

REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DEL VERBANO CUSIO OSSOLA



COMUNE DI MONTECRESTESE

LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PISTA AGRO-SILVO-PASTORALE AGARINA-MERLATA

D.M. 14 gennaio 2008

"Nuove norme tecniche per le costruzioni"

L.R. 45 del 9 agosto 1989

*"Nuove norme per gli interventi da eseguire in terreni sottoposti
a vincolo per scopi idrogeologici"*

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

Committente:

COMUNE DI MONTECRESTESE
Fr. Montecrestese n° 1
28864 Montecrestese (VB)

Data:

Luglio 2017



STUDIO GEOLOGICO MARANGON

Via Bonomelli N°16
28845 Domodossola (VB)
tel. +39 0324 249100 fax. +39 0324 249100
e-mail: marageo@libero.it

Il tecnico
Dott. Geol. Paolo Marangon

INDICE

1	PREMESSA	1
1.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	1
1.2	VINCOLI E RAPPORTI RISPETTO AL QUADRO PROGRAMMATICO DI SETTORE	1
1.3	ANALISI DEI VINCOLI E DEL P.R.G.C.	1
2	RELAZIONE GEOLOGICA	2
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	2
2.1.1	Aspetti geologici e geologico-strutturali regionali	2
2.1.2	Aspetti strutturali sull'area vasta	3
2.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	4
2.3	IDROLOGIA	5
2.3.1	Idrologia superficiale	5
2.3.2	Idrologia sotterranea	5
2.4	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE	5
2.4.1	Substrato roccioso	5
2.4.2	Substrato detritico	6
3	RELAZIONE GEOTECNICA	6
3.1	ASPETTI SULLA SISMICITÀ DELL'AREA	6
3.1.1	Individuazione della pericolosità del sito	6
3.1.2	Scelta della strategia di progettazione	7
3.1.3	Determinazione dell'azione di progetto	8
3.1.4	Categoria di sottosuolo	9
3.1.5	Amplificazione stratigrafica	9
3.1.6	Amplificazione topografica	9
3.1.7	Accelerazione massima di progetto	10
3.2	CARATTERISTICHE DEL PROGETTO	10
3.2.1	MOVIMENTAZIONE DI MATERIALE	10
3.3	CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO	11
9.	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO	12
3.4	ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE	14
3.4.1	CENNI METODOLOGICI	14
3.4.2	IMPOSTAZIONE DELLA PROCEDURA DI CALCOLO	14
3.4.3	RISOLUZIONE CON I METODI DELL'EQUILIBRIO LIMITE: metodo di Bishop (semplificato)	16
3.4.4	RISULTATI DI CALCOLO	17
4	CRITERI TECNICO-ESECUTIVI	19
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	20

1 PREMESSA

La presente indagine geologico-tecnica è stata eseguita in riferimento al *D.M.14 gennaio 2008*, ed ai sensi della *L.R. 9 agosto 1989 n. 45 (aree sottoposte a vincolo idrogeologico)*, per la sistemazione e messa in sicurezza di alcuni tratti della pista agro-silvo-pastorale che conduce all'Alpe Merlata, così come riportato negli elaborati progettuali predisposti dallo Studio Tecnico Ingeoart S.r.l. con sede in Villadossola (VB).

Il lavoro svolto si è posto l'obiettivo di evidenziare le condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dei luoghi lungo i quali è previsto il tracciato in progetto, nonché stabilire i dati geotecnici e le condizioni di equilibrio dei terreni di imposta.

A tale scopo ci si è procurati una serie di dati bibliografici ed un'adeguata cartografia della zona; dalla consultazione dei dati a disposizione è stato possibile ottenere un primo quadro complessivo dell'area vasta in analisi.

A questa fase ha fatto seguito un rilievo di dettaglio sul terreno, il quale ha permesso di evincere le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del territorio, nonché ricavare i dati geotecnici essenziali per stabilire la fattibilità dell'intervento.

I risultati ottenuti hanno permesso di definire i criteri tecnico-esecutivi per la realizzazione della pista compatibilmente con l'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico del versante, ponendo particolare attenzione alla stabilità dello stesso secondo quanto previsto dalla legislazione vigente.

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Topograficamente l'intervento è localizzato sulla tavoletta I.G.M. in scala 1:25000 "Valle dell'Isorno" I S.E. del Foglio 15 della Carta d'Italia, nonché sulla Carta Tecnica Regionale CTR in scala 1:10000 - sezione n° 036130 "Pizzo Cortefreddo".

L'area in esame è ubicata in sinistra idrografica del torrente Isorno, nella fascia di versante circa compresa tra l'Alpe Agarina e la Località Merlata, nel Comune di Montecrestese (VB).

Le quote topografiche entro cui si svilupperà la pista agro-silvo-pastorale in progetto sono comprese tra la quota minima di 1.283 metri s.l.m. e la quota massima di 1.444 metri s.l.m. circa.

L'area di partenza della nuova strada agro-silvo-pastorale è attualmente accessibile dai mezzi motorizzati attraverso il percorrimto dell'esistente strada sterrata.

1.2 VINCOLI E RAPPORTI RISPETTO AL QUADRO PROGRAMMATICO DI SETTORE

Sotto l'aspetto vincolistico l'area interessata dall'intervento ricade in una zona sottoposta a vincolo idrogeologico di cui alla L.R. 45/89 e s.m.i. (ex R.D.L.3267/23).

L'area risulta inoltre sottoposta a vincolo paesaggistico-ambientale ai sensi del D.Lgs. 42/04.

Dalla consultazione della cartografia delle aree in dissesto del Piano di Assetto Idrogeologico - Foglio 036 III "Premia", si rileva che l'area di intervento non interferisce con aree in dissesto individuate dal P.A.I.

Inoltre, dalla consultazione della cartografia del Progetto IFFI si rileva che nella porzione compresa tra il "tratto 1" ed il "tratto 2" si intercetta un areale classificato come "area soggetta a crolli/ribaltamenti" non interferente con gli interventi di manutenzione in progetto.

1.3 ANALISI DEI VINCOLI E DEL P.R.G.C.

L'analisi della cartografia di PRGC evidenzia come il settore territoriale interessato dallo sviluppo del tracciato in progetto interferisce con aree in dissesto ed in particolare con un settore cartografato come caratterizzato da crolli diffusi, uno come frana stabilizzata e uno come frana quiescente. (vedere cartografia allegata)

Le porzioni di territorio interessate dalle opere in progetto risultano ascritte alla classe di idoneità geomorfologica IIIa.

Un estratto della carta di sintesi della pericolosità geologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica è riportato a fine testo, con identificata l'area in cui sono previste le opere oggetto del presente studio.

2 RELAZIONE GEOLOGICA

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1.1 ASPETTI GEOLOGICI E GEOLOGICO-STRUTTURALI REGIONALI

Ai fini di tale inquadramento è stato assunto, quale riferimento, il foglio n°15 "Domodossola" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, unitamente a cartografie tematiche e studi geologici di maggiore dettaglio, il tutto correlato con i rilievi diretti effettuati nell'areale di indagine.

Il territorio in analisi fa parte di un settore delle Alpi Occidentali dove intensi processi erosivi e deformativi hanno portato alla luce gli elementi strutturali più profondi dell'edificio alpino. Tali unità vengono denominate Ricoprimenti Pennidici Inferiori e fanno parte del ben più esteso complesso metamorfico delle Pennidi.

Per meglio comprendere, dal punto di vista geologico, l'ubicazione del territorio in esame, è opportuno fare riferimento ad una visione generale e sintetica delle Alpi.

L'attuale struttura delle Alpi è, come noto, il risultato dell'orogenesi sviluppatasi attraverso tappe che partono dal Cretaceo ed arrivano fino al Pliocene. Le principali unità strutturali che costituiscono la suddetta catena, procedendo da Nord a Sud, sono le seguenti:

- l'avampaese
- i sedimenti terrigeni attuali e recenti (Molasse)
- la catena del Giura
- le Unità Elvetico-Delfinesi
- le Unità Pennidiche che, in associazione con le unità precedenti, formano le Alpi Occidentali
- le Alpi Orientali, all'interno delle quali sono collocate le "finestre tettoniche" entro cui vengono a giorno le Unità Pennidiche (Finestra dell'Engadina, Finestra Insubrica)
- le Alpi Meridionali, delimitate dalla Linea Insubrica
- i sedimenti terrigeni attuali e recenti (Molasse)

Nel Dominio Pennidico, nel quale è ubicata l'area in esame, si possono distinguere almeno sei falde pennidiche: Antigorio, Lebendun, Monte Leone, Gran San Bernardo, Monte Rosa, Sesia-Lanzo e Dent Blanche.

Considerando una teorica disposizione verticale delle falde pennidiche, si nota che le prime tre Unità, sovrastanti la zona infrapennidica costituita dalla Cupola di Verampio, formano i Ricoprimenti Pennidici Inferiori; ad essi fanno seguito i Ricoprimenti Pennidici Medi, composti dalla Falda del Gran San Bernardo (oppure dall'Unità Moncucco-Orselina a seconda delle zone considerate) e dall'Unità Camughera; concludono lo schema verticale i Ricoprimenti Pennidici Superiori composti dalla Falda del Monte Rosa, al di sopra dei quali vi sono le "Unità Ofiolitiche Piemontesi" seguite dalla falde Dent Blanche e Sesia Lanzo, queste ultime facenti già parte del sistema Austro-Alpino.

Le Unità Pennidiche sono caratterizzate da una tettonica ad ampi ricoprimenti, costituiti prevalentemente da rocce gneissiche erciniche polimetamorfiche, a volte con copertura permocarbonifera, generati durante le fasi secondarie dell'orogenesi alpina (Cenozoico) in seguito al coricamento verso Nord-Ovest di grandi pieghe anticlinali. Il risultato di questo processo è rappresentato da unità strutturali, sovrapposte le une sulle altre, separate da contatti di natura tettonica.

Durante queste fasi, terreni di età più recente vengono intrappolati tra le unità di basamento pre-triassico (le falde di ricoprimento), costituendo le cosiddette "Sinclinali mesozoiche", di età triassica-giurese.

Rispettando le teorie e gli schemi attualmente riconosciuti sulla genesi delle Alpi, sia le unità pre-triassiche che le sequenze mesozoiche vengono interessate durante l'orogenesi alpina (Cenozoico) da fenomeni tettonico-metamorfici con caratteristiche termo-bariche elevate (facies anfibolitica). Per questo motivo, le attribuzioni stratigrafiche alle diverse unità della catena sono abbastanza imprecise e basate, come già ricordato, su criteri di analogia di facies.

A questa complessa storia geologica si sono sovrapposti fenomeni di rimodellamento glaciale, fluvio-glaciale e fluviale, con relativi depositi, che hanno dato luogo alle caratteristiche morfologie vallive attualmente osservabili.

Nello specifico si osserva come la zona di interesse risulta per la quasi totalità caratterizzata da affioramenti rocciosi appartenenti alla Falda del Monte Leone e costituiti da ortogneiss granitici a grana fine, spesso a bande e raramente occhiadini.

