

TITOLO

**STUDIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO A SCALA DI SOTTOBACINI IDROGRAFICI
DEL COMPENSORIO DELLA C.M.L.O.V.S.M., FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE
DEGLI INTERVENTI PRIORITARI DI SISTEMAZIONE E DIFESA IDRAULICA**

PROGETTAZIONE PRELIMINARE

PROGETTO

**MESSA IN SICUREZZA TORRENTE GANDALOGGIO: SISTEMAZIONE DEL
VERSANTE LOC. CAVONIO - LC003 - COMUNE DI COLLE B.ZA (LC)**

ELABORATO

R3. RELAZIONE GEOLOGICA

SCALA

/

COMMITTENTE

COMUNITA' MONTANA LARIO ORIENTALE - VALLE SAN MARTINO

Via Vasena, 4 23856 Sala al Barro - Galbiate (LC)
cm.larioorientale_vallesmartino@pec.regione.lombardia.it

PROGETTISTI



PRO.TEA INGEGNERIA associati
Via Martiri 33, 23824 Dervio (LC) - Tel_fax 0341.851176
email: info@protealingegneria.it
P. IVA: 03388100137

Dott. Ing. Claudia Anselmini
Dott. Geol. Cristian Adamoli

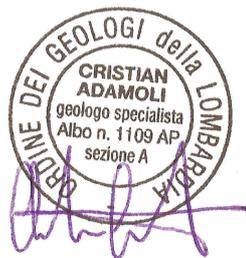


Studio Tecnico Agostoni

23818 PASTURO - LC - Via Cariole, 7
23900 LECCO - Via G. B. Grassi, 17a
Tel. 0341 955142 - e. mail: studio.agostoni@gmail.com

Dott. Ing. Gabriele Agostoni
P.IVA n. 02261560136

Dott. Geol. Beatrice Leali
via Rivolta n. 42 - 23017 Morbegno (SO)
P.IVA: 00954070140
email: beatrice.leali@gmail.com



REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
1	Dicembre 2017	Prima emissione	G. P.	Cl. A.	Cl. A.
2					
3					

1.	<u>PREMESSA</u>	2
2.	<u>ANALISI DELLA COMPONENTE GEOLOGICA E SISMICA</u>	3
2.1	VINCOLI	3
2.2	CLASSE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA	4
2.3	COMPONENTE SISMICA	5
3.	<u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE</u>	6
4.	<u>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO</u>	7
5.	<u>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO</u>	8
6.	<u>CARATTERISTICHE DELLA FRANA</u>	9
7.	<u>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE</u>	12
8.	<u>VERIFICA DI STABILITÀ DI VERSANTE</u>	12
8.1	PROCEDURA DI CALCOLO	14
8.2	RISULTATI	14
8.3	COMMENTO	16
9.	<u>CONCLUSIONI</u>	16



1. PREMESSA

La presente relazione geologica preliminare deriva dai rilievi e sopralluoghi effettuati dagli scriventi, dai riferimenti bibliografici, oltre che dall'analisi dello Studio geologico redatto a supporto del PGT vigente per il Comune di Colle Brianza relativamente agli interventi di messa in sicurezza della frana in sinistra orografica del Torrente Gandaloggio.

I contenuti della stessa, costituiscono elementi indispensabili per la valutazione della compatibilità tra l'opera in progetto ed il contesto geologico - ambientale, e soddisfano una serie di requisiti, fra i quali:

1. Verifica ed inquadramento dell'intervento nel contesto geologico dello Strumento Urbanistico vigente;
2. Definizione della possibile successione litostratigrafica del sito per un ambito areale geologicamente significativo e per una profondità comunque non inferiore all'ambito rientrante nel concetto di "volume significativo";
3. Descrizione dei lineamenti geomorfologici della zona e analisi dei processi morfogenetici con specifico riferimento ai dissesti in atto o potenziali ed alla loro tendenza evolutiva tenendo anche conto delle reali incidenze dell'intervento esaminando le condizioni di stabilità;
4. Analisi delle condizioni idrogeologiche del sito, con particolare riguardo alla circolazione idrica superficiale e sotterranea.



2. ANALISI DELLA COMPONENTE GEOLOGICA E SISMICA

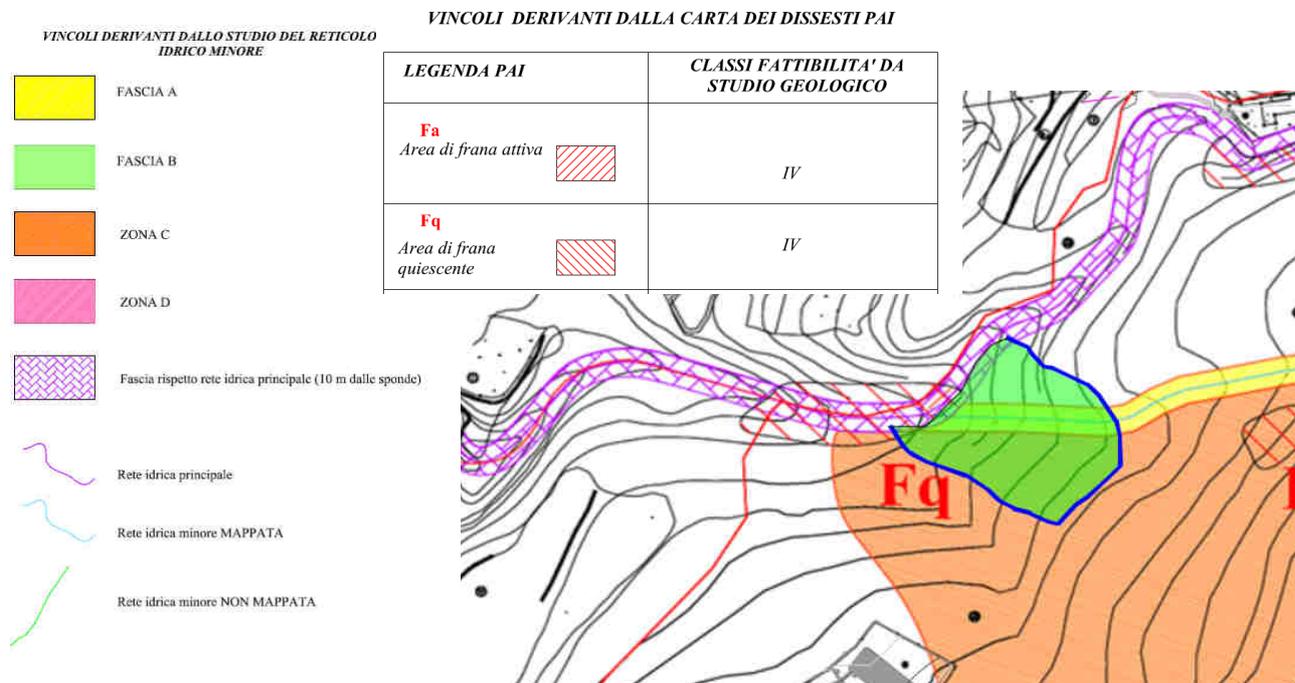
La valutazione ai sensi della D.G.R. IX 2616/2011 della presenza di vincoli o di particolari condizioni di rischio, l'analisi della pericolosità sismica locale e della fattibilità degli interventi con le relative prescrizioni da seguire durante la fase esecutiva delle opere è stata effettuata basandosi su quanto disponibile presso gli uffici comunali e su quanto riportato dalla componente geologica a supporto del P.G.T. attualmente in vigore nel Comune di **Colle Brianza** (LC) e dalle relative Norme di Piano.

