

COMUNE DI TOSCOLANO MADERNO

PROVINCIA DI BRESCIA

Mitigazione del rischio da frana
di un tratto della strada delle Camerate
Lotto II

PROGETTO ESECUTIVO

OGGETTO

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

CODICE	CATEGORIA/SCALA	DATA	REDATTO	NUMERO ELABORATO
EDS21-054B	SPEC	09/2024	DN	ER.02.02
REV. N.	DESCRIZIONE	REDATTO		DATA
01				
02				
03				

COMMITTENTE

Comune di Toscolano Maderno
Via Trento, 5
25088 Toscolano Maderno (BS)

PROGETTISTI



**STUDIO ASSOCIATO
DI GEOLOGIA APPLICATA
ED AMBIENTALE**

Dott. Geol. **Giovanni Bembo**
Dott.ssa Geol. **Loredana Zecchini**

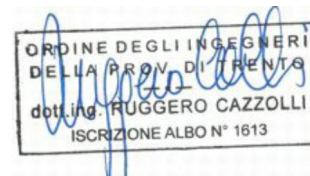
Via Trieste, 45
25084 Gargnano (BS)
Tel./FAX: 0365791070
E-MAIL: bembozecchini@virgilio.it
P.IVA 02 14 33 10 981

endes
ENGINEERING

ENDES ENGINEERING srl

38122 TRENTO - via della Malvasia 22
ARCO (TN) - via Cima Tofino 2/E
CLES (TN) - via Trento 28

info@endes.tn.it - endes@arubapec.it
www.endes.tn.it



**COMUNE DI TOSCOLANO MADERNO
LOC. BUCA DI SANT'ANTONIO**

OGGETTO DELL'ELABORATO:

**MITIGAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA
DI UN TRATTO DELLA STRADA DELLE
CAMERATE - LOTTO 2**

*** * ***

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA A
SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO**

**ai sensi del D.M. 17/01/2018 e DGR n°IX/2616 del 30
novembre 2011**

(Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n°12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28/05/2008 n. 8/7374)

*** * ***

STUDIO A CURA DI:

Dott. Giovanni Bembo - Geologo

Dott.ssa Loredana Zecchini - Geologo

TIMBRI E FIRME



**SETTEMBRE
2023**



**REGIONE LOMBARDIA
PROVINCIA DI BRESCIA**

**Studio Associato di
Geologia Applicata ed
Ambientale**

G.BEMBO&L.ZECCHINI

**Via Trieste, 45 Bogliaco
25084 Gargnano (Bs)**

**Tel/Fax 0365 791070
Cell. 347-7838837 /347-5747290
bembozecchini@virgilio.it**



Casella PEC

**giovanni.bembo@pec.epap.it
loredana.zecchini@pec.epap.it**

INDICE

1. Premessa.....	3
2. Riferimenti normativi	6
4. Quadro dei vincoli normativi di natura geologica.....	6
5. Considerazioni sulla fattibilità geologica e approfondimenti circa le pericolosità geologiche gravanti sull'area.....	11
6. Inquadramento geografico, geologico e strutturale generale.	12
7. Valutazione preliminare delle dimensioni di blocchi rocciosi mobilitati – censimento speditivo dei massi al piede	31
8. Indagine di sismica passiva e parametri per la determinazione dell'azione sismica di progetto	34
9. Spettri di risposta elastici allo stato limite SLE e SLU.....	41
10. Analisi geomorfologica di pericolosità in ordine alle traiettorie potenziali e analisi di caduta massi (Monte Castello di Gaino).....	43
10.1 Analisi traiettografica tridimensionale	45
11. Interventi suggeriti e conclusioni.....	65