L'estremo settore orientale interessato dalla pista in progetto, circa dall'altezza dell'invaso artificiale di Merlata, il substrato roccioso appare composto da prevalenti paragneiss e micascisti biotitico-muscovitici, con locali minori orizzonti anfibolitici, appartenenti alla Zona Moncucco-Orselina-Isorno.

Tali unità formazionali, proprio in prossimità del citato invasore, risultano intercalate da un sottile livello di rocce carbonatiche (marmi e calcescisti a loro volta con possibili intercalazioni di rocce mafiche, quarziti ed evaporiti).

2.1.2 ASPETTI STRUTTURALI SULL'AREA VASTA

La valle del torrente Isorno, oggetto della presente indagine, appartiene al dominio dei Ricoprimenti Pennidici Inferiori, delimitato a Sud dalla Linea Tettonica Sempione-Centovalli.

La successione degli elementi strutturali appartenenti al Pennidico Inferiore e affioranti nell'area vasta in esame, può essere schematizzata nelle seguenti unità, elencate seguendo un ordine stratigrafico (dal basso verso l'alto):

- ❖ Ricoprimento di Antigorio: si tratta di un'unità che copre un'ampia zona della Val d'Ossola. E' costituita da gneiss occhiadini, a grana medio-grossa, derivanti da protoliti granitici, talora porfirici, tardo-paleozoici, metamorfosati in facies anfibolitica in età mesoalpina; gli gneiss sono avvolti da un sottile, ma abbastanza continuo, involucro di rocce triassiche e calcescisti probabilmente liassici. Questa unità ha una potenza notevole dovuta a raddoppiamenti tettonici che possono portare a spessori dell'ordine dei 500 metri.
- ❖ Falda del Lebendum: questa unità è stata (e lo è tuttora) al centro di accesi dibattiti durante i quali si è cercato di dare un'esatta interpretazione alle rocce che vi appartengono. I problemi derivano dalla elevata complessità tettonico-stratigrafica, che rende difficile una chiara ricostruzione della sua storia geologica. La mancanza delle zone di radice potrebbe far pensare al Lebendum non più come ad una falda ma come a dei depositi, permo-carboniferi e mesozoici, appartenenti al Dominio Ultraelveto (situato più a Nord), rimasti intrappolati tra la Falda Antigorio e quella del Monte Leone. Dal punto di vista petrografico, questa unità è costituita nella parte inferiore da sequenze metamorfiche arenaceo-conglomeratiche, che lasciano il posto a calcescisti nelle zone sommitali della struttura.
- ❖ Falda del Monte Leone: è la parte terminale del Pennidico Inferiore e la sua composizione è eterogenea, gneiss occhiadini a grana fine, simili a quelli di Antigorio, ma più scistosi; gneiss ad orneblenda ed epidoto; scaglie di coperture mesozoiche comprendenti marmi, paragneiss, anfiboliti e calcescisti.

Tali falde pennidiche risultano tra loro separate da sottili sinclinali mesozoiche di calcescisti con limitate intercalazioni ofiolitiche (Zona Vallesana).

2.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio ampio di indagine è stato significativamente interessato, nel corso del Quaternario, dall'evolversi dei fenomeni glaciali, i quali hanno esercitato sui pendii rocciosi un'opera modellatrice.

A grande scala, in tutta la zona d'indagine ed in quelle adiacenti, le alterne pulsazioni glaciali ed i connessi fenomeni di esarazione hanno causato l'approfondimento vallivo in più fasi, determinando così un tipico profilo caratterizzato dalla presenza di terrazzi glaciali, con gli spartiacque diffusamente arrotondati e con deposizione di fondo sui temporanei fondovalle durante i periodi di relativa stasi tettonico-erosiva.

Tra le forme tipiche dell'erosione glaciale, si osservano, in quota, ampi circhi glaciali; tali forme sono nicchie scavate nei fianchi montuosi e sono caratterizzate da un contorno semicircolare e dal fondo pianeggiante; all'interno di queste conche si raccolgono estesi accumuli detritici oppure si formano piccoli laghi perenni, delimitati, verso valle, da soglie rocciose di sbarramento. La suddetta azione erosiva è testimoniata anche dalle vette piramidali di alcuni rilievi, risultato dell'erosione del ghiacciaio di circo sulle pareti rocciose, e dalla presenza costante di rocce lisce e levigate: le sporgenze rocciose del substrato venivano modellate dalla potente azione erosiva del ghiacciaio in movimento, assumendo forme tipicamente e dolcemente arrotondate sul lato a monte, più irregolari e scabre sul lato a valle.

Il ritiro dei ghiacciai ha portato all'accumulo, lungo le pendici rocciose ed a valle delle stesse, di depositi morenici e fluvio-glaciali, le cui potenze risultano estremamente variabili in rapporto alle successive evoluzioni del territorio. Si tratta essenzialmente di depositi che presentano una granulometria variabile dal blocco ai limi, con abbondante frazione sabbiosa e limosa grigiastra, localmente asportata in superficie per dilavamento.

Tali coperture, che spesso definiscono una morfologia meno acclive nella porzione mediana dei versanti, sono la testimonianza di ciò che rimane degli antichi terrazzi glaciali, un tempo molto estesi ed in seguito parzialmente incisi, erosi e rimaneggiati dall'azione esercitata dalle acque. Alla fase tardo-postglaciale è riferibile l'attività erosiva fluviale.

Il segno lasciato da tale attività è attualmente visibile localmente lungo i versanti vallivi, difatti nella loro porzione meno elevata si nota la presenza di pareti molto acclivi, spesso verticali, con profonde gole di incisione dovute all'erosione operata dai corsi d'acqua.

Con l'avvento dell'erosione fluviale, a seguito del ritiro dei ghiacci, vi è stato un approfondimento ed un'incisione delle depressioni vallive ed un naturale sviluppo della rete idrografica di ordine minore, la cui gerarchizzazione testimonia l'evoluzione morfologica.

I rii si sono instaurati lungo le vie preferenziali di deflusso, formate o da linee di debolezza dell'ammasso roccioso (scistosità, stratificazione, fratturazione) o da incisioni avvenute come conseguenza dei movimenti dei ghiacciai.

Lo sviluppo della rete idrografica ha portato ad un'intensa attività erosiva (dovuta anche agli agenti esogeni), per cui il materiale eroso assieme a quello strappato alla copertura dalle acque di dilavamento, ha dato e dà tuttora origine ad abbondanti depositi che conferiscono a valle. Dove l'azione erosiva delle acque superficiali e degli agenti esogeni ha asportato la copertura, affiora il substrato roccioso.

Al modellamento del territorio, nel tratto di valle esaminato, hanno contribuito altri fattori morfogenetici che si sono manifestati e si manifestano tuttora attraverso diverse azioni geodinamiche, tra cui l'azione delle acque superficiali non incanalate e azione del disfacimento detritico del substrato roccioso, l'azione geodinamica fluvio-torrentizia, l'azione gravitativa superficiale, l'azione gravitativa profonda, i fattori geologici, i processi di alterazione e, infine, le morfologie connesse ad interventi antropici.

Le principali forme morfologiche rilevate nell'intorno della fascia territoriale

attraversata dalla pista in progetto, nonché le tipologie di materiale detritico di copertura quaternaria ed i settori caratterizzati da porzioni rocciose in affioramento, sono dettagliatamente indicati nell'allegata carta geologico-geomorfologica.

2.3 IDROLOGIA

2.3.1 IDROLOGIA SUPERFICIALE

Il collettore di drenaggio principale delle acque superficiali è costituito dal torrente Isorno, il cui alveo scorre a Sud della pista in progetto con direzione circa Est-Ovest. Il bacino imbrifero del corso d'acqua presenta estensione areale piuttosto significativa, ed è delimitato ad Est dalla linea di cresta spartiacque di confine con la Confederazione Elvetica.

Tale collettore raccoglie le acque superficiali della Valle Agrasina (parte medio-alta del bacino) e della Valle dell'Isorno (parte medio-bassa), immettendosi poi nel Fiume Toce in prossimità della Località Pontetto di Montecrestese.

In corrispondenza della porzione circa mediana dello sviluppo della pista in progetto, viene intercettato il rio Nocca, tributario di destra del torrente Isorno; l'asta torrentizia assume un andamento subrettilineo orientato prevalentemente in direzione circa N.N.E.-S.S.W., a causa del probabile controllo tettonico.

Lungo lo sviluppo del tracciato previsto, vengono inoltre intercettati alcuni colatori minori, per lo più a regime di deflusso, ed impostati in roccia; tali segmenti tributari di destra del torrente Isorno presentano andamento anarchico e modesto bacino di alimentazione.

L'idrografia superficiale si completa, infine, con i fenomeni di ruscellamento diffuso lungo tutta la vasta porzione di versante in esame; tali acque vengono comunque ricondotte ad un deflusso di tipo incanalato quando convogliano naturalmente nei canali morfologici o nelle linee di impluvio esistenti.

2.3.2 IDROLOGIA SOTTERRANEA

La circolazione idrica sotterranea è legata ai fenomeni di infiltrazione delle acque superficiali che, a loro volta, risultano condizionati dalla tipologia della coltre di copertura, dallo stato di fessurazione del substrato roccioso e dalla morfologia del territorio.

L'analisi del sistema di alimentazione dell'acquifero sotterraneo deve essere ricercato nel complesso sistema idraulico che caratterizza l'intera zona territoriale esaminata; pertanto, in riferimento alla prevalente presenza di roccia affiorante/subaffiorante ed alle caratteristiche geolitologiche della coltre di copertura (prevalenti depositi di versante e/o eluvio-colluviali di moderata potenza), nonché geomorfologiche del territorio, la circolazione idrica sotterranea risulta limitata e discontinua, nonché identificabile nella zona di contatto tra detrito e substrato roccioso.

Ovviamente non è da escludere una circolazione più profonda delle acque, che può avvenire per porosità secondaria, ovvero lungo fratturazioni e/o fessure della roccia; tale fenomeno è strettamente legato alle caratteristiche della roccia stessa quali scistosità, grado di fratturazione, etc.

2.4 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE

L'analisi dettagliata condotta direttamente in sito, ha permesso di rilevare la caratteristiche del substrato roccioso e della copertura superficiale che costituiscono i terreni investigati.

2.4.1 SUBSTRATO ROCCIOSO

L'areale interessato dal passaggio del tracciato agro-silvo-pastorale in progetto risulta per la quasi totalità caratterizzato da un substrato roccioso composto da ortogneiss granitici a grana fine, spesso a bande e raramente occhiadini, appartenenti alla formazioni della Falda del Monte Leone.

L'estremo settore orientale interessato, invece, circa dall'altezza dello sbarramento artificiale di Merlata, è caratterizzato da un substrato roccioso composto da prevalenti paragneiss e micascisti biotitico-muscovitici, con locali minori orizzonti anfibolitici, appartenenti alla Zona Moncucco-Orselina-Isorno.