Di seguito si riportano una serie di estratti cartografici dallo Studio geologico a supporto del PGT e redatto dai geologi Penati e Todeschini (agg. Ottobre 2011).

2.1 Vincoli

Dall'analisi della carta dei vincoli geologici allegata al vigente P.G.T. l'area in esame ricade nei seguenti vincoli:

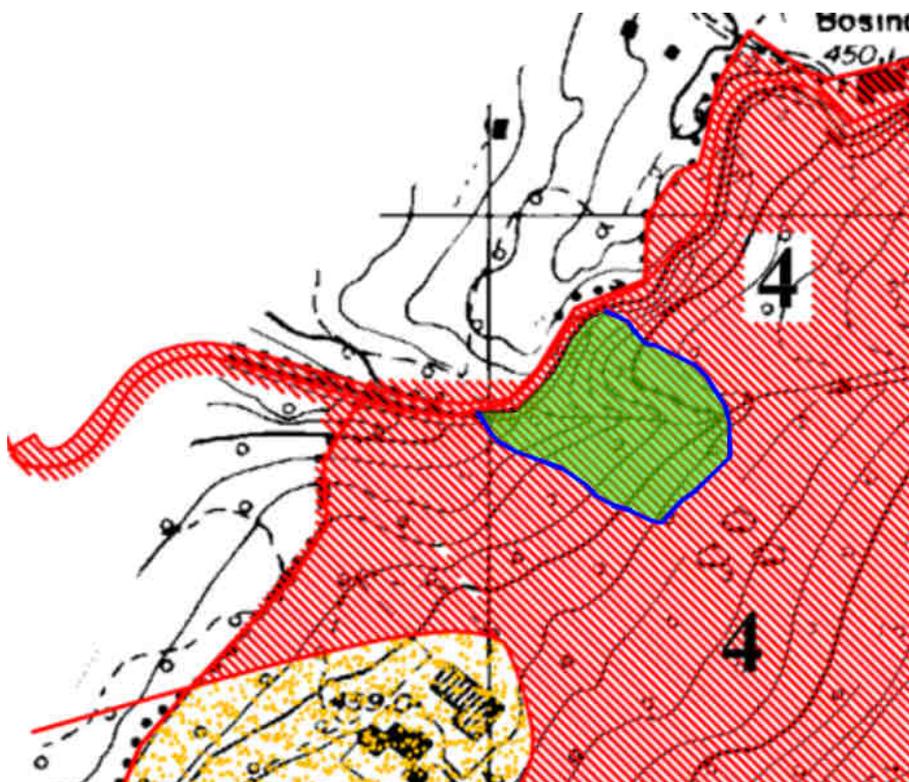
- Nella fascia di rispetto della rete idrica principale;
- nella fascia A del reticolo idrico minore: tali superfici indicano le fasce di rispetto delle aste mappate, distinte per importanza idrografica, idraulica ed idrologica;
- nella fascia C del reticolo idrico minore: tali superfici che presentano delle particolari caratteristiche idrogeologiche legate alla presenza di risorgenze idriche e divagazione dei corsi d'acqua con formazione di ampie zone umide di particolare rilevanza idrogeologica ed ambientale locale;
- una porzione dell'area in frana è interessata dal Vincolo P.A.I. di frana quiescente Fq.



Stralcio della legenda e della carta dei vincoli geologici annessa al PGT del Comune di Colle Brianza (Figura non in scala).
La campitura verde indica l'area in esame.

2.2 Classe di fattibilità geologica

Ai sensi della carta della fattibilità geologica a supporto del P.G.T. del Comune di Colle Brianza, l'area in oggetto ricade nella classe 4 "Fattibilità con gravi limitazioni".



Stralcio della legenda e della carta della fattibilità geologica annessa al PGT del Comune di Colle Brianza (Figura non in scala):
la campitura verde indica l'area in esame.

Prescrizioni

L'elevato rischio comporta gravi limitazioni per la modifica delle destinazioni d'uso, dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, eccezion fatta per quelle opere che saranno tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica dei siti.

In questa classe rientrano le zone dove sono stati rilevati dei fenomeni di erosione e dissesti superficiali, gli alvei dei torrenti, versanti acclivi e le aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine su pendii inclinati con substrato roccioso a piccola profondità.

Si precisa inoltre che le indagini geologiche e geotecniche devono essere eseguite secondo i criteri esposti nel D.M. 11.3.88 e D.M.14.01.2008 e s. m. i. " *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*".