1. Premessa

Il presente documento, elaborato dallo Studio Associato di Geologia Applicata ed Ambientale con sede in Bogliaco di Gargnano (Bs) su incarico della Società Endes – Ing. Ruggero Cazzolli e per conto dell'Amministrazione di Toscolano Maderno, rappresenta la Relazione Geologica e di caratterizzazione geotecnica ai sensi delle Norme Tecniche per le costruzioni 17/01/2018 e della D.G.R. n° IX/2616 del 30 novembre 2011 (Relazione **R1 - R3** - pratica MUTA DGR X/5001/2016) nell'ambito del Progetto in fase definitiva ai fini della "Mitigazione del rischio da frana e caduta massi di un tratto della strada delle Camerate in loc. Sant'Antonio in Comune di Toscolano Maderno (Bs), come da incarico conferito alla Soc. Endes Engineering srl con determinazione n. 498 R.G. del 27/07/2023 (CUP:J47H21004730004 – CIG: 99575416C7), concernente il secondo lotto rappresentante il proseguimento dell'intervento di mitigazione afferente al tratto di strada in corrispondenza della frana verificatasi in via Camerate – loc. Sant'Antonio – Buco del Diavolo .

L'evento di crollo originario è ascrivibile ad una frana in roccia di grosse proporzioni (accumulo stimato in circa 25 mila metri cubi) sviluppatasi in due fasi con cedimento significativo verificatosi il 09/05/21. Nell'ambito degli studi per la mitigazione del rischio da frana dell'area si era proceduto con la predisposizione di un progetto che prevede l'installazione di un sistema di monitoraggio con estensimetri collegato a sensori che permettono l'interruzione del traffico sia veicolare che pedonale sulla via delle Camerate nel tratto sotteso dalla frana sopraccitata e la posa di una serie di barriere paramassi ad elevato assorbimento di energia dislocate sul versante orografico sinistro in seno alle pendici occidentali del M.te Castello di Gaino.

Il presente studio rappresenta l'analisi geologica geomeccanica ai fini della mitigazione del rischio da caduta di massi dalle pareti del M.te Castello di Gaino relativamente al tratto strada delle Camerate all'incirca di 380 ml successivo al lotto 1 precedentemente citato.

E' visibile nella fotografia seguente l'assetto del movimento franoso di cui sopra rappresentante la situazione geomorfologica al mese di settembre 2023.



Fot. 1 - Vista della zona centrale della frana di crollo – Settembre 2023

Nell'ambito della presente relazione di fattibilità geologica (Relazione **R3** della pratica MUTA) del presente elaborato si esplicita a livello pianificatorio la situazione riguardante l'area di interesse e le sue caratteristiche principali, oltre a fornire indicazioni riguardo la vincolistica geologica e prescrizioni in merito alla classe di fattibilità geologica in cui ricade l'area, secondo le disposizioni del nuovo Piano di Governo del Territorio redatto a cura degli scriventi nell'anno 2020-2023.

Si esegue un'analisi della documentazione esistente relativa alla cartografia geologica Ufficiale ed alla verifica delle informazioni contenute nel Piano di Governo del Territorio e dello studio del Reticolo Idrico Minore del Comune oltre ad ulteriori carte tematiche sovracomunali.

In merito all'analisi della pericolosità sismica si fornisce un inquadramento preliminare dell'area delineando lo scenario di pericolosità a cui corrisponde indicando gli approfondimenti da porre in opera.

Nella presente fase progettuale si è proceduto con l'acquisizione dei dati mediante:

- Rilievo geologico-geomorfologico originale di dettaglio dell'area in studio rappresentati dal versante e la parete rocciosa sottesi dal tratto di interesse; la base cartografica adottata è quella

aerofotogrammetria del Piano di Governo del Territorio PGT (Componente geologica anno 2020-2023) e parzialmente DBT regionale;