Nella zona di contatto e transizione tra le due unità formazionali sopra descritte, e proprio in prossimità del citato invaso, sono rilevabili rocce carbonatiche (marmi e calcescisti a loro volta con possibili intercalazioni di rocce mafiche, quarziti ed evaporiti) che costituiscono un livello relativamente ristretto.

L'immersione globale dei piani di scistosità, in tutto un vasto intorno dell'area esaminata, avviene in direzione da E.S.E. a S.S.E., con inclinazioni variabili dai 30° ai 45° circa.

La roccia in posto affiora e sub-affiora diffusamente lungo tutto il versante su cui andrà ad impostarsi la strada in progetto, localmente ricoperto da coltri detritiche di varia natura sempre di potenza medio-moderata.

2.4.2 SUBSTRATO DETRITICO

Detrito di versante: i terreni di imposta del tracciato sono costituiti, in parte, da depositi gravitativi di versante, caratterizzati da materiale litoide a pezzatura media, con dimensioni medie da centimetriche a decimetriche, intasati da abbondante matrice ghiaioso-terrosa. Le singole porzioni litoidi inglobate nel detrito hanno forma principalmente prismatica, a spigoli vivi, il cui incastro contribuisce in maniera rilevante a garantire buone caratteristiche geotecniche del terreno d'imposta. La distribuzione granulometrica è piuttosto caotica, in funzione di alimentazioni a più riprese, nonché di cicli di rielaborazione delle porzioni più minute.

Detrito di falda: interessano alcuni localizzati settori del versante attraversato dal tracciato in progetto, e sono generalmente composti da elementi litoidi spigolosi di forma tabulare con pezzatura medio-minuta, mediamente intasati da matrice fine. In alcuni tratti tale detrito appare privo di matrice fine nella porzione più superficiale, e nel tratto che precede l'attraversamento del rio Nocca si è rilevato un accumulo detritico di falda a grosso blocchi non intasati.

Coltri eluvio-colluviali: sono coltri di copertura costituite da un'elevata percentuale di pezzame lapideo di dimensioni variabili (per la maggior parte medio-minute), a matrice prevalentemente fine e con potenze di ordine da decimetrico a metrico.

3 RELAZIONE GEOTECNICA

3.1 ASPETTI SULLA SISMICITÀ DELL'AREA

La definizione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in 3 distinte fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri da parte del progettista; le tre fasi vengono di seguito esplicate.

3.1.1 INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

La pericolosità sismica di base del sito di intervento è definita in termini sia di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido di categoria di sottosuolo A con superficie topografica orizzontale, sia in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nella vita di riferimento dell'opera V_R . In particolare, le forme spettrali sono definite per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori di alcuni parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione massima sul sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono forniti per i 10751 nodi del reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio italiano e per 9 valori del periodo di ritorno T_R . Per i punti non ricadenti in corrispondenza dei nodi del reticolo, il valore dei parametri sopra indicati viene ricavato per interpolazione, utilizzando il valore ottenuto dalla media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia del reticolo di riferimento contenente il punto in esame.

Il primo passo dell'analisi è stato quindi quello di calcolare le coordinate geografiche del sito di intervento in modo da acquisire successivamente le azioni sismiche locali (proprie del sito specifico) sulla base di un reticolo di riferimento.

I parametri sismici del sito sono stati ricavati dalla media ponderata dei valori noti nei 4 punti di riferimento all'intorno del sito stesso. L'analisi viene svolta con l'utilizzo del software "Spettri NTC", messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale.

Ad ogni stato limite considerato corrispondono valori differenti di tali parametri.

Per gli stati limite di tipo geotecnico (GEO) sotto l'effetto di azioni sismiche, le verifiche di sicurezza da affrontare per le costruzioni con classe d'uso II come quella in esame sono:

- stato limite ultimo SLV con verifica della resistenza del sistema fondazione-terreno, della stabilità dei rilevati, dei muri di sostegno e dei fronti di scavo.
- stati limite di esercizio SLD con verifica del contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno (cedimenti);

Le elaborazioni effettuate con apposito software in riferimento alle coordinate del sito di intervento, per lo stato limite ultimo SLV forniscono i seguenti dati:

a_g	0,075
F_o	2,490
T_c^*	0,288
T_R	475

Le coordinate utilizzate, corrispondenti ad una zona circa baricentrica rispetto allo sviluppo lineare del tracciato in progetto, sono: Lat. 46,224589° - Long. 8,403270° (ED50).

3.1.2 SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

In questa fase vengono definiti i parametri fondamentali di seguito indicati, sulla scorta dei coefficienti che definiscono la tipologia e la classe d'uso dell'opera in progetto.

☞ Vita nominale della costruzione

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella seguente tabella:

Tipi di costruzione		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

☞ Coefficiente d'uso della costruzione

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

<i>Classe I:</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in <i>Classe d'uso III</i> o in <i>Classe d'uso IV</i> , reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in <i>Classe d'uso IV</i> . Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

☞ Periodo di riferimento per la costruzione

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella seguente tabella:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1	1,5	2

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

In riferimento all'intervento in progetto, si sono attribuiti i seguenti parametri:

V_N	Vita nominale	≥ 50 anni
	Classe d'uso	II
C_U	Coefficiente d'uso	1,0
P_{VR}	63% per SLD	
P_{VR}	10% per SLV	

3.1.3 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

In questa fase di analisi viene definito il valore di progetto dell'azione sismica massima orizzontale preventivabile sul sito in esame con prefissati T_R e P_{VR} .

L'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X e Y e da una verticale Z, da considerare tra loro indipendenti.

Generalmente, come nel caso in esame, per le opere ed i sistemi geotecnici la componente verticale risulta trascurabile. Le componenti possono essere descritte mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

Le due componenti orizzontali, ortogonali tra loro, sono caratterizzate dal medesimo spettro di risposta.

Tale spettro in accelerazione è utilizzato per strutture con periodo fondamentale $\leq 4,0$ s ed è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) moltiplicata per il valore della accelerazione massima orizzontale a_g , ottenuto in precedenza su sito di riferimento rigido orizzontale: sia la forma spettrale che il valore di a_g si differenziano al variare della probabilità di superamento (P_{VR}) nel periodo di riferimento T_R .

☞ Risposta sismica locale

La risposta sismica in ambito strettamente locale viene valutata sulla base dei seguenti parametri:

- ♦ categoria di sottosuolo (A, B, C, D, E, S1, S2);
- ♦ amplificazione stratigrafica S_s ;
- ♦ amplificazione topografica S_T .

3.1.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Con la Deliberazione della Giunta Regionale n°4-3084 del 12 dicembre 2011 è stato approvato l'aggiornamento e l'adeguamento delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie finalizzate alla prevenzione del rischio sismico ed è stata recepita la classificazione sismica di cui alla DGR n. 11-13058 del 19 gennaio 2010.

In riferimento a tale D.G.R. i territori comunali di Ceppo Morelli, Vanzone San Carlo e Bannio Anzino (VB) risultano ascritti alla Zona 3, caratterizzata da un'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni compresa tra 0,05 e 0,15 a_g/g , e da un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0,15 a_g/g .

L'area di interesse risulta caratterizzata dalla prevalente presenza di depositi superficiali di natura eluvio-colluviale, di versante e localmente morenica, avente sempre spessori sempre di ordine medio-moderato.

Pertanto secondo i criteri elencati al punto 3.1 dell'Allegato 2 dell'O.P.C.M. n° 3519 del 28 aprile 2006 e nel D.M. 14/01/2008, si ritiene idoneo e sufficientemente cautelativo identificare i terreni di fondazione in una categoria di suolo assimilabile alla categoria "E", ossia "Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{S30} > 800$ m/s)".

3.1.5 AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti SS e CC valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di a_g , F_0 e TC^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni tabulate sotto e nelle quali "g" rappresenta l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	SS	CC
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,25}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$

3.1.6 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per superfici topografiche semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera	S_t
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.	-	1,00
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.	Sommità del pendio	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,20

T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,40
----	--	--------------------	------

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità fino alla base dove S_T assume valore pari a 1.

3.1.7 ACCELERAZIONE MASSIMA DI PROGETTO

Avendo acquisito i parametri essenziali all'analisi della risposta sismica locale, è ora possibile definire l'accelerazione massima di progetto attesa al suolo A_{max} , valore che verrà adottato per i successivi calcoli di verifica analitica, mediante la seguente relazione:

$$A_{max} = a_g * S_s * S_T = [0,075 \text{ g} * 1,6 * 1,20] = 0,144 \text{ g}$$

3.2 CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

Recentemente, anche a causa delle cospicue recenti piogge, si sono verificati dissesti ed erosioni su alcuni tratti di scarpata naturale, concentrati soprattutto in corrispondenza dei tornanti dopo l'attraversamento del Rio Nocca. Tale situazione ha evidenziato anche che i tornanti medesimi, essendo privi di protezione sul bordo esterno, possiedono una certa pericolosità al transito dei veicoli.

Tale pericolosità è aggravata anche dallo stato del fondo naturale che, soprattutto nei tratti di maggior pendenza, è dissestato dalle erosioni dovute al ruscellamento superficiale, e scivoloso.

Per quanto riguarda il ripristino delle scarpate erose e la messa in sicurezza dei tornanti, l'intervento concerne la realizzazione di manufatti in massi semisquadrati di tipologia simile a quelli già esistenti. Si tratta comunque di opere di dimensioni e lunghezze piuttosto contenute, da realizzare esclusivamente lungo il ciglio dell'impianto stradale esistente, anche in continuità a manufatti già in essere. Si ritiene che tali opere siano compatibili dal punto di vista paesaggistico.

Relativamente al fondo dissestato si prevede invece di pavimentare i tratti maggiormente soggetti ad erosione e ritenuti più insidiosi per il transito dei veicoli.

Il progetto di straordinaria manutenzione alla strada agro-silvo-pastorale Agarina-Merlata si compone pertanto di una serie di interventi per la stabilizzazione ed il consolidamento delle scarpate e la messa in sicurezza del piano viario.

3.2.1 MOVIMENTAZIONE DI MATERIALE

Dall'analisi degli elaborati di progetto si evince come il volume complessivo di "scavo" ai sensi della L.R. 45/89 s.m.i necessario alla realizzazione delle opere in progetto, nel complesso risulti essere pari a ca. **316.30 m³**. Il volume dei riporti previsti per la formazione delle scarpate e per la realizzazione delle opere di ingegneria naturalistica è stato quantificato in circa 27826,90 m³, il materiale in eccedenza verrà allontanato dai luoghi delle opere e portato in apposita discarica.

La superficie totale interessata dai lavori risulta essere di circa 222.78 m².