2.3 Componente sismica

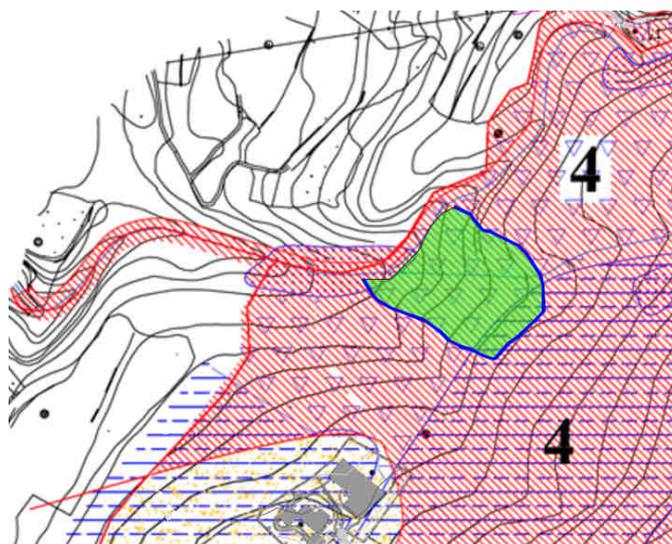
La Carta della Pericolosità Sismica Locale allegata allo Studio geologico comunale, attraverso l'analisi qualitativa di 1° livello ha permesso di definire come l'area in esame appartenga alla categoria sismica **Z4a** – Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali. Le potenziali amplificazioni degli effetti sismici previste per questa zona risultano essere di tipo sia geometrico sia litologico. Il settore al piede della frana ricade in zona **Z1b** – Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti; i potenziali effetti sismici sono legati a instabilità di versante. Il settore di corona nella frana ricade in Z2 – Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti; gli effetti sismici sono cedimenti e liquefazioni.

Il territorio comunale di Colle Brianza è stato ricompreso nella **classe 3** della zonizzazione sismica nazionale (Aggiornamento secondo O.P.C.M. n. 3519/2006). L'applicazione del 2° livello di approfondimento (App. 5 – ai sensi della d.g.r. IX 2616 del 30.11.2011) così come descritto nella d.g.r. X/5001 del 30.03.2016 è pertanto obbligatorio per tutte le strutture o edifici di nuova progettazione. Questo approfondimento permetterà la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici.

Per quel che concerne le Z1 e Z2, non è prevista l'applicazione del 2° livello ma il passaggio diretto al 3° livello di approfondimento, che consentirà sia la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per le sole aree in cui la normativa nazionale risulta inadeguata, sia la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti (zone Z1) e dei cedimenti e/o liquefazioni (zone Z2).

LEGENDA CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

-  **Z 1B**
Zona caratterizzata da movimenti
franos quiescenti
EFFETTI: INSTABILITA'
-  **Z 2**
Zona con terreni di fondazione
particolarmente scadenti - terreni di
riporto -
EFFETTI: CEDIMENTI E
LIQUEFAZIONI
-  **Z 4 A**
Zona di fondovalle con presenza di
depositi alluvionali e/o
fluvioglaciali
EFFETTI: AMPLIFICAZIONI
LITOLOGICHE E GOMETRICHE



Stralcio della legenda e della carta della fattibilità geologica con sovrapposizione aree soggette ad amplificazione sismica locale annessa al PGT del Comune di Colle Brianza (Figura non in scala): la campitura verde indica l'area in esame.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Il settore di catena alpina lombarda fa parte del segmento centrale delle Alpi, in particolare, interessa il versante meridionale delle stesse. È costituito da due principali domini strutturali separati da un importante sistema di faglie ad andamento E-O, noto col nome di Lineamento Insubrico.

Geograficamente il dominio Austoalpino occupa il settore a Nord della Valtellina. Il dominio meridionale è ubicato a Sud del Lineamento Insubrico ed è costituito dalle unità strutturali delle Alpi Meridionali o Sudalpino. È rappresentato geograficamente dal versante meridionale della Valtellina fino al bordo prealpino padano.

È generalmente accettata l'ipotesi che il Sudalpino rappresenti il margine continentale passivo fossile della placca africana generato durante una fase estensionale nel Mesozoico inferiore e medio conseguente all'apertura dell'Oceano Giurassico della Tetide. Alla tettonica estensionale si sovrappose la tettonica compressiva eo-alpina ed alpina Terziaria responsabile del complesso sistema di pieghe e sovrascorrimenti sudvergenti. Questa direzione di movimento, opposta a quella tipica dei settori settentrionali della catena, costituisce il carattere distintivo di tutte le strutture delle Prealpi fin sotto la Pianura Padana.

Secondo lo schema tettonico della Lombardia il territorio comunale di Colle Brianza si colloca lungo il margine meridionale delle "Alpi Meridionali" al confine con il "Bacino Plio-Quaternario" della Pianura Padana.

Dal punto di vista geologico strutturale il settore in esame è caratterizzato da un substrato di origine torbiditica organizzato secondo un sistema di ampie pieghe sinformi ed antiformali con assi orientati circa SENW; la predominanza di depositi superficiali maschera le strutture principali presenti.

I principali lineamenti tettonici sono rappresentati dall'antiforme (piega convessa verso l'alto) del Monte Crocione, dalla struttura antiformali/sinforme (piega concava verso l'alto) di Montevecchia -Lissolo e da un'ampia fascia deformata con numerose faglie in prossimità dell'abitato di Santa Maria Hoe'.

L'asse dell'antiforme di Montevecchia così come l'asse della sinforme di Lissolo sono orientate N70W con un piano assiale immergente verso NE; le due pieghe sono raccordate lungo un fianco con inclinazione di circa 40°.



4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La geomorfologia del territorio è stata valutata mediante l'analisi degli aspetti di evoluzione dinamica delle forme presenti, che possono essere un fattore interessante ai fini della definizione della stabilità del territorio e pertanto dell'eventuale compatibilità geologica dell'intervento. L'elemento geomorfologico più significativo dell'area in esame è dato dal Torrente Gandaloggio che percorre la valle da NE a SW, e funge da collettore idrico principale.

Il paesaggio attuale è il risultato dell'azione e del modellamento operato da numerosi agenti tra i quali i corsi d'acqua, dai processi gravitativi, dall'erosione, dall'azione dell'uomo e infine dai ghiacciai quaternari. Durante l'ultima glaciazione, (glaciazione wurmiana) l'area pedemontana della Lombardia era quasi completamente sepolta sotto una coltre di ghiaccio che, in alcuni punti, raggiungeva anche lo spessore di 2 km.; nel periodo compreso tra 15.000 e 10.000 anni fa la coltre glaciale si è progressivamente ritirata, fino a ridursi alla situazione attuale.

