..

Le indagini geognostiche realizzate in sito (v. elaborato A3 e diagrammi di prova allegati) evidenziano uno spessore progressivamente crescente della copertura dal crinale verso il fondovalle. Nel settore nord-occidentale (in direzione del crinale) la coltre varia da 1,80 m (v. *SCPT 1- pregressa*) a 3,00 m (v. *TR2 - realizzata*) di profondità dal p.c.. Nel settore centro-occidentale da 1,50 m (v. *SCPT2 - pregressa*) a 1,70 m (v. *SCPT3 - pregressa*) dal p.c.. Infine nel settore meridionale (verso il fondovalle) si attesta a 3,50 m (vedi *TR4 e TR5 - realizzate*) dal p.c..

L'**area 2**, corrispondente alla *Loc. Beria di sopra*, risulta contraddistinta dal limite tra le descritte Marne di S. Agata Fossili (*Tortoniano*) e i Conglomerati di Cassano Spinola (*Messiniano sup.*). L'assetto strutturale delle due Formazioni, caratterizzate anche in tale area da scarsi affioramenti, evidenzia una giacitura prevalente verso sud con immersione degli strati di circa 20°.

I Conglomerati di Cassano Spinola consistono in conglomerati e arenarie, nei quali si osserva la presenza di lenti ed intercalazioni marnoso-sabbiose, ricche di macrofossili. Essi si sviluppano in lieve discordanza con la sottostante Formazione Gessoso-solfifera.

Nella formazione prevalgono i conglomerati per lo più grossolani, poligenici, a ciottoli arrotondati, con prevalenza di elementi calcarei, calcareo-marnosi ed arenacei, non ben cementati. Le arenarie sono presenti in lenti discontinue, in quantità subordinata rispetto ai sedimenti clastici grossolani, a cui talora si intercalano le sabbie. Si tratta di rocce poco compatte e non ben cementate, relativamente erodibili.

Tale formazione presenta un certo grado di permeabilità primaria in corrispondenza degli orizzonti poco cementati e una limitata permeabilità secondaria in corrispondenza delle zone in cui il grado di cementazione tende ad aumentare dando origine a modeste circolazioni idriche per fessurazione. Nel complesso i valore di K si collocano in un intervallo compreso tra  $10^{-2} \div 10^{-4}$  cm/s.

In questa stessa area, la coltre di copertura eluvio-colluviale che ricopre il substrato, raggiunge spessori (esternamente alle aree in frana) variabili da 1,50 m a 3,20 m dal p.c..

Le indagini geognostiche realizzate in sito (v. elaborato A3 e diagrammi di prova allegati) evidenziano spessori della copertura complessivamente omogenei (nel tratto di versante indagato). Nel settore centro-occidentale la coltre varia da 1,50 m (v. *TR8 - realizzata*) a 2,10 m (v. *CPT5 - pregressa*) di profondità dal p.c.. Nel settore settentrionale da 1,70 m (v. *TR6 - realizzata*) a 3,20 m (v. *CPT1 -*



*pregressa*) dal p.c.. Infine nel settore orientale (in prossimità dell'abitato di Beria) si attesta tra 1,60 m (v. *SCPT 4 - pregressa*) a 2,00 m (v. *TR10 - realizzata*) dal p.c..

Nella stessa area 2 indagata, il fondovalle inciso dal T. Versa risulta interessato da depositi alluvionali (che sovrastano il substrato) riconducibili in parte alle Alluvioni würmiane e postwürmiane (*Pleistocene sup. - Olocene*) e in parte (nei settori relitti più prossimi alla base del versante) alle Alluvioni prewürmiane (*Pleistocene inf. - medio*). Le prime corrispondono alle alluvioni attuali dell'alveo attivo del Torrente Versa e alle alluvioni post-glaciali (depositi incoerenti eterogenei costituiti da argille e limi prevalenti, limi sabbiosi, sabbie poco alterate, localmente ghiaie e ciottoli alterati). Le seconde corrispondono alle alluvioni ghiaiose alterate, sabbiose, argillose, ricoperte da limo argilloso ferrettizzato di colore bruno-rossastro.

L'**area 3**, corrispondente alla *Loc. Casa del Conte*, risulta caratterizzata dalla sola presenza dei Conglomerati di Cassano Spinola (*Messiniano sup.*). L'assetto strutturale della Formazione, evidenzia una giacitura prevalente verso sud-est con immersione degli strati di circa 15°.

Anche in tale contesto la Formazione risponde ai caratteri litologici, litotecnici e idrogeologici già evidenziati per *Loc. Beria* (area 2).

Nell'area 3 la coltre di copertura eluvio-colluviale che ricopre il substrato, raggiunge spessori (esternamente alle aree in frana) variabili da 1,80 m a 2,80 m dal p.c..

Le indagini geognostiche realizzate in sito (v. elaborato A3 e diagrammi di prova allegati) evidenziano, così come in *Loc. Monteveroso* (area 1), spessori della copertura progressivamente crescenti dal crinale verso il fondovalle, nel tratto di versante indagato. Nel settore centro-meridionale (in prossimità del crinale antropizzato) la coltre varia da 0,80 m (v. *SCPT5 - realizzata e SCPT8- pregressa*) a 1,40 m (v. *SCPT7 - pregressa*) di profondità dal p.c.. Nel settore centro-orientale (verso il fondovalle) da 1,60 m (v. *TR13 - realizzata*) a 2,80 m (v. *SCPT1 -realizzata*) dal p.c..