INTERVENTO	scavo - mq	larghezza - m	distanze ML	volume - mc	superficie - mq
A	0,00	0,00	26,00	0,00	0,00
B	5,80 2,00	2,85 2,45	9,00 9,50	52,20 19,00	25,65 23,28
C	5,00	3,30	6,00	30,00	19,80
D	0,00 3,80	0,00 2,30	14,00 7,00	0,00 26,60	0,00 16,10
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	17,00	0,00	0,00
G	3,50	2,45	11,00	38,50	26,95
H	0,00 5,00	0,00 3,70	45,00 30,00	0,00 150,00	0,00 111,00
I	0,00	0,00	17,00	0,00	0,00
				191,50	222,78
				totale mc	totale mq

3.3 CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

In relazione all'osservazione diretta dei terreni detritici eluvio colluviali rilevati e sulla scorta di analisi correlative svolte in merito, il terreno può essere classificato secondo lo United Soil Classification System, comunemente adottato dal Corps of Engineers e dal Bureau of Reclamation System; si attribuisce quindi il materiale indagato al gruppo **GM**, definibile come ghiaie miste a sabbia e limo.

In funzione della classificazione ottenuta, si possono inoltre definire le seguenti caratteristiche:

- possibile azione del gelo:	da lieve a media
- compressibilità e rigonfiamento:	molto lieve
- permeabilità:	$10^{-3} \div 10^{-5}$
- densità secca AASHO:	1.90 - 2.15 T/m ³
- caratteristiche di compattazione:	buone con accurato controllo, ruote gommate, rullo a piede di pecora
- valori tipici di progetto:	
C.B.R.	40 - 60
moduli di sottofondo	5.5- 8.3 kg/cm ²

In riferimento, invece, alla copertura gravitativa di versante e di falda rilevata si propone la classificazione del terreno al gruppo **GP**, definito come ghiaie poco graduate o miscela di sabbia-ghiaia a grana piccola o grossa.

In funzione della classificazione ottenuta, si possono inoltre definire le seguenti caratteristiche:

- possibile azione del gelo:	da nessuna a molto lieve
- compressibilità e rigonfiamento:	quasi nessuna
- permeabilità:	10^{-2} cm/sec

- densità secca AASHO:	1.85 - 2.00 T/m ³
- caratteristiche di compattazione:	buone con ruspe, rulli a ruote gommate e lisci
- valori tipici di progetto:	
C.B.R.	30 - 60
moduli di sottofondo	5.5- 8.3 kg/cm ²

9. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO

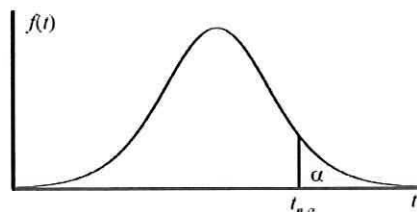
Per la trattazione statistica dei parametri geotecnici dei depositi sciolti, non avendo in tale fase di progetto effettuato prove di laboratorio e/o dirette sui terreni di indagine, si propone di valutare l'angolo d'attrito caratteristico attraverso l'elaborazione statistica di alcuni valori tipici acquisiti da bibliografia, nonché da rilievi diretti condotti su materiali analoghi, per la tipologia di terreno direttamente interessata dagli interventi.

In particolare, sulla scorta di dati pregressi acquisiti su terreni analoghi, si è attribuita alla litologia considerata la classificazione del suolo secondo la U.S.C.S. (Unified Soil Classification System).

L'Eurocodice 7 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 o di SLE.

Se si utilizzano metodi statistici (peraltro non obbligatori), la derivazione del valore caratteristico deve essere tale che la probabilità calcolata di un valore peggiore (più sfavorevole) che governa l'insorgere dello stato limite in considerazione non sia maggiore del 5%.

Si tratta pertanto di un margine conservativo del 5% (che può coincidere con un 5° percentile od un 95° percentile della distribuzione statistica in considerazione), il quale ci garantisce probabilisticamente di avere un 95% dei casi per i quali il valore caratteristico ci cautele. Il valore del 95% è anche quello indicato come probabilità 'u', o integrale della funzione, nelle tavole statistiche relative ai percentili della legge di Student come illustrato in figura:



In geotecnica è circostanza decisamente non infrequente il dovere eseguire delle verifiche in presenza di scarsità di dati. Il trattamento statistico dei dati può essere eseguito anche con pochi dati a disposizione, utilizzando la discriminazione e il giudizio tecnico e la conoscenza regionale e locale.

Quando ci si trova, infatti, in condizioni di compensazione (generalmente strutturale) e il dataset ha una numerosità piccola (da 1 a 5 dati usualmente), possiamo ricorrere alla statistica classica, con ipotesi di varianza nota. L'equazione assume pertanto la seguente forma:

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

dove:

- x_k è il valore caratteristico desiderato
- \bar{x} con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione
- z è la distribuzione normale standardizzata
- σ è la deviazione standard della popolazione

- n è la numerosità del campione

Il valore di σ nell'equazione precedente andrebbe determinato con l'ausilio di database locali specifici; quando questi mancano, si possono utilizzare i valori reperibili in letteratura. A tale proposito è utile esprimere la variabilità in termini di coefficiente di variazione COV espressa anche in termini percentuali:

$$COV = \frac{\sigma}{\mu}$$

dove:

σ = deviazione standard della popolazione

μ = media della popolazione

Il valore del COV è stato scelto pari al 5% per la coltre glaciale e eluvio-colluviale a litologia piuttosto omogenea (2÷5 Nadim-Lacasse per litologie omogenee), mentre pari al 13% per il detrito di versante (5÷15 Baecher-Christian per litologie meno omogenee).

VALUTAZIONE DEI PARAMETRI CARATTERISTICI E DI PROGETTO (5° PERCENTILE DISTRIBUZIONE DELLA MEDIA)

• **Depositi eluvio colluviali**

Per tale tipologia di detrito si propone una classificazione U.S.C.S tipo **GM** con variabilità dell'angolo d'attrito di picco compresa tra 31° e 42°. Dalla trattazione statistica si ottiene:

dati	media dati	Xk	
31	36,50	34,4	Valore caratteristico
42	COV Φ %	Xd	
	5	28,7	Valore di progetto
	n° dati		
	2		
$X_k = \bar{X} - 1.645 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$			
		Z _{0.05}	-1,6449

- coesione (c): 0,1-0,5 T/m²
- angolo di attrito (ϕ_k): 34°
- peso di volume (γ_k): 1,85 T/m³
- permeabilità (k): discreta/scarsa

• **depositi di versante e di falda**

Per tale tipologia di detrito si propone una classificazione U.S.C.S tipo **GP** con variabilità dell'angolo d'attrito di picco compresa tra 34° e 49°. Dalla trattazione statistica si ottiene:

dati	media dati	Xk	
34	41,50	38,1	Valore caratteristico
49	COV Φ %	Xd	
	7	32,1	Valore di progetto
	n° dati		
	2		
$X_k = \bar{X} - 1.645 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$			
		Z _{0.05}	-1,6449

- coesione (c): 0,0 T/m²
- angolo di attrito (ϕ_k): 38°

- peso di volume (γ_k): 1,90 T/m³
- permeabilità (k): media/buona

I parametri geotecnici sopra indicati, con specifico riferimento all'angolo d'attrito ed al peso di volume del terreno in esame, sono stati assunti in termini di valori caratteristici, ove con il termine caratteristico si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite considerato.

3.4 ANALISI DI STABILITA' GLOBALE

Le seguenti verifiche di stabilità hanno come duplice scopo di verificare la compatibilità degli angoli di riprofilatura di progetto assegnati alle scarpate di neoformazione, nonché per la verifica alla stabilità globale.

In tale frangente, si è quindi provveduto ad eseguire una serie di verifiche di stabilità in corrispondenza delle sezioni di progetto ritenute maggiormente rappresentative per le verifiche analitiche - in termini di morfologia ed entità delle opere di sostegno previste - in modo da valutarne la stabilità globale.

Nella scelta delle sezioni da verificare si è fatta un'attenta valutazione del progetto realizzato dallo studio di progettazione Ingeoart di Villadossola, e si è optato per gli interventi B ed H, poiché rappresentativi di muri in controripa e sottoscarpa su depositi sciolti (detrito di falda) e quindi rappresentanti le situazioni maggiormente cautelative dal punto di vista della stabilità, soprattutto considerando che laddove si incontrerà roccia in posto i muri verranno fissati mediante ancoraggi.

3.4.1 CENNI METODOLOGICI

Le procedure di analisi di stabilità di un pendio in terra, attraverso la valutazione dell'equilibrio limite, consistono nella stima di un coefficiente di sicurezza alla traslazione e/o alla rotazione del volume di terra compreso fra la superficie del versante ed una superficie di taglio potenziale imposta.

La procedura di calcolo prende in considerazione tutte le forze e/o i momenti agenti lungo il piano di taglio, fornendo una valutazione della stabilità globale attraverso le equazioni d'equilibrio fornite dalla statica.

Il coefficiente di sicurezza globale del pendio viene calcolato attraverso il rapporto fra la resistenza di taglio massima disponibile lungo la superficie di rottura e gli sforzi tangenziali mobilitati lungo tale piano:

$$F_{sic} = T_{max} / T_{mob}$$

con

F_{sic} = coefficiente di sicurezza;

T_{max} = resistenza di taglio massima;

T_{mob} = sforzo tangenziale mobilitato.

All'equilibrio ($T_{max} = T_{mob}$) F_{sic} deve essere ovviamente uguale a 1.

Il pendio potrebbe essere considerato in teoria stabile, quando F_{sic} risulta maggiore di 1 ($T_{max} > T_{mob}$), instabile in caso contrario ($T_{max} < T_{mob}$). In realtà, per tener conto dell'incertezza introdotta dalle ipotesi semplificatrici nella procedura di calcolo e soprattutto dell'approssimazione con cui sono noti i parametri geotecnici del terreno, per Legge e per consuetudine pratica la stabilità può dirsi raggiunta solo nel caso in cui F_{sic} sia maggiore di 1,1 in condizioni statiche e maggiore di 1,0 in presenza di sisma (D.M.14.01.2008).

3.4.2 IMPOSTAZIONE DELLA PROCEDURA DI CALCOLO

Nell'applicare le equazioni della statica al problema dell'analisi di stabilità di un pendio in terra occorre ipotizzare che siano verificate le seguenti condizioni:

- a) la verifica va eseguita prendendo in esame una striscia di versante di larghezza unitaria (solitamente di 1 metro), trascurando l'interazione laterale fra tale striscia ed il terreno contiguo;
- b) la resistenza al taglio lungo la superficie potenziale di rottura deve essere esprimibile attraverso la legge di Coulomb:

$$T_{max} = c + \gamma h \operatorname{tg} \varphi$$

con

T_{max} = resistenza di taglio massima del terreno;

c = coesione del terreno;

γ = peso di volume del terreno;

h = profondità della superficie di rottura;

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno.