Il territorio comunale di Colle Brianza s'inserisce nel Lobo della Brianza. Questo è stato formato dalla lingua glaciale proveniente dal ramo di Lecco del Lario che trasfluiva in territorio brianteo attraverso la sella di Valmadrera (220 m s.l.m.), da Pianrancio (970 m s.l.m.), dal Ghisallo (800 m s.l.m.), dai Piani di Crezzo (800 m s.l.m.) e dalla Valbrona (500 m s.l.m.) scendendo lungo la valle del Lambro. Le differenze di quota delle trasfluenze facevano sì che il ghiacciaio che scendeva dalla valle del Lambro fosse di dimensioni minori (ghiacciaio sottoalimentato) rispetto a quello che scendeva da Valmadrera. È possibile distinguere due diverse morfologie: i rilievi montuosi di San Genesio e di Montevecchia, costituiti da un'ossatura di rocce sedimentarie di età cretaceo-paleocenica, su cui si appoggia una copertura discontinua di depositi glaciali ed una area con ampie valli delimitate da ripiani terrazzati costituita quasi esclusivamente da depositi fluvio-glaciali quaternari e da depositi alluvionali recenti.

I depositi glaciali mascherano il substrato litoide e sono attribuibili alla glaciazione del Wurm, sono ben visibili e facilmente distinguibili nel territorio comunale di Colle Brianza. Depositivi fluvio-glaciali associati alla glaciazione Wurm costituiscono i ripiani terrazzati più ribassati su cui sorge il centro urbano di Colle Brianza. Le porzioni più depresse in corrispondenza degli alvei dei torrenti sono caratterizzate da depositi alluvionali recenti. Il gradiente topografico dell'area è piuttosto ridotto e i dissesti presenti si manifestano come processi isolati, slegati da altri fattori quali tettonica e litologia. Viceversa possono essere messi in relazione con gli spessori dei depositi glaciali o fluvio-glaciali qui predominanti. Tali depositi sono caratterizzati da una notevole eterogeneità granulometrica e presentano una relativa abbondanza di matrice fine, prevalentemente limosa. Le topologie di frana più diffuse sono dunque, soil slip, frane superficiali in genere di piccole dimensioni che si innescano a causa della soprassaturazione dei terreni indotta da precipitazioni di una certa quantità e durata in corrispondenza di aree circoscritte più ricche in frazioni granulometriche fini e meno permeabili. Rispetto a quelle adiacenti la facile erodibilità di questi depositi, ha spesso consentito la formazione di impluvi incisi e pareti strapiombanti, soggette a diffusi scivolamenti o crolli di detrito, con trasporto di ingenti quantitativi di materiale solido verso valle e conseguente formazione di conoidi di dimensioni rilevanti.



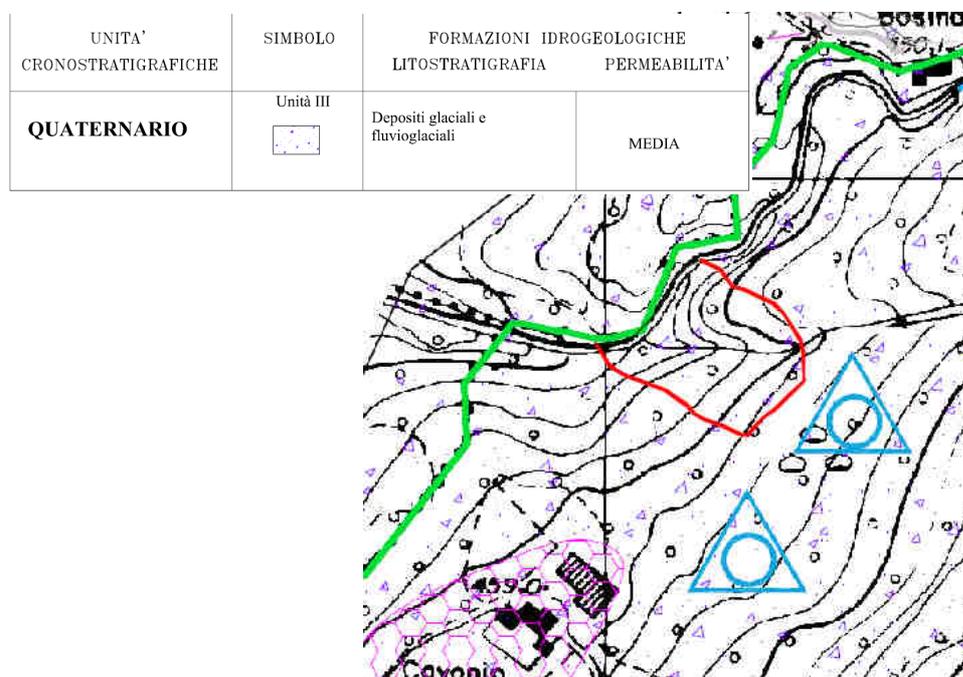
5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'acqua riveste una duplice importanza in rapporto alla pianificazione territoriale, essendo uno dei maggiori agenti morfodinamici, quindi elemento prevalente di modificazione del territorio e particolarmente degli equilibri geomorfologici che devono essere considerati per la valutazione del rischio, ed essendo inoltre risorsa essenziale per la vita e le differenti attività antropiche che si svolgono sul territorio. I rapporti che intercorrono fra geologia, morfologia e idrografia sono molteplici, poiché le acque di ruscellamento diffuso e quelle incanalate sono responsabili del dilavamento, dell'erosione, della sedimentazione e di numerosi altri processi morfogenetici che possono essere importanti per la valutazione del rischio ambientale nella pianificazione territoriale.

Da un punto di vista idrografico l'area ricade nel bacino idrografico del Torrente Gandaloggio che rappresenta il principale collettore dei numerosi affluenti presenti nella parte montana del suo bacino idrografico.