- Rilievi geomeccanici ai fini dell'analisi del sito alle pendici del versante occidentale del M.te Castello di Gaino con elaborazione dei dati, caratterizzazione geomeccanica e classificazione dell'ammasso roccioso, in corrispondenza di affioramenti del segmento viario interessato (Lotto 2); identificazione dell'assetto giaciturale delle principali discontinuità e verifica dei cinematismi possibili relativamente a blocchi e cunei removibili (Test di Matheson);
- Rilievi geomorfologici ed avvicinamenti alla parete fianco nord;
- Riconsiderazione dei dati da censimento e distribuzione dei blocchi rocciosi presenti lungo il versante nonché la potenziale traiettoria di discesa da pendici del M.te Castello (Lotto 1) che interessa un tratto del lotto 2;
- Individuazione statistica dei volumi rocciosi potenzialmente removibili sulla scorta delle risultanze dei rilievi geomeccanici condotti e sul censimento effettuato;
- Simulazioni e verifiche di scoscendimento massi in corrispondenza del tratto interessato dallo studio di mitigazione del rischio, con approccio tridimensionale e bidimensionale;

Per lo scenario di rischio individuato si è previsto di intervenire secondo uno schema, coerente con quello previsto per il lotto 1 ed in fase di esecuzione dei lavori, che prevede la **protezione della strada da fenomeni di caduta di massi con posa in opera di barriere paramassi**, finalizzate mitigazione del rischio mediante l'intercettazione di eventuali blocchi lapidei a differente cubatura potenzialmente distaccantisi a differenti altezze e da differenti pareti esposte lungo le pendici occidentali del Monte Castello di Gaino in sinistra orografica.

Il tratto interessato termina a nord in corrispondenza del varco settentrionale relativo al sistema di monitoraggio afferente alla frana in ss in destra orografica del Torrente Toscolano ed oggetto di studio relativamente al Lotto 1.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -
25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

2. Riferimenti normativi

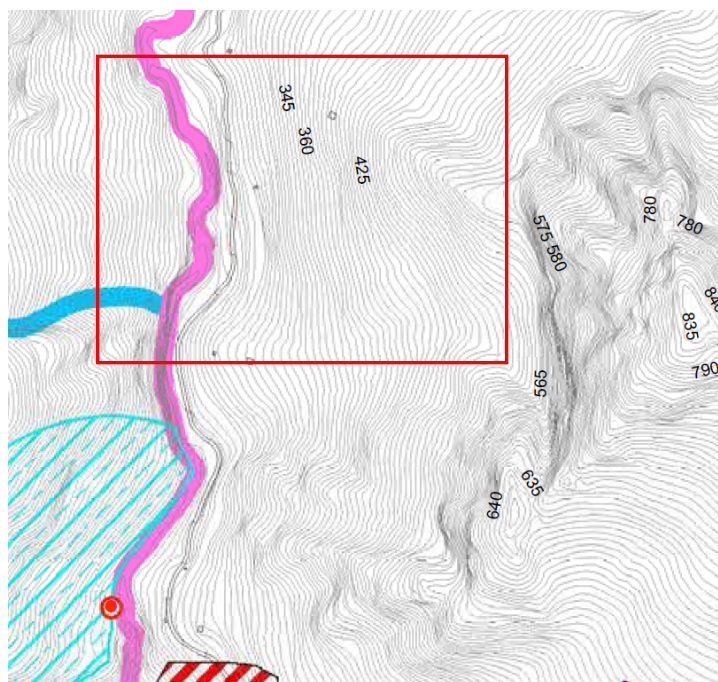
- *D.G.R. n° IX/2616 del 30 novembre 2011, Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n°12”, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28/05/2008 n. 8/7374);*
- *D.G.R. n° XI/2120 del 09 settembre 2019, Aggiornamento dell’Allegato 1 ai “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n°12”, approvati con d.g.r. IX/2616 30/11/2011.*
- *Aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio (Anno 2010);*
- *D.G.R. n° X/2129 del 11 luglio 2014 – Aggiornamento delle zone sismiche in regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d);*
- *Dgr 30 marzo 2016 – n° X/5001 approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (art. 3 comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015).*
- *Norme Tecniche per le Costruzioni D.M 17 gennaio 2018.*