- c) la precisione con cui vengono stimati in sito o in laboratorio i parametri geotecnici coesione e angolo di resistenza al taglio deve essere la stessa: in caso contrario la resistenza al taglio mobilitata dovrebbe essere espressa nel seguente modo:

$$T_{mob} = (c/F_{siic}) + (\gamma h \operatorname{tg} \varphi/F_{sicp})$$

con

F_{siic} = coefficiente di sicurezza legato a c ;

F_{sicp} = coefficiente di sicurezza legato a φ ;

Con il D.M.14.01.2008 i due fattori di sicurezza parziali vanno posti uguali a (Approccio I combinazione 2):

$F_{siic} = 1,25$ (coesione drenata) o $1,40$ (coesione non drenata);

$F_{sicp} = 1,25$.

- c) deve aversi una distribuzione omogenea degli sforzi tangenziali mobilitati (T_{mob}) lungo la superficie potenziale di rottura. Questo significa che in ogni punto del piano ipotetico di scivolamento i parametri dell'equazione di Coulomb c , φ , γ ed h devono avere lo stesso valore.

Per limitare l'errore introdotto nel calcolo da quest'ultima ipotesi, la superficie di scivolamento viene, nella maggior parte delle procedure di calcolo note in letteratura, suddivisa in più settori (conci), all'interno dei quali si considera realizzata la condizione di omogeneità di T_{mob} . Nella pratica i limiti dei conci vengono fatti cadere dove vi sia una variazione significativa di γ , c e φ del terreno o in corrispondenza di variazioni significative nel profilo topografico del versante.

Questo modo d'impostare il problema conduce però all'introduzione nella risoluzione analitica di nuove incognite che esprimono il modo in cui interagiscono fra loro, lungo le superfici divisorie, i vari conci.

In definitiva nel calcolo del valore di F_{sic} intervengono le seguenti incognite (n = numero dei conci preso in considerazione):

- a) le forze normali (N) agenti sulla base del concio (n incognite);
- b) le forze tangenziali (T) agenti sulla base dei conci (n incognite);
- c) i punti, sulla base del concio, di applicazione delle forze normali e tangenziali (n incognite);
- d) le forze orizzontali agenti lungo le superfici di separazione dei conci ($n-1$ incognite);
- e) le forze verticali agenti lungo le superfici di separazione dei conci ($n-1$ incognite);
- f) i punti di applicazione, sulle superfici di separazione dei conci, delle forze d) ed e) ($n-1$ incognite);
- g) il coefficiente di sicurezza F_{sic} (1 incognita).

In totale il problema comporta l'introduzione di $6n-2$ incognite. Per la sua risoluzione sono disponibili:

- a) $3n$ equazioni d'equilibrio;
b) n equazioni del tipo:

$$T = (c l + N \operatorname{tg} \varphi) / F_{sic}$$

con

l = lunghezza del concio;

che collegano fra loro, per ogni concio, le incognite N , T ed F_{sic} .

c) n equazioni ottenute ponendo che il punto di applicazione di N e T cada a metà della base del concio.

In totale quindi sono disponibili $5n$ equazioni per la soluzione analitica del problema. Perché si possa arrivare alla determinazione di F_{sic} occorrerebbero ovviamente tante equazioni quante sono le incognite.

In realtà perché il problema sia staticamente determinato, e quindi risolvibile, mancano ancora $n-2$ equazioni (la differenza fra il numero delle incognite, $6n-2$, ed il numero delle equazioni disponibili, $5n$).

Le equazioni mancanti possono essere ottenute introducendo nell'analisi ulteriori ipotesi semplificatrici. Tali ipotesi riguardano generalmente la distribuzione delle forze lungo le superfici di separazione dei conci. Le varie procedure di risoluzione del problema differiscono essenzialmente per la schematizzazione che viene fatta di questa distribuzione.

3.4.3 RISOLUZIONE CON I METODI DELL'EQUILIBRIO LIMITE: METODO DI BISHOP (SEMPLIFICATO)

Con il metodo di Bishop semplificato si pone la condizione che le forze verticali agenti sulle superfici di separazione dei conci siano trascurabili. Di conseguenza i conci interagiscono fra di loro solo attraverso forze orientate lungo l'orizzontale.

E' anche questo un metodo basato sull'equilibrio dei momenti agenti. Viene supposto che la superficie potenziale di scivolamento sia circolare.

La resistenza al taglio massima disponibile lungo la superficie potenziale di rottura è data, per ogni concio da:

$$T_i \max = X_i / (1 + Y_i / F_s)$$

con $X_i = (c + (g \times h - g_w \times h_w) \times \operatorname{tg} \varphi) \times dx / \cos \alpha$

con g_w = peso di volume dell'acqua;

h_w = altezza dell'acqua sulla base del concio;

dx = lunghezza del concio lungo l'orizzontale;

α = inclinazione del concio sull'orizzontale.

$$Y_i = \operatorname{tg} \alpha \times \operatorname{tg} \varphi$$

La resistenza al taglio mobilitabile lungo il piano di taglio è per ogni concio data da:

$$T_i \text{ mob} = Z_i$$

con $Z_i = g \times h \times dx \times \sin \alpha$

Il coefficiente di sicurezza del pendio viene espresso come segue:

$$F_s = \sum_{i=1-n} T_i \max / \sum_{i=1-n} T_i \text{ mob}$$

Si noti che il coefficiente di sicurezza F_s , che e' la grandezza da determinare, viene a comparire anche al numeratore attraverso l'espressione della $T \max$. Di conseguenza non sarà possibile la determinazione diretta di F_s .

La procedura da adottare dovrà essere di tipo iterativo, fino all'ottenimento della convergenza su un valore praticamente costante di F_s . Questi sono i passi da seguire:

1. si introduce un valore iniziale di F_s (per es. ottenuto applicando Fellenius) e si calcola un primo valore del coefficiente di sicurezza;
2. il nuovo valore di F_s (F_s') ottenuto viene confrontato col valore di partenza;

3. se la differenza supera un limite prefissato (es. $Fs' - Fs > 0.001$), si ritorna al passo a), inserendo, al posto del valore di partenza di Fs , il nuovo valore calcolato;
4. se la differenza rimane contenuta nel limite indicato, l'elaborazione va interrotta: il coefficiente di sicurezza cercato è Fs' .

Generalmente il procedimento richiede dalle quattro alle otto iterazioni per convergere. Il metodo di Bishop richiede che siano, per tutti i conci, rispettate le due seguenti condizioni:

- $s' = (g \times h - g_w \times h_w - c \times \tan \alpha / Fs) / (1 + Y / Fs) > 0$

con s' = pressione normale agente sulla base del concio;

- $\cos \alpha \times (1 + Y/Fs) > 0.2$.

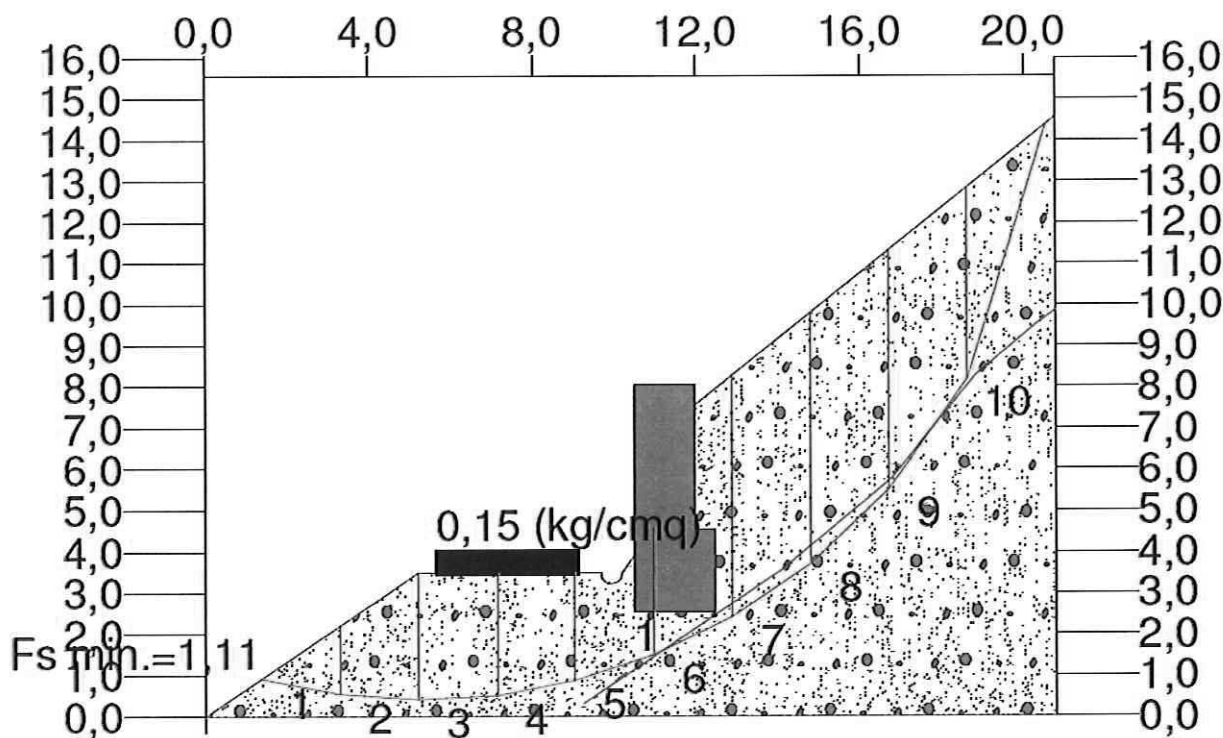
In caso contrario il metodo può condurre a valori del coefficiente di sicurezza non realistici.