Le aste secondarie, rilevate all'interno del territorio comunale, sono per lo più dei solchi di ruscellamento concentrato, impostati lungo valleciole secondarie che nascono in corrispondenza di risorgive con testate d'incisione in progressiva regressione. Tutti i torrenti presenti nel territorio comunale sono a regime periodico e discontinuo, legati all'intensità e frequenza delle precipitazioni meteoriche.

La carta idrogeologica annessa al P.G.T. del Comune di Colle Brianza indica che il corpo di frana è impostato su depositi glaciali e fluvioglaciali, caratterizzati da una permeabilità media ($10^{-3} > k > 10^{-6}$ cm/s).

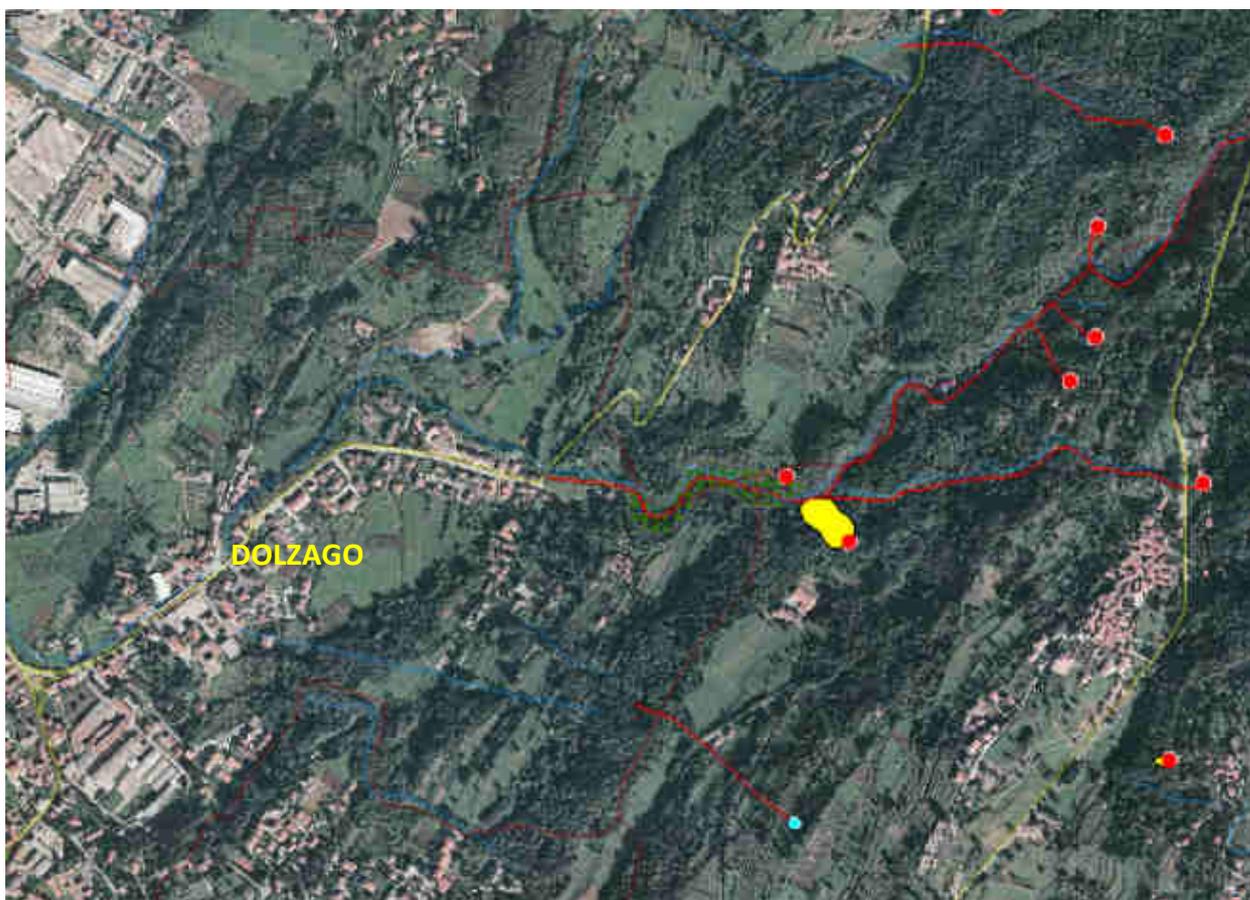


Stralcio della carta idrogeologica annessa al PGT del Comune di Colle Brianza (Figura non in scala):
la linea rossa perimetra il corpo di frana.

6. CARATTERISTICHE DELLA FRANA

L'area in esame è interessata da una frana caratterizzata da stato di attività valutabile come quiescente. Sulla base della classificazione delle frane adottata dalla Regione Lombardia, che prende in considerazione il tipo di movimento ed il materiale coinvolto (Classificazione di Varnes, 1978), il movimento franoso indagato può essere classificato come frana di scivolamento rotazionale di terra.

Il movimento franoso in esame è stato cartografato nel portale dell'Inventario dei Fenomeni Franosi (IFFI) con Id 0970025200; di seguito è riportato uno stralcio.



Stralcio dell'Inventario dei Fenomeni Franosi: in giallo l'area in frana.

Morfologicamente il coronamento non è ben visibile in superficie, ma si presume che sia impostato, a quota 460 m s.l.m.; lo sviluppo trasversale al pendio è stimato circa in un centinaio di metri.

Il gradiente topografico dell'area è rilevante ed il dissesto si manifesta come un processo legato da fattori quali tettonica e litologia.

Dal punto di vista vegetazionale in corrispondenza dell'accumulo di frana si segnala la fitta presenza di coperture arbustive e arboree. L'area boscata è costituita da alberi spontanei di diametro circa 10-20 cm

e altezza di 10-15 m risultando quindi estremamente filati. Per le loro caratteristiche strutturali, l'azione del vento esercita un'importante effetto vela sulla chioma e conseguentemente un maggior effetto leva sull'apparato radicale, comportando un aumento della sollecitazione del substrato.

Evidenti segni di instabilità di versante sono rappresentati dall'accentuata inclinazione verso valle delle essenze arboree sulla superficie topografica, oltreché dal rilevamento di diverse controscarpate.



Vista della vegetazione lungo il versante in frana.