L'**area 4**, corrispondente alla *Loc. Roncole*, così come per *Loc. Monteveroso* risulta contraddistinta dalla presenza della descritta Formazione litologica rappresentata dalle Marne di S. Agata Fossili (*Tortoniano*), in prossimità del contatto tettonico (faglia inversa incerta) con la Formazione Gessoso-solfifera (*Messiniano inf.*).

Quest'ultima risulta costituita da argille, siltiti, arenarie fini straterellate, marne gessifere a fauna oligotipica, con lenti di gesso, a cui si associano localmente calcari cariati. Si tratta di rocce compatte, pseudocoerenti, porose e gelive che in presenza di acqua tendono a divenire plastiche nelle porzioni superficiali assecondando l'attivazione di fenomeni gravitativi generalmente superficiali. Mostrano, in



genere, erodibilità elevata e conseguente ridotto sviluppo del suolo. Dal punto di vista idrogeologico si tratta di una formazione a permeabilità primaria scarsa o nulla. La permeabilità secondaria, per fessurazione, risulta assai ridotta, ma può subire localmente incrementi in corrispondenza di fenomeni di carsismo (depositi gessosi e calcari cariati). L'assetto strutturale della Formazione evidenzia una giacitura prevalente verso nord-est con immersione degli strati di 10°.

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, il grado di permeabilità primaria e secondaria di quest'ultima formazione risulta essere molto basso o nullo, collocandosi in un intervallo di  $10^{-4} \div 10^{-8}$  cm/s. La capacità di immagazzinamento idrico risulta quindi, quasi esclusivamente interessare il Cappellaccio di alterazione, presente a contatto con la coltre di copertura eluvio-colluviale.

L'area del fondovalle inciso dal T. Versa risulta interessata dai depositi alluvionali, già descritti per Loc. Beria, riconducibili in parte alle Alluvioni würmiane e postwürmiane (*Pleistocene sup. - Olocene*) e in parte (nei settori relitti più prossimali alla base del versante) alle Alluvioni prewürmiane (*Pleistocene inf. - medio*).

L'analisi particolareggiata del settore di versante oggetto di diretto interesse ha evidenziato una coltre di copertura eluvio-colluviale con spessori variabili da 0,70 m a 1,80 m dal p.c.. Il settore sub-pianeggiante interessato dai depositi alluvionali ha invece evidenziato una profondità del substrato variabile da 2,5 m a 4,5 m dal p.c..

Le indagini geognostiche realizzate in sito (v. elaborato A3 e diagrammi di prova allegati) evidenziano uno spessore progressivamente crescente dal versante più acclive verso il fondovalle. Nel settore centro-occidentale la coltre varia da 0,70 m (v. TR16 - *realizzata*) a 1,20 m (v. SCPT9 - *realizzata*) di profondità dal p.c.. Nel settore centro-orientale da 1,00 m (v. TR15 - *realizzata*) a 4,50 m (v. CPT8 - *pregressa*) dal p.c..

In tutte e quattro le aree considerate, le coperture detritico terrose presenti evidenziano valori di permeabilità compresi in un intervallo di  $10^{-3} \div 10^{-4}$  cm/s. Come già specificato, tale caratteristica conferisce loro una discreta capacità di immagazzinamento idrico, soprattutto in considerazione della presenza del sottostante substrato impermeabile. Ciò si traduce, comunque, nella configurazione di una modesta falda a carattere fortemente discontinuo, con direttrici di deflusso corrispondenti a quelle della rete idrografica superficiale.

L'analisi condotta in corrispondenza di alcuni pozzi ubicati lungo i crinali delle aree in studio, ha consentito di acquisire valori freaticometrici sulla base dei quali è risultato possibile approfondire il comportamento di questa tipologia di circolazioni idriche sotterranee e la loro influenza sulla stabilità del contesto territoriale circostante. Da questi ultimi dati è risultato possibile notare come all'interno

dell'orizzonte detritico e argilloso della coltre permanga costantemente una significativa circolazione idrica, peraltro ben testimoniata dall'elevato numero di pozzi presenti (ma poco sfruttati) nel territorio della Comunità collinare.

Queste stesse circolazioni, in presenza di condizioni di acclività sfavorevoli dei versanti e di elevati carichi della coltre di copertura, costituiscono in genere la principale causa di attivazione o riattivazione dei dissesti.

Nello specifico, per ciò che concerne le caratteristiche geomorfologiche, l'analisi condotta mediante la visione di riprese aeree a diversa scala e attraverso rilievi puntuali in loco ha consentito di definire con una certa precisione i caratteri dei dissesti presenti nelle aree investigate.

Gli stessi dissesti sono stati successivamente classificati, utilizzando un codice alfanumerico, riconducibile alla tipologia di movimento, allo stato di attività e al tipo di materiali coinvolti. Le risultanze della classificazione sono state confrontate con gli inventari dei dissesti realizzati dai settori specializzati appartenenti a diversi enti pubblici (Regione Lombardia, Provincia di Pavia, ecc) e con gli elaborati cartografici del PGT dell'Unione di Comuni "Prima Collina".

Oltre alle indagini puntuali e al loro raffronto con i dati storici, si sono poste a confronto le riprese fotogrammetriche delle aree di interesse acquisite negli ultimi quindici anni, rispetto alle riprese fotogrammetriche delle medesime aree, acquisite immediatamente dopo il grave episodio alluvionale dello scorso aprile 2009. Queste ultime, sono state commissionate dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli studi di Pavia, nel periodo immediatamente successivo all'attivazione del fenomeno e sono state messe a disposizione dell'"Unione dei Comuni" (per la sola visione) per la redazione del presente studio.