4. Quadro dei vincoli normativi di natura geologica

Gli elementi specifici utili alla classificazione e differenziazione del territorio comunale e che sintetizzano le conoscenze aggiornate circa il sito esaminato, sono compresi nella *Carta dei vincoli esistenti* e nella *Carta di Fattibilità geologica allegate alla Componente geologica del Piano di Governo del Territorio, redatta secondo la D.G.R. 30/11/2011 n°2616.*

In tali elaborati sono riportati i limiti delle aree sottoposte a vincolo (di natura geologica), da riferirsi a normative sia nazionali che regionali e che evidenziano le zonizzazioni del territorio caratterizzate da differenti limitazioni di tipo geologico (geomorfologico, idrogeologico, idraulico ecc.) da applicare nella trasformazione del suolo e relative prescrizioni (Carta di Fattibilità).

Dalla consultazione della cartografia tematica e vincolistica del PGT vigente, risulta che:



Estratto carta dei vincoli e, sotto, legenda

-  Opere di captazione ad uso idropotabile (acquedotto comunale) e limite zona di tutela assoluta
-  Zona di rispetto delle opere di captazione ad uso idropotabile (pozzi e sorgenti)
-  * Fasce di rispetto idraulico del Reticolo Idrico Minore
-  * Limite e fasce di rispetto idraulico del Reticolo Idrico Principale

Il tratto di strada e le pendici che la sottendono **non ricadono nelle aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile** - *zona di rispetto dei pozzi e delle sorgenti (normativa di riferimento nazionale è il D.Lgs. 3 aprile 2006, n°152 "Norme in materia ambientale" che disciplina e norma le aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano (art. 93) definendo le zone di tutela assoluta e la zona di rispetto dei pozzi e delle sorgenti).*

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

La strada in questo tratto si snoda parallelamente **del torrente Toscolano, ascritto al reticolo idico Principale, del quale sia l'alveo che le sponde sono normate da vincoli di Polizia idraulica** (*DGR n. 7/7868 del 25 gennaio 2002, modificata ed integrata dalla dgr n°7/13950 del 1 agosto 2003 e successive - dgr n. 8943 del 3 agosto 2007*).

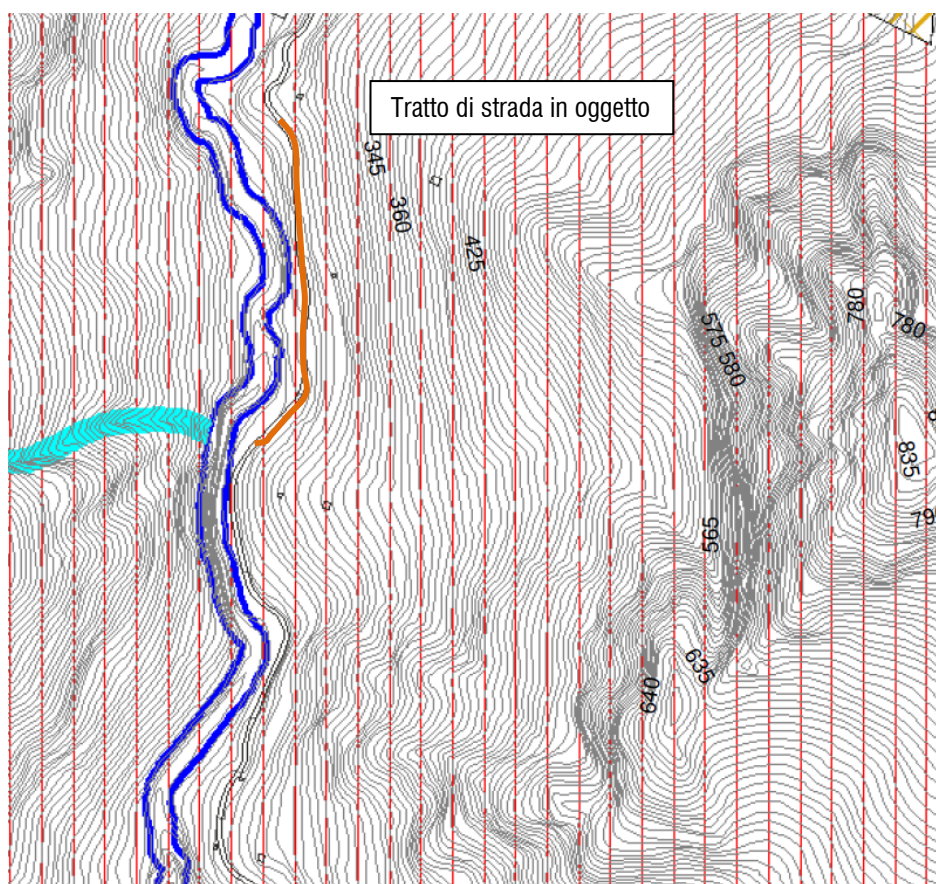
La zona **non ricade nelle aree vincolate Pai** (*Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del Fiume Po ai sensi della legge 18 maggio 1989 n°183, con D.P.C.M del 24 maggio 2001 - Delibera di adozione del Piano Stralcio del Comitato istituzionale n°18 del 26 aprile 2001*) e **non ricade nelle aree perimetrate nel PGRA** – Piano di Gestione del Rischio di Alluvione.