Tali superfici sono sottoposte attualmente a dilavamento ad opera delle acque battenti, all'azione delle acque di ruscellamento ed ai cicli gelo/disgelo. Il dilavamento per opera delle acque superficiali non incanalate concorre alla messa in movimento dei detriti, provocando l'innescò del movimento franoso.

Tale dissesto è da imputare principalmente alla pendenza del versante, alla presenza di una coltre morenica di spessore plurimetrico, formata da materiali sciolti ed interessata da circolazione idrica sotterranea, all'erosione dovuta alle acque meteoriche e per ultimo, non per importanza, all'azione di scalzamento al piede del versante esercitata dal Torrente Gandaloggio.

In corrispondenza dell'unghia della frana, stabilizzata nel greto del Torrente Gandaloggio, sono osservabili depositi morenici recenti litologicamente costituiti da massi, blocchi e ciottoli immersi in una matrice sabbioso-limosa incoerente dall'aspetto caotico e senza indizi di stratificazione, intercalato da sottili lenti argillose.

I materiali grossolani sono quasi sempre isodiametrali, da subarrotondati a subangolari; le dimensioni sono molto variabili, dalla ghiaia minuta a ciottoli.

Come rilevato durante i sopralluoghi, la zona di accumulo della frana ha obliterato buona parte della sezione idraulica del corso d'acqua, formando "dighe" di materiale accatastato disordinatamente e stabilizzato dal legname riversato in alveo.



Viste della zona di accumulo.

Per quanto riguarda la circolazione idrica superficiale, considerate le pendenze del settore, in occasione di intense precipitazioni le acque meteoriche si indirizzano proprio verso l'area in frana. Queste acque, saturando livelli granulometricamente fini, possono accentuare il movimento del versante.

Sulla base delle informazioni ottenute dai sopralluoghi, si ritiene che l'area di frana coinvolga una porzione superficiale di terreno per uno spessore attualmente non stimabile ma che sarà quantificabile mediante opportune indagini geognostiche profonde.

La presunta estensione areale della frana è di circa 1,2 ha; le caratteristiche geometriche stimate della frana sono le seguenti:

- lunghezza massima complessiva: 170 m circa;
- larghezza della nicchia principale: 100 m;
- larghezza massima al piede: 160 m;

Si precisa che solo a seguito del disboscamento dell'area, dello svolgimento di un accurato rilievo plano-altimetrico e della realizzazione di indagini geognostiche e geofisiche, sarà possibile quantificare con precisione i volumi in gioco.

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE

Sulla base delle conoscenze dello scrivente e confrontando i dati ricavati dal P.G.T. di Colle Brianza i depositi costituenti il versante sono ascrivibili a depositi fluvioglaciali e glaciali Wurmiani. Trattasi di depositi terrigeni superficiali costituiti da ciottoli, clasti e ghiaie immersi in abbondante matrice limosa sabbiosa. Presentano tessitura caotica e caratteristiche geotecniche discrete. I principali parametri geotecnici sono i seguenti.

CLASSE	Angolo d'attrito (°)	Peso di volume (t/m ³)
Depositi fluvioglaciali e glaciali Wurmiani	25°-32°	1,70-1,85

8. VERIFICA DI STABILITÀ DI VERSANTE

Quando il piano campagna non è orizzontale, le tensioni indotte dalle forze gravitazionali, tendono a smuovere il terreno lungo potenziali superfici di scorrimento. Se sussiste l'equilibrio, la resistenza al taglio mobilitata lungo ogni possibile superficie supera le tensioni tangenziali indotte dalla gravità, altrimenti si verifica uno scorrimento lungo una superficie in corrispondenza della quale le tensioni tangenziali superano la resistenza al taglio.

Sull'equilibrio di un pendio incidono in maniera determinante diversi fattori, non esattamente quantizzabili, che tendono a ridurre la resistenza del terreno quali, ad esempio, l'elevata pendenza, l'elevato valore delle pressioni neutre generato dall'innalzamento del livello idrico, dalla geometria del rilievo, dall'insorgere di forze orizzontali e verticali, dalle caratteristiche intrinseche del terreno, dall'azione antropica.

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

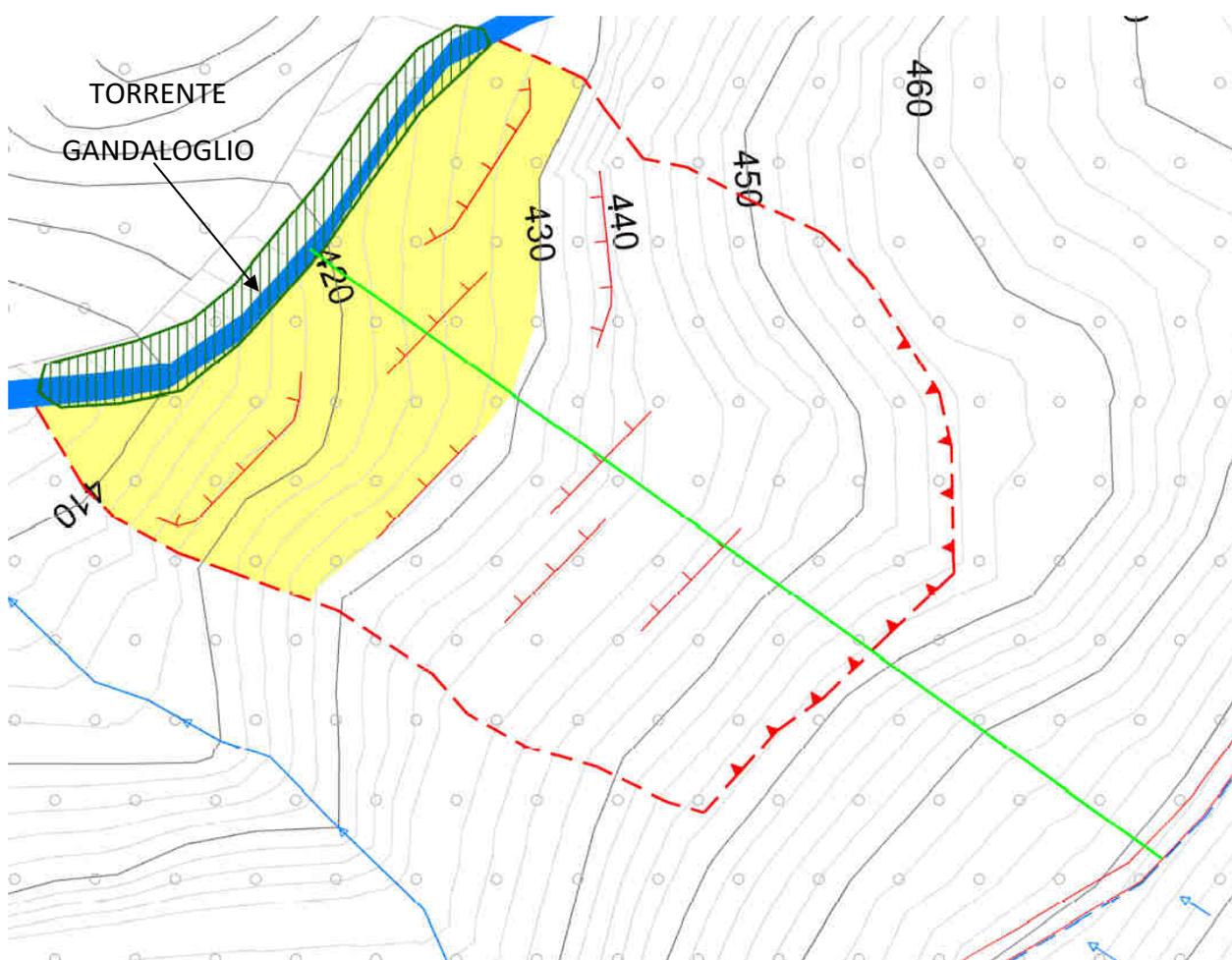
Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb;