A ciascuna delle quattro frane quiescenti, presenti nelle quattro aree sopradescritte è stato conferito il seguente codice alfanumerico:

**nell'area 1 la frana 01\_Sr-St\_qt**

**nell'area 2 la frana 02\_Sr-St\_qt**

**nell'area 3 la frana 03\_Sr-St\_qt**

**nell'area 4 la frana 04\_Sr-St\_qt**

La tipologia dei corpi di frana è rappresentata da scorrimenti traslativi con componenti rotazionali, caratterizzati da piani di scorrimento tendenzialmente superficiali (max 2-4 m), corrispondenti al contatto tra la coltre eluvio-colluviale e il cappellaccio di alterazione del substrato. Nello specifico:

La frana **01\_Sr-St\_qt** (v. elaborati A2 e A9) evidenzia (nel settore occidentale compreso tra la sede stradale e l'abitato in corrispondenza del crinale) una condizione di drenaggio superficiale molto buona, in quanto caratterizzata dalla presenza di una rete di fossi di scolo interdoderali e da un fosso di

controripa stradale che hanno favorito e favoriscono la rapida delocalizzazione delle acque di ruscellamento e scorrimento superficiale. L'analisi di fotografie aeree, riprese in diversi periodi degli ultimi quindici anni (v. elaborato A9), consente di escludere l'attivazione e la sussistenza di movimenti su larga scala del dissesto. L'analisi particolareggiata di tale settore di frana, ha consentito di determinare come lo sviluppo rettilineo dei filari dei vigneti (di vecchi impianti), l'assenza di dislocazioni dei terrazzamenti antropici interpoderali, l'assenza di depressioni, crepacciature longitudinali e trasversali, testimoniano in modo chiaro l'assenza di movimenti, anche su piccola scala, negli ultimi 10 anni. La realizzazione di una prova penetrometrica dinamica (v. SCPT 3, *realizzata*) lungo il margine di monte della strada predetta (v. elaborati A3 e A6), ha permesso di determinare la presenza di un limitato spessore della coltre di copertura e la presenza del substrato compatto a 1,80 m di profondità dal p.c.. L'assenza di lesioni e cedimenti alla stessa sede stradale (v. foto 2), avvalorata le descritte condizioni di stabilità, di questo settore del dissesto.



*Foto 2: La sede stradale, trasversale al corpo di frana, priva di lesioni.*

Il settore centrale e orientale del corpo di frana (ricompreso tra la sede stradale e il fondovalle) risulta interessato dalla testata di un asse drenante, nella sua porzione più distale dalla sua foce, nel T. Versa. L'azione centripeta delle acque di ruscellamento in quest'area non è corrisposta da una efficientissima rete di drenaggio, peraltro ben testimoniata da almeno tre aree di possibile ristagno, in corrispondenza

del canale di scorrimento e dell'accumulo del corpo di frana. Piccole variazioni dell'andamento dei filari e fenomeni di limitata decorticazione superficiale, riscontrati dalle riprese aeree storiche, evidenziano possibili movimenti o potenziali processi di riattivazione di questa porzione di frana (v. elaborati A2 e A9). La realizzazione di una prova penetrometrica dinamica (v. SCPT 2, *realizzata*) in corrispondenza del canale di scorrimento del corpo di frana (v. elaborato A6), ha permesso di constatare uno spessore della copertura eluvio-colluviale di 3,40 m ed ha quindi indotto ad individuare nella sua corrispondente elevata capacità di raccolta idrica un fattore predisponente l'attivazione di processi di mobilitazione. A differenza di tale condizione, l'individuazione di una limitata copertura di 2,20 m, rilevata mediante la realizzazione di una trincea geognostica esplorativa (v. TR3, *realizzata*) eseguita in corrispondenza di una strada poderale prossima agli insediamenti abitativi di Monteveneroso (v. elaborati A3 e A6) e la presenza di un assetto vegetazionale, attecchito da almeno una decina d'anni, hanno permesso di ascrivere quest'ultima porzione del corpo di frana, tra quelle ritenute stabili.

La frana **02\_Sr-St\_qt** (v. elaborati A2 e A9) evidenzia la presenza di una rete di drenaggio superficiale, costituita da fossi di scolo interpoderali caratterizzati da un buono stato manutentivo. In particolar modo, questi ultimi si sviluppano lungo due direttrici principali, laterali al dissesto, e ad essi risultano collegati almeno altri sei fossi che lo attraversano trasversalmente, garantendo una buona regimazione delle acque di scorrimento superficiale. L'analisi delle riprese aeree, delle serie storiche degli ultimi quindici anni (v. elaborato A9), consente di escludere l'attivazione e la sussistenza di movimenti su larga scala del corpo di frana. L'analisi particolareggiata, ha permesso di constatare una destinazione agricola, in parte a prato e in parte a vigneto, nel settore di nicchia, e una destinazione, in parte a frutteto e in parte a bosco incolto, nel settore di scorrimento e di accumulo. Le piante del frutteto e del bosco evidenziano un'età di almeno 15 anni e non risultano caratterizzate da inclinazioni anomale (v. *foto 3*).





*Foto 3: La destinazione agricola delle aree in frana.*

L'edificio rurale presente a valle della strada di collegamento (ubicato nel settore centrale della frana) è stato riattato circa 20 anni fa e destinato ad uso residenziale. Esso si presenta perfettamente integro e non interessato da alcuna lesione (v. *foto 4*).