PGRA - Estratto Carta di pericolosità - aggiornata al 2023

Dalla consultazione della **Carta di fattibilità delle azioni di piano** dello Studio geologico generale allegato al Piano di Governo del Territorio del Comune l'area in studio insiste su un'area ricadente in **Classe 4 – fattibilità con gravi limitazioni** – Aree estremamente acclivi interessate o potenzialmente interessate da fenomeni di distacco e scoscendimento massi

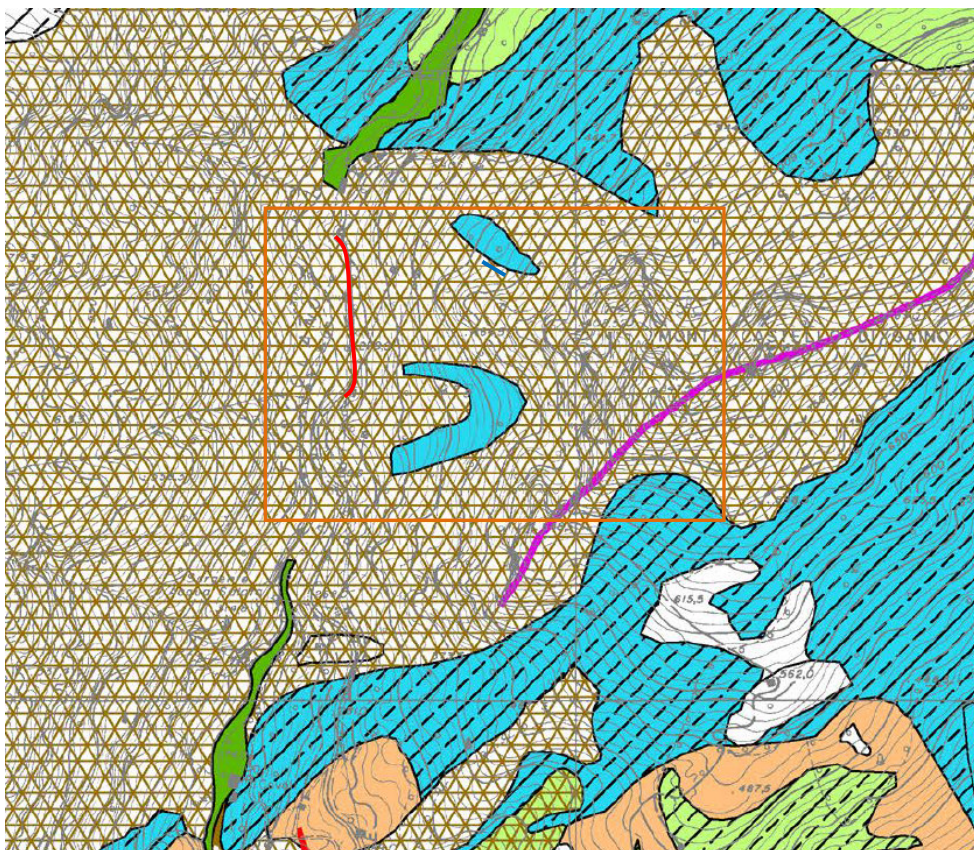
Infatti dalla visione della Carta di Fattibilità risulta che le pareti e le pendici occidentali del M.te Castello sottese dal tratto di strada oggetto di studio rientrano a loro volta in Classe 4 per potenziale distacco e scoscendimento di massi.