3.4.4 RISULTATI DI CALCOLO

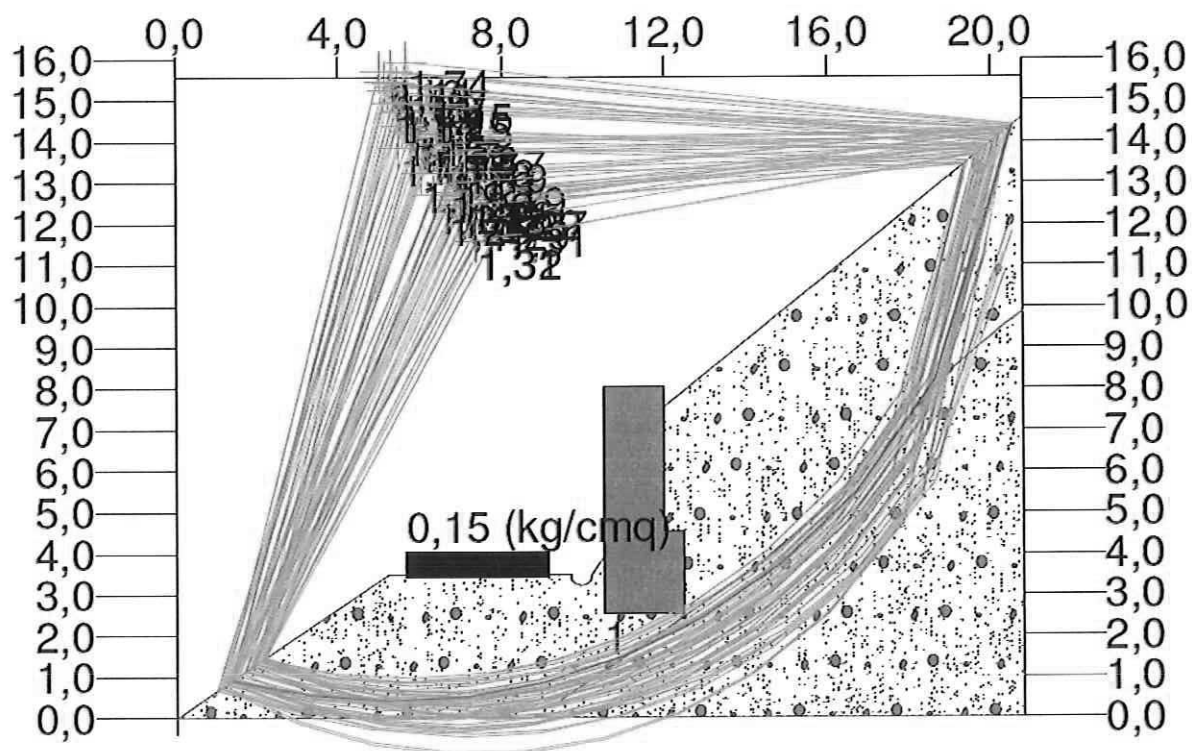
Dai risultati di calcolo allegati, e dai relativi grafici riferiti alle sezioni di verifica, è possibile evincere come le ipotetiche superfici di scivolamento maggiormente critiche per gli interventi di progetto, determinino valori del coefficiente di sicurezza compatibili con quanto previsto dal D.M.14.01.2008, e siano quindi compatibili con l'assetto geostatico del territorio (cfr. elaborati di calcolo).

	Fs_{min}	METODO
VERIFICA 1 – Intervento B	1,11	BISHOP
VERIFICA 2 – Intervento H	1,18	BISHOP

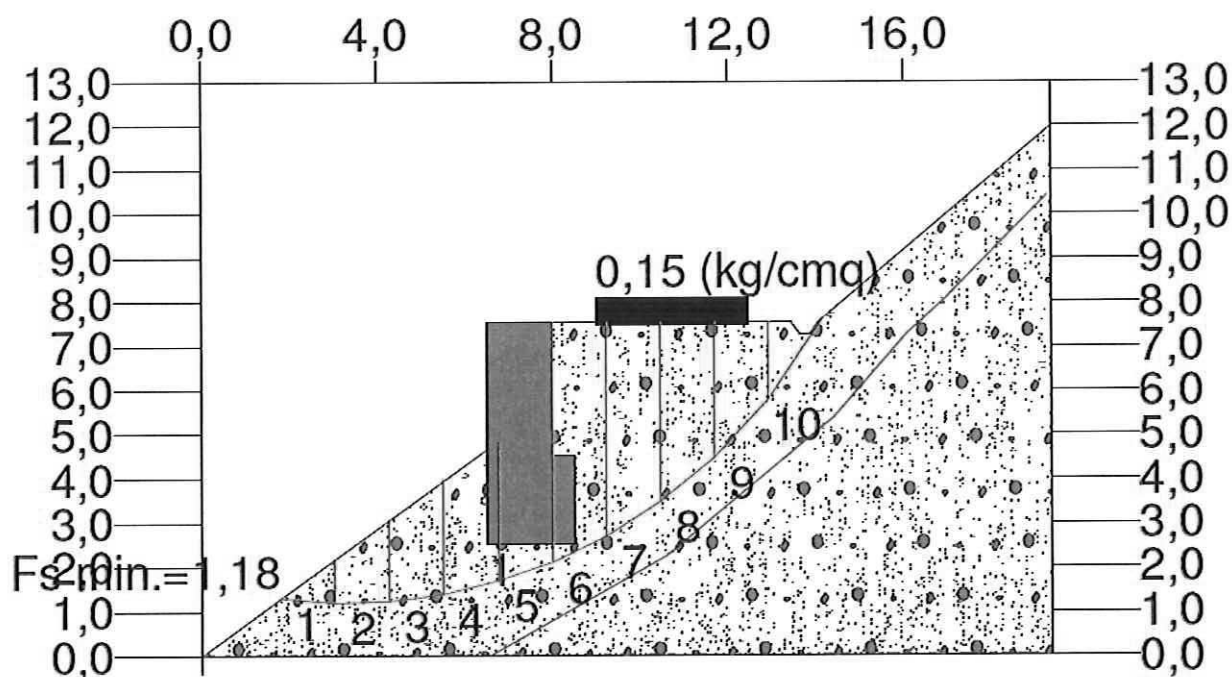
Verifica 1 – intervento B – Superficie con FS minimo



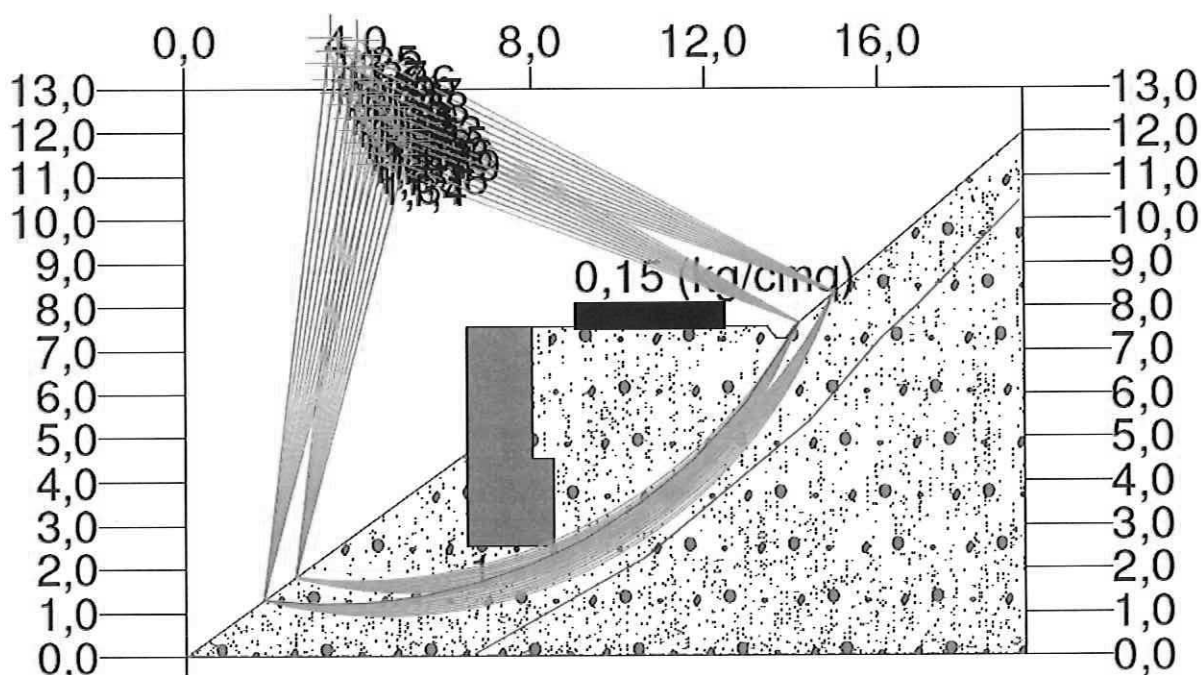
Verifica 1 – intervento B – Superfici verificate



Verifica 2 – intervento H – Superficie con FS minimo



Verifica 2 – intervento H – Superfici verificate



4 CRITERI TECNICO-ESECUTIVI

Dopo aver analizzato le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del versante oggetto di studio ed aver eseguito le opportune verifiche di stabilità, possono definirsi gli aspetti tecnici e le modalità esecutive secondo le quali dovranno realizzarsi le opere al fine di garantire la stabilità delle stesse nel tempo.

Movimentazione di materiale: sono previsti lavori di scavo e riporto necessari alla realizzazione del tracciato e delle opere ad esso accessorie. Come da progetto le strutture di controripa e sottoscarpa, dove previste, sono costituite da muri di contenimento in massi.

I lavori di scavo dovranno essere immediatamente accompagnati dalla messa in posto delle opere di sostegno, laddove previste e necessarie, al fine di inibire crolli delle pareti di neoformazione. I lavori di scavo in detrito, per altezze superiori a 1,5 metri circa, dovranno essere eseguiti adottando un profilo inclinato e/o gradonato.

La formazione dei riporti prevede lo sfruttamento del materiale di risulta degli scavi; questo dovrà essere opportunamente selezionato in modo da ottenere caratteristiche geotecniche e meccaniche adeguate ad un fondo carrabile.

I lavori di scavo e riporto verranno eseguiti tramite mezzi meccanici dotati di benna rovescia per la rimozione e la movimentazione dei materiali sciolti, mentre per l'incisione del substrato roccioso e per la rimozione o riduzione di grossi blocchi di materiale litoide verrà fatto uso di martellone e/o di apposita attrezzatura.

Parte del materiale di risulta degli scavi sarà riutilizzato in loco, previa selezione, per la formazione delle scarpate di valle in riporto, per i riempimenti necessari, nonché per la riprofilatura delle aree modificate. L'eccedenza di materiale dovrà essere allontanata e/o gestita conformemente alla vigente normativa di settore.

Le scarpate di neoformazione dovranno essere immediatamente recuperate in modo da ricreare la coltre pellicolare di protezione detritico vegetazionale ed inibire fenomeni di erosione superficiale e/o infiltrazione nel detrito di copertura.