*Foto 4: L'edificio perfettamente integro collocato al centro del corpo di frana interessato.*

L'analisi della superficie del suolo, all'interno del corpo di frana, ha consentito di constatare l'assenza di dislocazioni dei terrazzamenti antropici interpoderali, l'assenza di depressioni, crepacciature longitudinali e trasversali. L'insieme di tali riscontri, testimoniano in modo chiaro l'assenza di movimenti, anche su piccola scala, negli ultimi 10 anni. La realizzazione di una prova penetrometrica dinamica (v. SCPT 4, *realizzata*) all'interno delle pertinenze dell'edificio predetto (v. elaborati A3 e A6), ha permesso di determinare la presenza di un limitato spessore della coltre di copertura e la presenza del substrato compatto a 2,00 m di profondità dal p.c.. L'assenza di lesioni e cedimenti alla sede stradale, avvalorata le descritte condizioni di stabilità del dissesto.

La frana **03\_Sr-St\_qt** (v. elaborati A2 e A9) evidenzia buone condizioni di drenaggio nel suo settore occidentale (verso la nicchia), in corrispondenza dell'area ricompresa tra la sede stradale e l'abitato di Colombara, in prossimità del crinale. Qui un fosso di scolo, integrato ad una strada interpoderale, costituisce un asse drenante artificiale idoneo a raccordare i vari colatori (che attraversano trasversalmente la superficie del corpo di frana) e a collettare le acque superficiali raccolte, in direzione della testata della rete drenante naturale, collocata più a oriente (a valle della sede stradale).

Anche in questo caso, l'analisi di fotografie aeree, riprese in diversi periodi degli ultimi quindici anni (v. elaborato A9), consente di escludere l'attivazione e la sussistenza di movimenti su larga scala del dissesto. L'analisi particolareggiata di questo settore della frana, ha consentito di determinare come i filari dei vigneti (di vecchi impianti) disposti "a giropoggio", presentino un andamento rettilineo senza evidenziare inclinazioni anomale (v. *foto 5*).





*Foto 5: Andamento rettilineo dei filari disposti a giropoggio.*

Il complesso di edifici, realizzati da più di 12 anni, ubicati in corrispondenza della porzione centrale del settore di frana descritto, evidenzia ottime condizioni strutturali. Non sono presenti lesioni né elementi indicatori di eventuali cedimenti in corso. La cancellata di accesso alle pertinenze degli edifici non presenta dislocazioni né difetti al meccanismo di chiusura, riconducibili ad eventuale disassamento. La pavimentazione in c.a. e il muretto di recinzione (supportante l'inferriata) risultano perfettamente integri (v. *foto 6*).





Foto 6: Complesso di edifici ubicato al centro del corpo di frana.

L'analisi della superficie del terreno, nelle pertinenze del complesso abitativo e al di fuori dello stesso, denota l'assenza di dislocazioni dei terrazzamenti interpoderali e l'assenza di depressioni e crepacciature longitudinali e trasversali. Tali elementi, insieme a quelli precedentemente descritti, attestano in modo inequivocabile l'assenza di movimenti della frana, anche su piccola scala, negli ultimi 10 anni. La realizzazione di una prova penetrometrica dinamica (v. SCPT 6, *realizzata*) tra la sede stradale sterrata e le pertinenze degli edifici (v. elaborati A3 e A6), ha permesso di determinare la presenza di un limitatissimo spessore della coltre di copertura e la presenza del substrato compatto a 1,10 m di profondità dal p.c.. La scarsa potenza della coltre di copertura, unita alla limitata acclività del versante, ha costituito il fattore predisponente la stabilizzazione di questo settore del dissesto. Nel settore orientale del corpo di frana (a valle del complesso degli edifici descritti) l'azione centripeta delle acque di ruscellamento, subordinata alla presenza di un asse drenante naturale, non risulta corrisposta da una efficientissima rete di drenaggio artificiale. Tale circostanza è ben testimoniata dalla presenza di almeno un'area di possibile ristagno, in corrispondenza del canale di scorrimento del corpo di frana medesimo. L'individuazione, tramite analisi aerofotogrammetrica, di fenomeni di decorticazione superficiale ha evidenziato una possibile predisposizione allo svilupparsi di processi di riattivazione di questa porzione del dissesto (v. elaborati A2 e A9). La realizzazione di una prova penetrometrica dinamica (v. SCPT 7, *realizzata*) in prossimità dell'area interessata dal ristagno (v. elaborato A2, A3 e A6), ha permesso di constatare uno spessore della copertura eluvio-colluviale di 2,30 m ed ha quindi indotto ad individuare nella maggiore capacità di raccolta idrica un fattore predisponente l'attivazione di processi di mobilizzazione. Tali valutazioni hanno portato ad escludere gran parte del settore orientale del corpo di frana, tra quelli ritenuti stabili da più di 10 anni.

La frana **04\_Sr-St\_qt** (v. elaborati A2 e A9) evidenzia la presenza di una rete di drenaggio superficiale, essenzialmente costituita da due fossi di scolo (integrati a due strade interpoderali)

contraddistinti da un buono stato manutentivo. In particolar modo, questi ultimi si sviluppano con un andamento idoneo ad intercettare tutte le acque di scorrimento superficiale cadute sulla superficie dello stesso corpo di frana. La presenza di altri fossi di scolo collocati a monte del dissesto (verso nord-ovest) ha garantito negli anni la corretta regimazione delle acque provenienti dal crinale e la loro delocalizzazione (prima di giungere sul dissesto) in direzione dei collettori naturali esistenti. L'analisi delle riprese aeree, di serie storiche degli ultimi quindici anni (v. elaborato A9), ha consentito di escludere l'attivazione e la sussistenza di movimenti su larga scala del corpo di frana. L'analisi particolareggiata (v. foto 7), ha permesso di constatare una destinazione agricola a vigneto, per tutta la superficie interessata dal dissesto, da almeno 20 anni. I filari dei vigneti, disposti a giropoggio, risultano perfettamente lineari e non evidenziano inclinazioni anomale o dislocazioni. Gli edifici (due) presenti in corrispondenza della parte centrale e di quella prossimale dell'area di accumulo della frana si presentano perfettamente integri e non interessati da alcuna lesione o cedimento.