- In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Per questa fase di studio è stata svolta una verifica di stabilità preliminare in condizioni drenate allo scopo di ipotizzare il possibile cinematisma che ha dato origine al movimento franoso.

I parametri geotecnici utilizzati sono quelli indicati nel cap. 7, e si è considerato il pendio litologicamente omogeneo. La sezione topografica utilizzata è stata ricavata tramite aerofotogrammetrico comunale ed è individuata nell'immagine seguente (linea verde).



Area in frana.

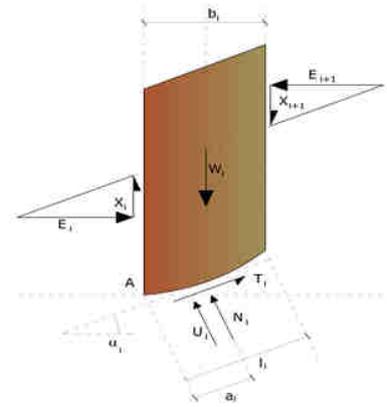
8.1 Procedura di calcolo

Per eseguire le verifiche è stato utilizzato il programma “Slope”, della Geostru Software, che permette di eseguire verifiche di stabilità di pendii di qualsiasi forma, dimensione, stratigrafia, in presenza o meno di falda, carichi, sisma ed interventi di stabilizzazione. Fra i metodi di calcolo disponibili, è stato scelto il Metodo di Bishop semplificato.

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

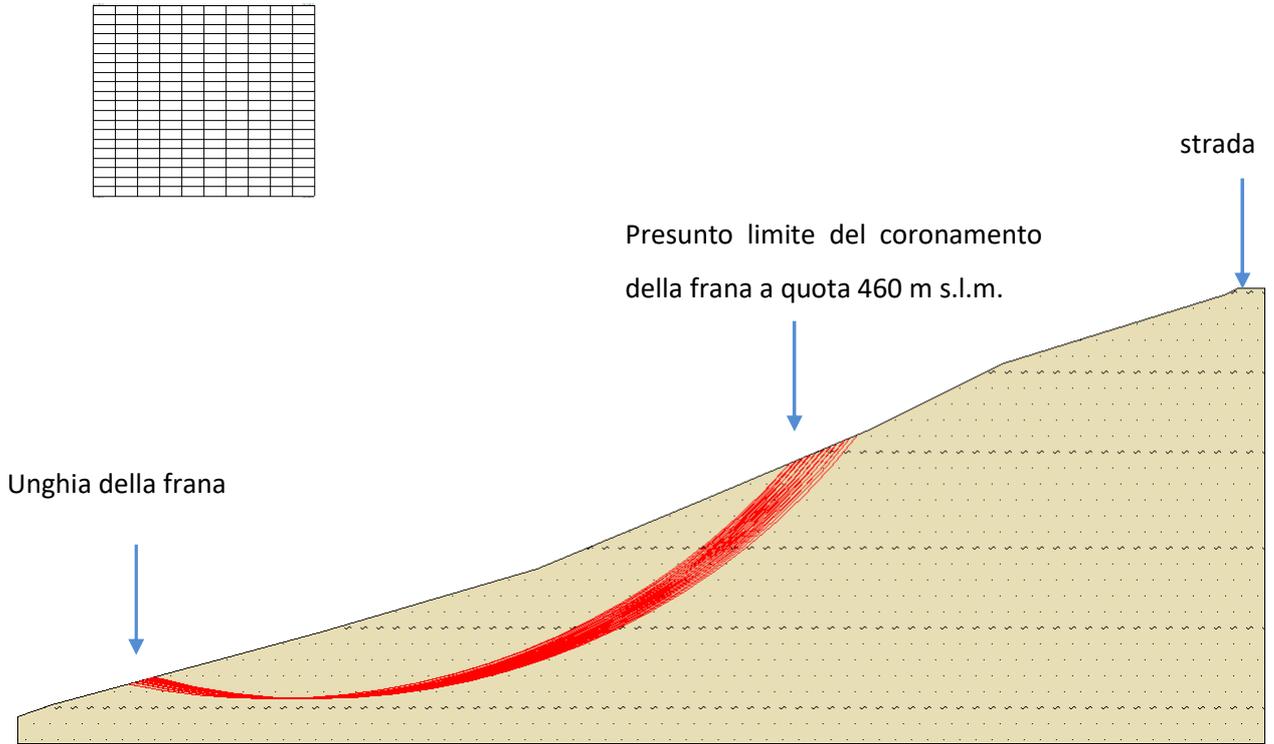


I valori di F e di X per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre X = 0 ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa l'1%.