Carta di fattibilità geologica – estratto dal PGT vigente (2020-2022) e sotto legenda

Scenari di pericolosità sismica locale – Carta di pericolosità sismica locale

Per quanto attiene la Pericolosità sismica locale la consultazione della Carta tematica di piano, il sito all'attenzione ricade nello scenario **PSL Z1a e Z1b - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi e quiescenti.**



Estratto della Carta di PSL e legenda

SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



Z1a
Z1b

Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi e quiescenti

Si procederà, nell'ambito dello studio di pericolosità sismica locale nelle successive fasi progettuali secondo il DM 17/01/2018 all'esecuzione di un'indagine sismica di dettaglio con applicazione dell'analisi del 3 livello di approfondimento e del 2 livello semiquantitativo, al fine di verificare la effettiva possibilità di un'amplificazione stratigrafica e la compatibilità con gli spettri di normativa.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

5. Considerazioni sulla fattibilità geologica e approfondimenti circa le pericolosità geologiche gravanti sull'area

Il quadro conoscitivo, descritto nelle pagine precedenti, ottenuto sulla base dei dati di pianificazione a disposizione, permette di affermare come l'area in esame sia interessata da potenziali fenomeni di natura geologica, geomorfologica ed idraulica di seguito espresse.

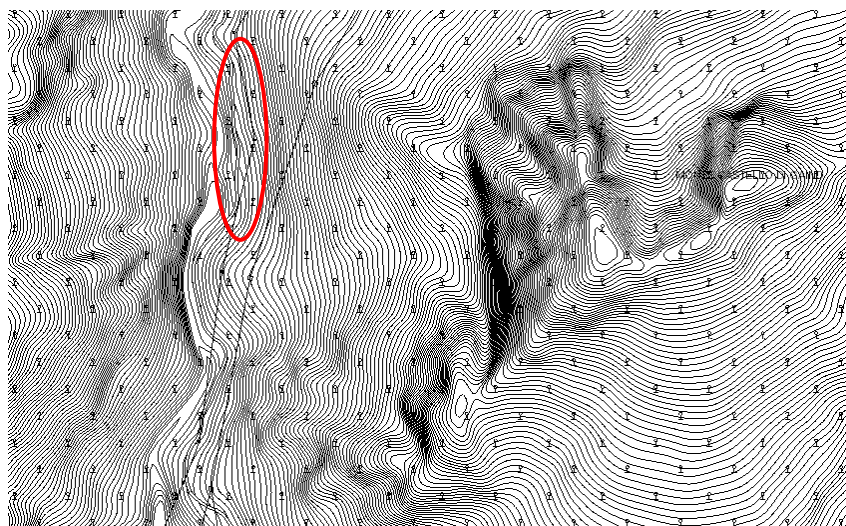
Dall'analisi della documentazione e dalle considerazioni tecniche susseguenti ai sopralluoghi si evidenziano le seguenti categorie di pericolosità geologica e sismica che saranno approfondite opportunamente nelle fasi progettuali successive:

- Pericolosità geologica-geomorfologica legata al potenziale distacco e rotolamento di massi dalla cresta del M.te Castello;
- Pericolosità sismica legata a fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico (substrato roccioso fratturato e o presenza di detrito di versante) e ad fenomeni di instabilità – Scenario Z1a/b)