*Foto 7: La destinazione agricola a vigneto delle aree in frana.*

Il rilievo diretto della superficie del suolo, all'interno del corpo di frana, ha consentito di constatare l'assenza di depressioni, crepacciature longitudinali e trasversali. L'insieme di tali riscontri testimoniano in modo chiaro l'assenza di movimenti, anche su piccola scala, negli ultimi 10 anni. L'analisi (v. elaborati A3 e A6) di una prova penetrometrica dinamica e di tre prove penetrometriche statiche pregresse (v. SCPT 13, CPT 5, CPT 6, CPT 7, *pregresse*) e la realizzazione di una trincea geognostica esplorativa (v. TR 17, *realizzata*), hanno permesso di determinare, la presenza del substrato compatto a circa 1,00-1,50 m di profondità dal p.c., nell'area di nicchia-canale di scorrimento, e a circa 3,00-3,50 m di profondità dal p.c., nell'ara di accumulo. La collimazione dell'accumulo-piede del corpo di frana con la superficie piana del fondovalle alluvionale del T. Versa, ha configurato l'assenza di pendenze predisponenti eventuali rimobilizzazioni (per gravità ed inerzia) e ha conferito il raggiungimento di una condizione di effettivo equilibrio statico dell'ammasso franoso.

Si specifica che i diagrammi di prova delle indagini geognostiche realizzate, dai quali sono stati desunti i valori geotecnici per le valutazioni descritte e la realizzazione delle verifiche di stabilità, risultano ricompresi nell'elaborato A6.

### **3 - Criteri utilizzati per la perimetrazione da frana**

Con riferimento ai contenuti dei criteri attuativi della L.R. 12/05 per il governo del territorio, relativamente alle "Procedure di dettaglio per la valutazione e zonazione della pericolosità e del rischio di frana" previste dall'Allegato 2 –Parte II, le aree oggetto di indagine e di studio risultano ricomprese tra quelle contemplate al punto 2.3 e comprendente gli scivolamenti, gli scivolamenti-colate e le colate con spessori superiori ai 2 metri e con volumetrie superiori ai 1.000 mc.

La procedura adottata è stata articolata in due parti distinte delle quali, l'una prende in considerazione le aree in frana presenti al momento dei rilievi e l'altra le aree limitrofe in cui al momento non sono presenti movimenti franosi.

Le frane esistenti sono state individuate con precisione grazie ai rilevamenti di dettaglio, supportati dalle indagini geognostiche precedentemente descritte.

All'interno dell'area di studio sono presenti esclusivamente:

- Frane quiescenti

Non sono invece presenti frane inattive o relitte.

#### **3.1 - Individuazione delle aree omogenee**

La CARTA DELLE AREE OMOGENEE E DELLE AREE IN FRANA (v. elaborato A5) è stata realizzata differenziando, all'interno dell'area in studio, le aree interessate da movimenti franosi da quelle in cui non sono presenti frane.

Per le aree in cui non sono conosciute frane si è suddiviso il territorio in zone omogenee in funzione di:

- acclività del versante;
- natura litologica del substrato;
- natura litologica della copertura rappresentata dalla coltre eluvio-colluviale.

Per la determinazione delle classi di acclività, è stata realizzata una CARTA DELLE ACCLIVITÀ (v. elaborato A4) con quattro classi di pendenza ricavate in automatico dalla carta digitale dell'Unione di Comuni "Prima Collina". Tali classi consistono in:

- Lieve (da 0° a 8°)
- Media (da 8° a 16°)
- Forte (da 16° a 30°)
- Molto forte (oltre i 30°)

Per la determinazione della natura litologica del substrato sono state considerate le tre classi:

- a prevalente componente argillosa (classe 1);
- ad alternanze o mescolanze di argille e rocce competenti (classe 2);
- a prevalente componente arenacea e/o calcarea o di altre rocce competenti (classe 3).

Nell'area in studio sono presenti:

- l'unità delle Alluvioni würmiane e postwürmiane che risulta costituita da argille e limi prevalenti, sabbie poco alterate e locali ghiaie e ciottoli alterati. Essa è pertanto stata inclusa nella classe 1;
- l'unità delle Alluvioni prewürmiane che risulta costituita da ghiaie sabbiose e argillose alterate, ricoperte da limo argilloso ferrettizzato. Essa è pertanto stata inclusa nella classe 1;
- la Formazione dei Conglomerati di Cassano Spinola che risulta costituita da conglomerati a ciottoli prevalentemente calcarei e calcareo-marnosi e arenarie con lenti e intercalazioni marnoso-sabbiose. Essa è pertanto stata inclusa nella classe 3;
- la Formazione Gessoso-Solfifera che risulta costituita da argille, siltiti, arenarie fini straterellate, marne gessifere con lenti di gesso a cui si associano spesso calcari carciati e calcari sbrecciati. Essa è pertanto stata inclusa nella classe 2;
- la Formazione delle Marne di S. Agata Fossili che risulta costituita da intercalazioni sabbioso-arenacee verso il basso, passanti verso l'alto a marne argillose. Essa è pertanto stata inclusa nella classe 2.