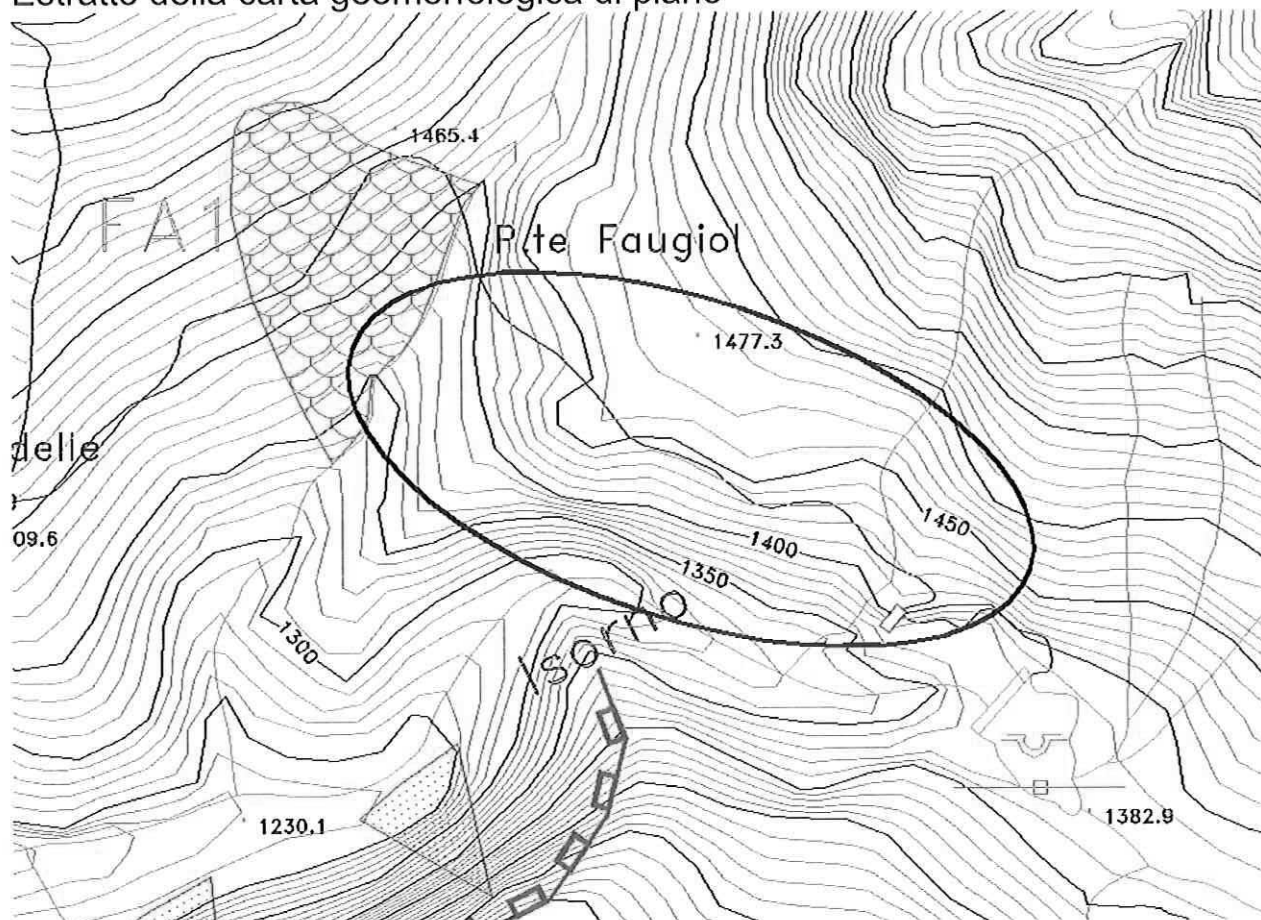
5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE




Le indagini eseguite hanno permesso di evincere le condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dei terreni attraversati dalla tratta di strada forestale in progetto, e di un intorno significativo degli stessi.

Dall'analisi di tali fattori e dalle verifiche analitiche condotte, è emerso come i lavori previsti da progetto, se eseguiti secondo i criteri tecnici e le modalità esecutive dettate dalla presente relazione ed evidenziati negli elaborati grafici di progetto, risultano fattibili dal punto di vista geologico-tecnico ed inseribili nel contesto territoriale rilevato, in quanto non modificano le condizioni geostatiche presenti nel territorio né alterano l'equilibrio idrogeologico.

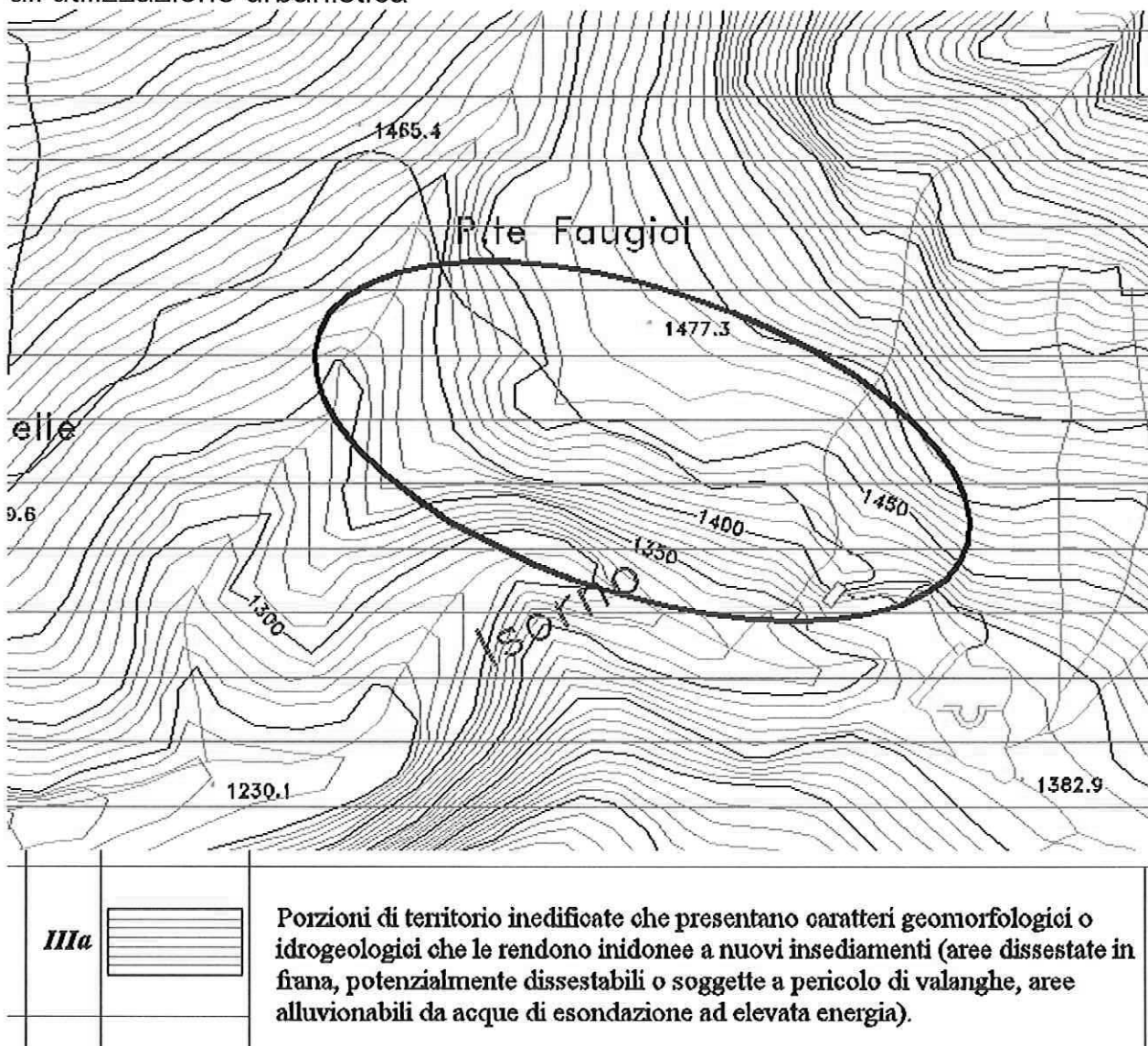
Domodossola, luglio 2017

Estratto della carta geomorfologica di piano



	Aree a media acclività e/o modesti fenomeni di instabilità dei versanti (piccole frane superficiali o crolli localizzati) - Orli di scarpate morfologiche
	Aree ad acclività accentuata con elevata energia di rilievo
	Aree franose (depositi quaternari e/o substrato roccioso)

Estratto della carta di sintesi della pericolosità geologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica



Committente: Comune di Montecrestese

Località: Montecrestese

Data: Luglio 2017

Riferimenti: Lavori di manutenzione straordinaria pista agro-silvo-pastorale Agarina-Merlata

Parametri geotecnici degli strati

Strato n. _____

1

Descrizione litologica:

detrito di falda	
Angolo di attrito (°):	38
Densità relativa (%):	70
Coesione(kg/cm ^q):	0
Peso di volume sopra falda(kg/mc):	1900
Peso di volume sotto falda(kg/mc):	2100
Modulo di Young o edometrico (terreni coesivi) (kg/cm ^q):	400
Coefficiente di Poisson:	0,35
O.C.R.:	1
Angolo di attrito residuo (°)	0
Coefficiente di pressione neutra:	0
Modulo dinamico di taglio (kg/cm ^q):	0
Comportamento meccanico:	Livello incoerente
Caratteristiche idrogeologiche:	Livello permeabile

VERIFICA 1 – intervento B

Committente: Comune di Montecrestese

Località: Montecrestese

Data: Luglio 2017

Riferimenti: Lavori di manutenzione straordinaria pista agro-silvo-pastorale Agarina-Merlata

Opere e carichi sul pendio - muri di contenimento

Muro di contenimento n. _____

1

Posizione del muro

Ascissa piede (m):	10,46	Ordinata piede (m):	2,54
Peso di volume del muro (kg/mc):			2700
Altezza totale del muro (m):			5,5
Lunghezza della base (m):			2
Spessore della parete (m):			1,5
Spessore della base (m):			2
Distanza lato a valle fondazione-parete (m):			0
Metodo di calcolo della spinta attiva:			Rankine
Spinta attiva massima (kg/m):			10412,42
Forza massima mobilitabile (kg/m):			19512,61
Peso del muro (kg/m):			24975

Committente: Comune di Montecrestese

Località: Montecrestese

Data: Luglio 2017

Riferimenti: Lavori di manutenzione straordinaria pista agro-silvo-pastorale Agarina-Merlata

Opere e carichi sul pendio - sovraccarichi

Sovraccarico n. _____

1

Posizione del sovraccarico

Ascissa a valle (m):	5,62	Ordinata a valle (m):	3,43
Larghezza dell'area caricata (m):			3,5
Inclinazione del sovraccarico (°):			90
Modulo del sovraccarico(kg/cm ²):			0,15

Studio Geologico Paolo Marangon

Via Bonomelli, 16-Domodossola-

Committente: Comune di Montecrestese

Località: Montecrestese

Data: Luglio 2017

Riferimenti: Lavori di manutenzione straordinaria pista agro-silvo-pastorale Agarina-Merlata