6. Inquadramento geografico, geologico e strutturale generale

Il tratto di strada oggetto di studio – Lotto 2- è rappresentato da un segmento di Via delle Camerate, di lunghezza circa 340 ml in loc. Sant'Antonio Buco del Diavolo e rappresenta la prosecuzione del tratto afferente all'intervento del Lotto 1. Esso si snoda al piede delle pendici rocciose occidentali del M.te Castello di Gaino, ove il torrente Toscolano scorre in una stretta e profonda forra rocciosa con dislivello di circa 20 -25 metri .

Nell'estratto cartografico con base dbt regionale è indicato il tratto in oggetto.



Estratto DBT regionale con ubicazione del sito

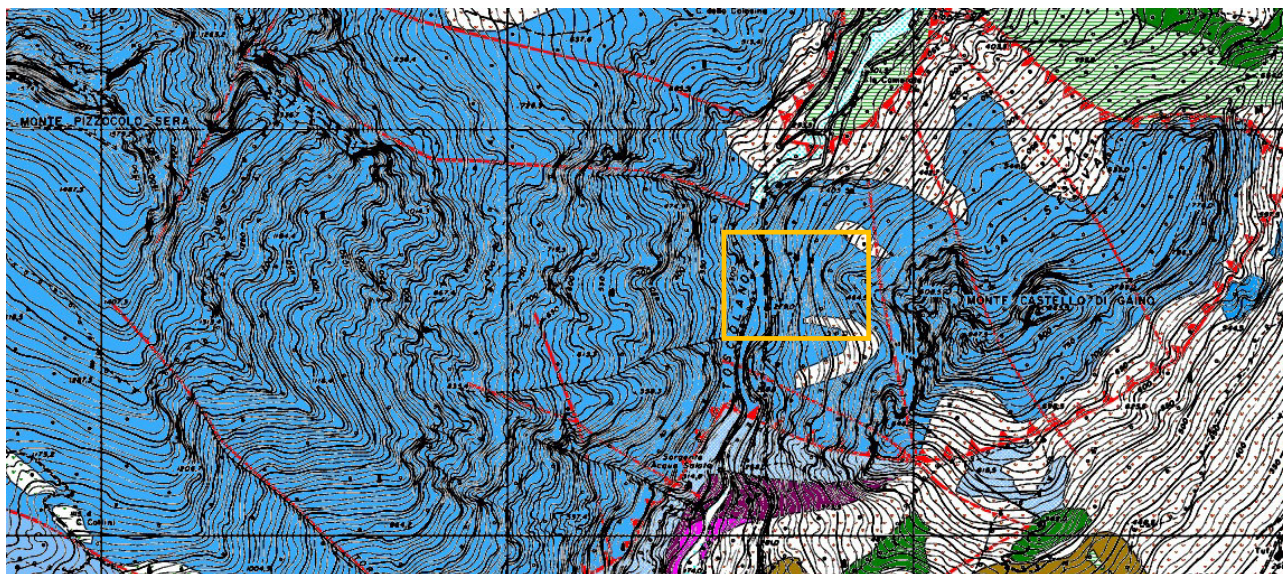
Inquadramento geologico e geomeccanico generale

L'area si inserisce in un contesto strutturale complesso nella fattispecie nell'ambito del "Trust del Monte Castello" considerato dagli Autori come proseguimento del sovrascorrimento Tremosine Tignale, lineamento ad andamento ENE-WSW sud-est vergente in generale con inclinazione verso NW ed espressione di una tettonica compressiva esplicitasi nelle differenti fasi dell'orogenesi Alpina. Tale sistema (sovrascorrimenti/scollamenti) ha preso origine in seguito al sollevamento ed alla deriva verso sud est delle formazioni calcareo- dolomitiche costituenti il "piastrone" settentrionale, sovrascorse sulle più recenti successioni giurassico cretacee. L'entità della traslazione è stata stimata da Cassinis e Castellarin nel 1981 in circa 5 km.