Per concludere è stata considerata una classe per i depositi superficiali della coltre eluvio colluviale composti da più del 25% di frazione argillo-limosa.

La CARTA DELLE AREE OMOGENEE (elaborato A5) è stata quindi ricavata dall'intersezione delle 4 classi di acclività, dalle 3 classi relative alla natura litologica e dalla classe relativa alla percentuale di frazione argillo-limosa attribuita alle coltri. A queste è stata sommata la classe che individua le aree di frana quiescenti oggetto di ripermetrazione.

### 3.2 - Valutazione della pericolosità preliminare

La CARTA DELLA PERICOLOSITA' PRELIMINARE (elaborato A7) è stata ricavata dall'elaborazione delle aree omogenee e in frana.

#### 3.2.1 - Aree in frana

Per l'attribuzione della pericolosità preliminare delle aree in frana si è fatto riferimento alla classificazione dello stato di attività definito dalla normativa e come di seguito riportato:

- Quiescente - pericolosità preliminare 4 se vi sono stati movimenti negli ultimi 10 anni
- Quiescente – pericolosità preliminare 3 se non vi sono stati movimenti negli ultimi 10 anni

In funzione di tale classificazione, nelle quattro aree di frana quiescenti presenti sono stati individuati (v. elaborato A7 – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ PRELIMINARE):

- per la frana **01\_Sr-St\_qt**, un settore in cui non vi sono stati movimenti negli ultimi dieci anni, al quale è stato quindi attribuito un valore di pericolosità preliminare pari a 3, ed un settore in cui vi sono stati movimenti negli ultimi dieci anni, al quale è stato quindi attribuito un valore di pericolosità preliminare pari a 4;
- per la frana **02\_Sr-St\_qt**, un solo settore in cui non vi sono stati movimenti negli ultimi dieci anni, al quale è stato quindi attribuito un valore di pericolosità preliminare pari a 3;
- per la frana **03\_Sr-St\_qt**, un settore in cui non vi sono stati movimenti negli ultimi dieci anni, al quale è stato quindi attribuito un valore di pericolosità preliminare pari a 3, ed un settore in cui vi sono stati movimenti negli ultimi dieci anni, al quale è stato quindi attribuito un valore di pericolosità preliminare pari a 4;
- per la frana **04\_Sr-St\_qt**, un solo settore in cui non vi sono stati movimenti negli ultimi dieci anni, al quale è stato quindi attribuito un valore di pericolosità preliminare pari a 3;

Non si sono infine individuati indizi che potessero ricondurre al possibile puntuale aumento di carico all'interno dei confini delle frane quiescenti, per cause di natura antropica o naturale.

### 3.2.2 - Aree non in frana

Per l'attribuzione della pericolosità preliminare alle aree non in frana, si è fatto riferimento alle verifiche di stabilità realizzzate lungo direttrici significative, per ciascuna delle dieci aree omogenee delimitate (v. elaborato A5 - CARTA DELLE AREE OMOGENEE ed elaborato A6 - VERIFICHE DI STABILITÀ). Nello specifico, lungo le tracce delle sezioni riportate nell'elaborato A5 (a-a'÷y-y') sono state svolte elaborazioni per la verifica di resistenza e di stabilità del versante agli stati limite, utilizzando il software Slope della Geostru, che consente di effettuare tali valutazioni conformemente alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 14 Gennaio 2008. Per i pendii naturali in zona sismica, le nuove norme hanno introdotto disposizioni che consentono l'uso di metodi di verifica pseudo-statica già noti (Fellenius, Bishop, Janbu, ecc.) e metodi di analisi dinamica, valutando le azioni indotte dalle vibrazioni sismiche.

Nelle elaborazioni graficamente inserite nell'elaborato A6, sono stati pertanto introdotti i seguenti dati sismici di riferimento per ognuna delle quattro aree di interesse:

#### area 1 - Loc. *Monteveneroso*

Riferimenti:	Long. 9.281 \ Lat.45.039
Vita Nominale, Vn:	50
Coefficiente d'uso, Cu:	1
Periodo di ritorno sismico, TR:	475
Zona sismica:	4
Categoria del suolo:	D
Categoria topografica:	T3
Accelerazione orizzontale sismica su suolo A, ag :	0,095g
Fattore amplificazione massima su suolo A, Fo :	2,44
Fattore stratigrafico, Ss :	1,8
Fattore di amplificazione topografico, St	1,2
Coefficiente correttivo dell'azione sismica, βs :	0,2
Accelerazione sismica massima, amax = ag*Ss*St :	0,205
Accelerazione sismica di calcolo, Kh = βs*amax :	0,041
Accelerazione sismica verticale, Kv = Kh/2 :	0,020
Coeff. di sicurezza ai parametri geotecnici, YM :	1,25
Coeff. di sicurezza parziale per le azioni, YF :	1

#### area 2 - Loc. *Beria di sopra*

Riferimenti:	Long. 9.296 \ Lat.45.053
Vita Nominale, Vn:	50
Coefficiente d'uso, Cu:	1
Periodo di ritorno sismico, TR:	475
Zona sismica:	4
Categoria del suolo:	D
Categoria topografica:	T3
Accelerazione orizzontale sismica su suolo A, ag :	0,095g