Analisi di stabilità: riepilogo dei coefficienti di sicurezza

N.	X valle m	Y valle m	X monte m	Y monte m	Fellenius	Bishop	Janbu	G.L.E.	Sarma	Spencer	Kc
1	2,21	1,49	20,44	14,3		1,175					
2	1,01	0,68	20,36	14,23		1,133					
3	2,1	1,41	19,64	13,66		1,209					
4	1,9	1,27	20,49	14,33		1,151					
5	1,82	1,22	19,35	13,43		1,268					
6	2,16	1,45	20,48	14,33		1,202					
7	1,42	0,95	19,75	13,75		1,213					
8	1,35	0,9	19,87	13,84		1,168					
9	1,96	1,32	19,95	13,91		1,188					
10	2,14	1,44	20,48	14,32		1,269					
11	1,65	1,1	20,2	14,11		1,292					
12	1,22	0,82	20,35	14,23		1,125					
13	1,38	0,93	20,54	14,37		1,11					
14	1,34	0,9	20,06	13,99		1,134					
15	1,4	0,94	19,88	13,85		1,234					
16	2,11	1,41	19,62	13,64		1,261					
17	1,11	0,75	19,4	13,47		1,221					
18	1,96	1,31	19,82	13,81		1,827					
19	1,42	0,95	20,08	14,01		1,114					
20	1,5	1,01	19,92	13,88		1,208					
21	1,73	1,16	19,78	13,77		1,185					
22	1,91	1,28	20,54	14,37		1,188					
23	1,97	1,32	19,46	13,51		1,185					
24	1,13	0,76	19,72	13,72		1,306					
25	1,1	0,74	20,21	14,11		1,14					
26	2,08	1,39	20,26	14,16		1,149					
27	1,35	0,91	20,37	14,24		1,175					
28	2,08	1,4	19,91	13,87		1,231					
29	2,21	1,48	20,11	14,04		1,307					
30	2,03	1,36	20,15	14,06		1,812					
31	1,08	0,73	19,35	13,43		1,154					
32	1,88	1,26	19,99	13,94		1,206					
33	1,41	0,95	20,56	14,39		1,111					
34	1,55	1,04	19,75	13,75		1,174					
35	1,36	0,91	20,37	14,24		1,167					
36	1,39	0,93	19,67	13,68		1,154					
37	1,79	1,2	20,25	14,15		1,18					
38	1,7	1,14	20,11	14,03		1,182					
39	2,1	1,41	20,57	14,4		1,743					
40	2,14	1,43	20,37	14,24		1,224					
41	1,02	0,68	20,48	14,33		1,123					
42	1,7	1,14	20,07	14		1,112					
43	1,19	0,8	19,68	13,69		1,32					
44	1,34	0,9	20,31	14,19		1,211					
45	1,34	0,9	19,93	13,89		1,145					
46	1,24	0,83	19,35	13,43		1,189					
47	2,17	1,46	20,51	14,35		1,148					
48	1,28	0,86	19,37	13,45		1,247					
49	2,18	1,46	20,26	14,15		1,189					
50	1,42	0,96	19,85	13,83		1,23					

Studio Geologico Paolo Marangon

Via Bonomelli, 16-Domodossola-

<i>N.</i>	<i>X valle m</i>	<i>Y valle m</i>	<i>X monte m</i>	<i>Y monte m</i>	<i>Fellenius</i>	<i>Bishop</i>	<i>Janbu</i>	<i>G.L.E.</i>	<i>Sarma</i>	<i>Spencer</i>	<i>Kc</i>
-----------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	------------------	---------------	--------------	---------------	--------------	----------------	-----------

Accelerazione sismica orizzontale (g):..... 0,14

Coefficiente beta.....:0,5

Accelerazione sismica verticale (g):..... 0,07

Committente: Comune di Montecrestese

Località: Montecrestese

Data: Luglio 2017

Riferimenti: Lavori di manutenzione straordinaria pista agro-silvo-pastorale Agarina-Merlata

Analisi di stabilità: riepilogo delle superficie con coefficiente di sicurezza minimo

Superf.	F_s minimo	Metodo di calcolo	Concio	X base m	Y base m	Lunghez za m	Inclina zione °	Volume mc	Peso kg	Altezza falda m	Carichi N	Carichi T	Phi (°)	C(kg/cm du (m)
13	1,11	Bishop semplificato	1	1,385	0,929	1,95	-11,2	1,594	2911,24	0	0	0	32	0
			2	3,3	0,55	1,92	-3,9	4,517	8369,83	0	0	0	32	0
			3	5,215	0,418	1,92	3,3	5,741	10553,26	0	2262	128,72	32	0
			4	7,13	0,527	1,95	10,5	5,296	9461,55	0	2824,78	523,84	32	0
			5	9,046	0,882	1,95	17,9	5,435	9825,45	0	6058,6	1960,69	32	0
			6	10,961	1,502	2,01	25,7	8,57	16088,46	0,2	16867,79	8115,25	32	0
			7	12,876	2,424	2,13	34	11,445	21623,64	0,4	0	0	32	0
			8	14,792	3,716	2,31	43,3	11,395	21623,63	0,4	0	0	32	0
			9	16,707	5,52	2,63	54,4	10,023	18999,7	0,2	0	0	32	0
			10	18,622	8,194	3,29	72,8	4,46	8369,83	0	0	0	32	0
				20,537	14,373	6,47								

LEGENDA

Carichi N= Carichi normali (kg)

Carichi T= Carichi tangenziali (kg)

Phi= Angolo di resistenza al taglio (°)

C= Coesione (kg/cmq)

Accelerazione sismica orizzontale (g):..... 0,14

Accelerazione sismica verticale (g):..... 0,07

Coefficiente beta.....0,5

VERIFICA 2 – Intervento H

Committente: Comune di Montecrestese

Località: Montecrestese

Data: Luglio 2017

Riferimenti: Lavori di manutenzione straordinaria pista agro-silvo-pastorale Agarina-Merlata

Opere e carichi sul pendio - muri di contenimento

Muro di contenimento n. _____

1

Posizione del muro

Ascissa piede (m):	6,5	Ordinata piede (m):	2,54
Peso di volume del muro (kg/mc):			2700
Altezza totale del muro (m):			5
Lunghezza della base (m):			2
Spessore della parete (m):			1,5
Spessore della base (m):			2
Distanza lato a valle fondazione-parete (m):			0
Metodo di calcolo della spinta attiva:			Rankine
Spinta attiva massima (kg/m):			8479,82
Forza massima mobilitabile (kg/m):			17930,5
Peso del muro (kg/m):			22950

Committente: Comune di Montecrestese

Località: Montecrestese

Data: Luglio 2017

Riferimenti: Lavori di manutenzione straordinaria pista agro-silvo-pastorale Agarina-Merlata

Opere e carichi sul pendio - sovraccarichi

Sovraccarico n. _____

1

Posizione del sovraccarico

Ascissa a valle (m):	8,98	Ordinata a valle (m):	7,49
Larghezza dell'area caricata (m):			3,5
Inclinazione del sovraccarico (°):			90
Modulo del sovraccarico(kg/cm ²):			0,15

Studio Geologico Paolo Marangon

Via Bonomelli, 16-Domodossola-

Committente: Comune di Montecrestese

Località: Montecrestese

Data: Luglio 2017

Riferimenti: Lavori di manutenzione straordinaria pista agro-silvo-pastorale Agarina-Merlata

Analisi di stabilità: riepilogo dei coefficienti di sicurezza

N.	X valle m	Y valle m	X monte m	Y monte m	Fellenius	Bishop	Janbu	G.L.E.	Sarma	Spencer	Kc
1	1,81	1,3	14,18	7,64		1,18					
2	1,81	1,3	15	8,33		1,253					
3	2,54	1,82	14,18	7,64		3,079					
4	2,54	1,82	15	8,33		3,202					
5	1,81	1,3	14,18	7,64		1,202					
6	1,81	1,3	15	8,33		1,269					
7	2,54	1,82	14,18	7,64		3,049					
8	2,54	1,82	15	8,33		1,356					
9	1,81	1,3	14,18	7,64		1,214					
10	1,81	1,3	15	8,33		1,294					
11	2,54	1,82	14,18	7,64		1,291					
12	2,54	1,82	15	8,33		1,365					
13	1,81	1,3	14,18	7,64		1,229					
14	1,81	1,3	15	8,33		1,308					
15	2,54	1,82	14,18	7,64		1,314					
16	2,54	1,82	15	8,33		1,379					
17	1,81	1,3	14,18	7,64		1,246					
18	1,81	1,3	15	8,33		1,324					
19	2,54	1,82	14,18	7,64		1,33					
20	2,54	1,82	15	8,33		1,401					
21	1,81	1,3	14,18	7,64		1,262					
22	1,81	1,3	15	8,33		1,342					
23	2,54	1,82	14,18	7,64		1,354					
24	2,54	1,82	15	8,33		1,428					
25	1,81	1,3	14,18	7,64		1,281					
26	1,81	1,3	15	8,33		1,356					
27	2,54	1,82	14,18	7,64		1,373					
28	2,54	1,82	15	8,33		1,445					
29	1,81	1,3	14,18	7,64		1,297					
30	1,81	1,3	15	8,33		1,383					
31	2,54	1,82	14,18	7,64		1,385					
32	2,54	1,82	15	8,33		1,458					
33	1,81	1,3	14,18	7,64		1,307					
34	1,81	1,3	15	8,33		1,413					
35	2,54	1,82	14,18	7,64		1,402					
36	2,54	1,82	15	8,33		1,486					

Studio Geologico Paolo Marangon

Via Bonomelli, 16-Domodossola-

<i>N.</i>	<i>X valle m</i>	<i>Y valle m</i>	<i>X monte m</i>	<i>Y monte m</i>	<i>Fellenius</i>	<i>Bishop</i>	<i>Janbu</i>	<i>G.L.E.</i>	<i>Sarma</i>	<i>Spencer</i>	<i>Kc</i>
-----------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	------------------	---------------	--------------	---------------	--------------	----------------	-----------

Accelerazione sismica orizzontale (g):..... 0,14

Coefficiente beta.....:0,5

Accelerazione sismica verticale (g):..... 0,07

Committente: Comune di Montecrestese

Località: Montecrestese

Data: Luglio 2017

Riferimenti: Lavori di manutenzione straordinaria pista agro-silvo-pastorale Agarina-Merlata

Analisi di stabilità: riepilogo delle superficie con coefficiente di sicurezza minimo

Superf.	F_s minimo	Metodo di calcolo	Concio	X base m	Y base m	Lunghez za m	Inclina zione °	Volume mc	Peso kg	Altezza falda m	Carichi N	Carichi T	Phi (°)	C(kg/cm du (m)
1	1,18	Bishop semplificato	1	1,81	1,297	1,24	-4,1	0,603	940,12	0	0	0	32	0
			2	3,047	1,207	1,24	1,6	1,733	3055,39	0	0	0	32	0
			3	4,284	1,242	1,25	7,4	2,709	4935,63	0	0	0	32	0
			4	5,521	1,402	1,27	13,2	3,527	6345,81	0	2882,5	675,3	32	0
			5	6,758	1,691	1,31	19,2	5,299	9871,26	0	13408,5	4658,13	32	0
			6	7,995	2,121	1,37	25,4	6,341	11986,53	0	5578,15	2643,62	32	0
			7	9,232	2,707	1,46	31,9	5,502	10341,32	0	1575,28	980,5	32	0
			8	10,469	3,477	1,59	39	4,407	8226,05	0	1442,9	1166,58	32	0
			9	11,706	4,477	1,81	46,8	2,973	5405,69	0	794,39	846,68	32	0
			10	12,943	5,796	2,22	56,2	1,079	1880,24	0	0	0	32	0

LEGENDA

Carichi N= Carichi normali (kg)

Carichi T= Carichi tangenziali (kg)

Phi= Angolo di resistenza al taglio (°)

C= Coesione (kg/cmq)

Accelerazione sismica orizzontale (g):..... 0,14

Accelerazione sismica verticale (g):..... 0,07

Coefficiente beta.....0,5