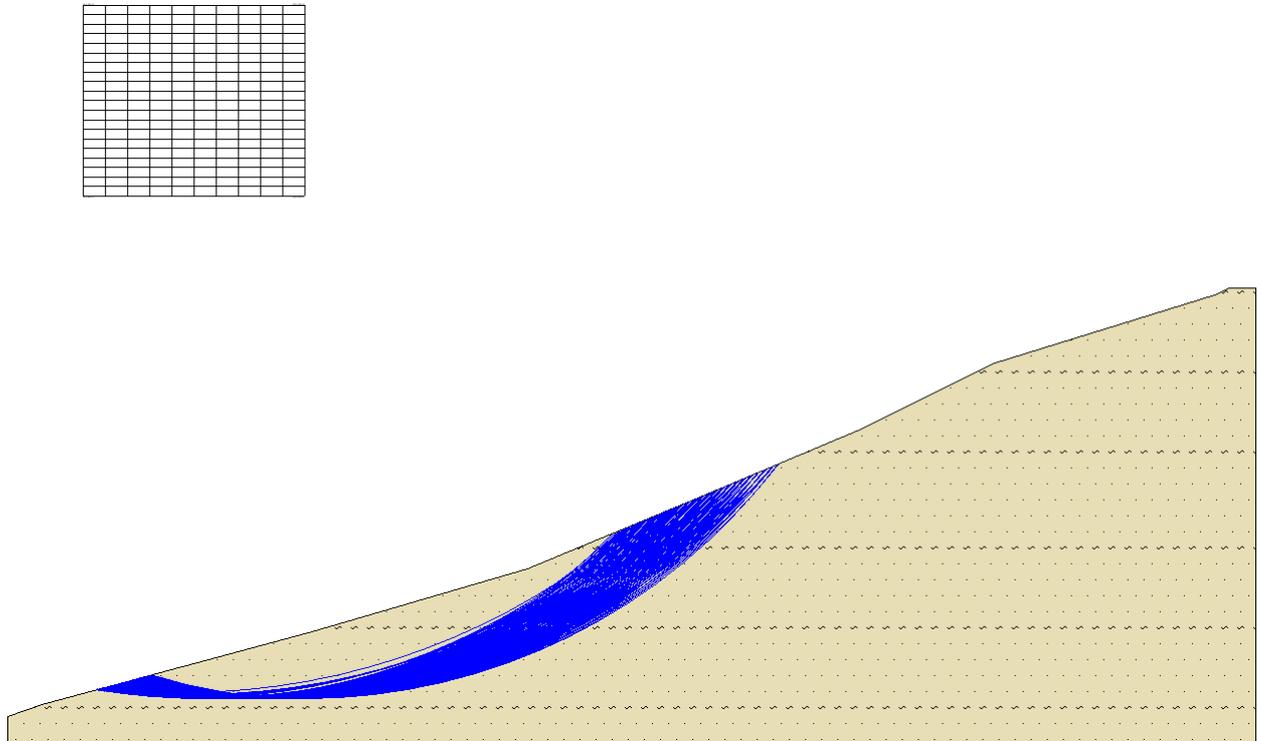
8.2 Risultati

L'analisi ha prodotto i seguenti risultati:

Fs minimo individuato	1,04
Ascissa centro superficie	38,46 m
Ordinata centro superficie	523,54 m
Raggio superficie	102,53 m



Superfici aventi fattore di sicurezza compreso tra 1 e 1,1.



Superfici aventi fattore di sicurezza compreso tra 1,1 e 1,3.

8.3 Commento

Come si evince dalle sezioni di verifica il fattore di sicurezza ottenuto, ipotizzando una stratigrafia omogenea caratterizzata da angolo d'attrito $\phi=30^\circ$, risulta pari ad 1, quindi in equilibrio limite.

Le superfici di scivolamento iniziano grossomodo a quota 460 m s.l.m. in corrispondenza del presunto limite dell'area in frana. Contestualmente le superfici si concentrano in prossimità della zona di accumulo. La profondità di sviluppo è stimabile in circa 5-10 m.

Pertanto le possibili cause che possono aver innescato il movimento, sono da ricercare nella saturazione di livelli fini e/o poco addensati lungo il versante oltreché all'azione di scalzamento esercitata dal Torrente Gandaloggio al piede del versante.

Si sottolinea che solo a seguito della caratterizzazione geotecnica dei terreni, tramite accurate indagini geognostiche, oltreché al rilievo plano-altimetrico del versante, sarà possibile svolgere verifiche di stabilità calibrate in relazione all'effettiva topografia e, soprattutto, alla definizione dei parametri meccanici dei materiali coinvolti.

9. CONCLUSIONI

L'evoluzione del movimento franoso in tempi brevi potrebbe comportare l'avanzamento dell'accumulo di frana con conseguente occlusione dell'alveo del Torrente Gandaloggio.

Le cause predisponenti del dissesto possono essere individuate nell'elevata pendenza del versante, nelle caratteristiche geotecniche dei materiali coinvolti, oltre che nell'appesantimento della topografia per opera della vegetazione.

Le cause scatenanti, sono probabilmente da ricercare nell'erosione al piede operata dal Torrente Gandaloggio, dalla magnitudo - frequenza delle precipitazioni che condizionano la circolazione idrica superficiale e sotterranea.

Inoltre, la presenza di un corso d'acqua denominato "Valle di Ello", appartenente al Reticolo Idrico Minore del Comune di Colle Brianza, attraversante la superficie topografica della frana, potrebbe gravare sull'evoluzione geomorfologica del versante. È ragionevole pensare, che in occasione di importati precipitazioni, l'azione drenante di tale vallecola, potrebbe saturare livelli di terreno poco competenti, riducendo le capacità meccaniche dei materiali.

In considerazione a quanto sopra descritto, in merito alla situazione geologica, idrogeologica e sismica ipotizzata nell'area d'intervento, non sono emerse situazioni di potenziale interferenza con la proposta operativa, nel rispetto delle norme d'attuazione indicate.