Fattore amplificazione massima su suolo A, Fo :	2,441
Fattore stratigrafico, Ss :	1,8
Fattore di amplificazione topografico, St	1,2
Coefficiente correttivo dell'azione sismica, $\beta_s$ :	0,2
Accelerazione sismica massima, $a_{max} = a_g * S_s * S_t$ :	0,205
Accelerazione sismica di calcolo, $K_h = \beta_s * a_{max}$ :	0,041
Accelerazione sismica verticale, $K_v = K_h / 2$ :	0,020
Coeff. di sicurezza ai parametri geotecnici, YM :	1,25
Coeff. di sicurezza parziale per le azioni, YF :	1

area 3 - Loc. Casa del Conte

Riferimenti:	Long. 9.285 \ Lat.45.059
Vita Nominale, Vn:	50
Coefficiente d'uso, Cu:	1
Periodo di ritorno sismico, TR:	475
Zona sismica:	4
Categoria del suolo:	D
Categoria topografica:	T3
Accelerazione orizzontale sismica su suolo A, $a_g$ :	0,093g
Fattore amplificazione massima su suolo A, Fo :	2,443
Fattore stratigrafico, Ss :	1,8
Fattore di amplificazione topografico, St	1,2
Coefficiente correttivo dell'azione sismica, $\beta_s$ :	0,2
Accelerazione sismica massima, $a_{max} = a_g * S_s * S_t$ :	0,2008
Accelerazione sismica di calcolo, $K_h = \beta_s * a_{max}$ :	0,040
Accelerazione sismica verticale, $K_v = K_h / 2$ :	0,020
Coeff. di sicurezza ai parametri geotecnici, YM :	1,25
Coeff. di sicurezza parziale per le azioni, YF :	1

area 4 - Loc. Roncole:

Riferimenti:	Long. 9.297 \ Lat.45.038
Vita Nominale, Vn:	50
Coefficiente d'uso, Cu:	1
Periodo di ritorno sismico, TR:	475
Zona sismica:	4
Categoria del suolo:	D
Categoria topografica:	T3
Accelerazione orizzontale sismica su suolo A, $a_g$ :	0,095g
Fattore amplificazione massima su suolo A, Fo :	2,442
Fattore stratigrafico, Ss :	1,8
Fattore di amplificazione topografico, St	1,2
Coefficiente correttivo dell'azione sismica, $\beta_s$ :	0,2
Accelerazione sismica massima, $a_{max} = a_g * S_s * S_t$ :	0,2052
Accelerazione sismica di calcolo, $K_h = \beta_s * a_{max}$ :	0,041
Accelerazione sismica verticale, $K_v = K_h / 2$ :	0,020
Coeff. di sicurezza ai parametri geotecnici, YM :	1,25
Coeff. di sicurezza parziale per le azioni, YF :	1



Per determinare lo spessore della coltre di copertura eluvio-colluviale sono stati utilizzati gli elementi ricavati dalle indagini geognostiche illustrate nel capitolo precedente.

Per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche dei versanti indagati, il livello di falda è stato posizionato al contatto tra il terreno vegetale (strato n. 1) ed la sottostante coltre di copertura eluvio-colluviale (strato n. 2).

Le verifiche di stabilità del versante lungo le sezioni individuate (a-a'-y-y'), sono state condotte in condizioni drenate ("a lungo termine") introducendo i parametri geotecnici caratteristici indicati nella tabella che segue, dove:

$\gamma$  = peso specifico del terreno ( $\text{kg/m}^3$ )

$\phi'k$  = angolo di attrito efficace caratteristico del terreno (gradi)

$C'k$  = coesione caratteristica del terreno ( $\text{kg/cm}^2$ )

Strato n.	Descrizione stratigrafica	$\gamma$ ( $\text{kg/m}^3$ )		$\phi'k$ (gradi)	$C'k$ ( $\text{kg/cm}^3$ )
1	Terreno vegetale	1.650	condizione drenata	$\phi' = 15^\circ$	$C' = 0,001$
2	Coltre di copertura eluvio-colluviale	2.100	condizione drenata	$\phi' = 17^\circ$	$C' = 0,002$
3	Alluvioni di fondovalle: argilla con ghiaia	2.000	condizione drenata	$\phi' = 27^\circ$	$C' = 0,0$
4a	Conglomerati di Cassano Spinola	2.200	condizione drenata	$\phi' = 35^\circ$	$C' = 0,02$
4b	Marne di S. Agata Fossili	2.300	condizione drenata	$\phi' = 35^\circ$	$C' = 0,05$
4c	Formazione Gessoso-Solfifera	2.300	condizione drenata	$\phi' = 35^\circ$	$C' = 0,05$

La resistenza di progetto del terreno è stata determinata in modo analitico, con riferimento ai valori dei parametri geotecnici caratteristici, ridotti applicando i coefficienti parziali di sicurezza YM previsti dalle NTC (V. Tab. 6.2.II del D.M. 14.01.2008):

- coefficiente di riduzione della tangente dell'angolo di resistenza al taglio  $\phi'k = 1,25$

- coefficiente di riduzione della coesione efficace  $C'k = 1,25$
- coefficiente di riduzione della coesione non drenata  $Cu = 1,40$
- coefficiente di riduzione del peso di unità di volume  $\gamma = 1,0$

Le verifiche sono state effettuate assumendo l'ipotesi che la rottura possa avvenire lungo una superficie teorica di forma circolare. L'analisi ha riguardato le condizioni di stabilità del versante, sia nel suo complesso, sia considerando tipologie di superfici di rottura che andassero ad interessare solo parte del pendio.

Il volume di terreno compreso tra il profilo del terreno e ogni superficie di taglio è stato quindi discretizzato in "elementi verticali" (conci); l'analisi bidimensionale eseguita per ciascuna superficie di rottura ipotizzata ha permesso di valutare il coefficiente di sicurezza utilizzando il metodo BISHOP.

Nelle elaborazioni sono state prese in considerazione diverse tipologie di "superfici di scorrimento" circolari, individuabili da una "maglia dei centri", valutando così la situazione più critica, ovvero quella corrispondente al valore minimo del coefficiente di resistenza YR.

Il coefficiente di resistenza YR si esprime con il rapporto tra i momenti o le forze resistenti di progetto e quelle attive di progetto:

$$YR = Rd / Ed$$

avendo per ogni concio:

$$N = W + Sa - [c * L * \sin(\beta) + U * \tan(\phi) * \sin(\beta)] / YR / \{ \cos(\beta) + [\sin(\beta) * \tan(\phi)] / YR \}$$

si ottiene:

$$Rd = \sum[(N - U) * \tan(\phi) + c * L]$$

$$Ed = \sum[(W + Sa) * \sin(\beta)] + \sum(SS)$$

Le sommatorie sono estese a tutti gli <n> conci.

In ogni caso si assume:

- YR = coefficiente di sicurezza parziale di resistenza
- YM = coefficiente di sicurezza parziale geotecnico
- YF = coefficiente di sicurezza parziale per le azioni
- $\beta$  = angolo di pendenza della base del concio
- L = lunghezza della base del concio
- h = altezza del concio di terreno di scorrimento
- hw = altezza colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
- u = altezza di terreno immerso dalla base del concio
- dx =  $L / \cos(\beta)$ , lunghezza orizzontale del concio
- c'k = coesione caratt. alla base del concio (cu - per ver. a breve termine)
- c = c'k / YM, coesione di calcolo

$\phi'k$  = angolo di attrito interno effettivo, caratt. alla base del concio

$\phi$  =  $\text{Atn}(\phi'k/YM)$ , angolo di attrito di calcolo

$Yt$  = peso/volume saturo terreno del concio

$Ya$  = peso/volume acqua ( $0.001 \text{ kg/m}^3$ )

$q$  = carico esterno verticale/superficie sul concio

$W$  =  $(Yt*h+q)dx$ , peso agente sulla base del concio

$Sa$  =  $(Ya*hw)dx$ , sovraccarico colonna acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)

$U$  =  $(u+hw)Ya*L$ , forza interstiziale dell'acqua alla base del concio

$SS$  =  $W*Kh$ , forza orizzontale sismica su ogni concio

In base al coefficiente di resistenza  $YR$  ottenuto con le verifiche di stabilità, alle aree omogenee verificate è stato attribuito un valore di pericolosità preliminare sulla base dei parametri che seguono:

$Fs = 1,40 - 2,00$  pericolosità preliminare = 2

$Fs = 1,20 - 1,40$  pericolosità preliminare = 3

$Fs = 1,00 - 1,20$  pericolosità preliminare = 4

I valori delle classi di pericolosità delle dieci aree omogenee considerate sono stati quindi ripartiti secondo lo schema che segue:

Area omogenea 1 = pericolosità preliminare 2

Area omogenea 2 = pericolosità preliminare 2

Area omogenea 3 = pericolosità preliminare 2 (in **area 3**) = pericolosità preliminare 3 (in **aree 1-2-4**)

Area omogenea 4 = pericolosità preliminare 4

Area omogenea 5 = pericolosità preliminare 2

Area omogenea 6 = pericolosità preliminare 2

Area omogenea 7 = pericolosità preliminare 3

Area omogenea 8 = pericolosità preliminare 2

Area omogenea 9 = pericolosità preliminare 2 (in **area 2**) = pericolosità preliminare 3 (in **aree 1-3**)

Area omogenea 10 = pericolosità preliminare 3

### 3.3 - Valutazione della pericolosità finale

La CARTA DELLA PERICOLOSITÀ FINALE (v. elaborato A8) è stata ricavata attraverso la rielaborazione della carta della pericolosità preliminare, considerando i fattori aggiuntivi previsti dalla normativa.

Per la precisione si sono considerati gli elementi, come la concentrazione di aree di ristagno o le condizioni di drenaggio lento lungo i versanti determinati dall'aumento dello spessore delle coltri di alterazione eluvio-colluviali, che producono un aumento (+1) del valore della pericolosità preliminare e gli elementi, come la manutenzione delle opere di difesa all'interno delle frane, che producono la diminuzione (-1) del valore della pericolosità preliminare.

Tale rielaborazione ha comportato l'aumento (+1) della pericolosità preliminare, per quelle aree di ristagno individuate all'interno dei corpi di frana quiescenti e all'esterno degli stessi, ricomprendendo per queste ultime anche gli areali limitrofi potenzialmente influenzabili.

### **3.4 - Valutazione della fattibilità geologica**

La CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO è stata ricavata in considerazione dei valori di pericolosità finale ottenuti con l'analisi complessiva dell'area. In tal senso, in linea con quanto già previsto nella componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, sono state attribuite tre classi di fattibilità (classe 2 - classe 3 - classe 4) e cinque sottoclassi (sottoclasse 3a, 3b, 4a, 4b, 4c) caratterizzate da specifiche indicazioni sulla fattibilità geologica per le azioni di Piano (v. elaborati R3, F1, F2, F3, F4, F5). In particolare nell'elaborato R3 vengono riportate le Norme geologiche per le azioni di piano, aggiornate anche in funzione di quanto previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) del D.M. 14 Gennaio 2008.

Dicembre 2009

A cura di:



**Dott. Geol. Manuel Elleboro**  
Ordine Geologi del Piemonte n. 585

**Dott. Geol. Paola Sala**  
Ordine Geologi della Lombardia