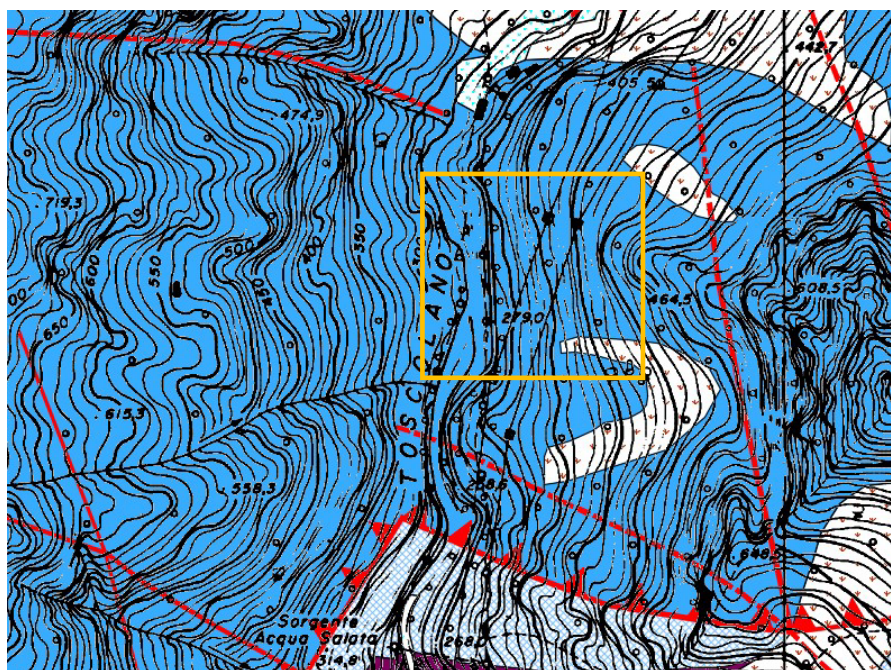
Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70



Carta geologica di inquadramento generale



Carta geologica con dettaglio dell'area di intervento



Depositi eluvio colluviali



Detrito di falda

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

	Maiolica		Medolo
	Selcifero Lombardo		Corso
	Formazione di Navone		Corna
	Formazione di Concesio		Calcare di Zu

Stratigraficamente la formazione rocciosa coinvolta dal dissesto è la Corna, costituita da calcari compatti e di colore chiaro, bianco avorio e grigio biancastro o nocciola. Si presenta con tessitura da cristallina a detritica con stiloliti e **in strati per lo più potenti o indistinti**, con fitte trame di vene di calcite ricristallizzata; la potenza massima della formazione si esplica in una successione di circa 500 metri in corrispondenza proprio del M.te Pizzocolo, analogamente la medesima costituisce l'ossatura e le pendici del rilievo del M.te Castello di Gaino che si eleva in sinistra orografica fino a quota 865 m s.l.m.

Sotto il profilo fisiografico il M.te Castello si presenta caratterizzato da un paesaggio morfologico contraddistinto da elevati gradienti topografici e forme del rilievo aspre e accidentate che culminano in corrispondenza dei contrafforti carbonatici molto articolati della Cima e dell'Anticima del M.te Castello stesso.

Lungo il versante di raccordo con il fondovalle del Torrente Toscolano si palesano pendici rocciose con forme meno acclivi ma comunque di inclinazione medio alte superiore ai 30-35°; localmente queste ultime sono ammantate da estese coltri detritiche di ghiaia grossolana costellata da massi in appoggio.

Da un punto di vista strutturale in prossimità dell'area di interesse si rileva la presenza del sovrascorrimento precedentemente citato caratterizzato da inclinazioni medio alte, anche di 45/60°.

Quest'ultimo, che nell'ambito considerato mette a contatto la F.ne della Corna con il Medolo, si manifesta con fasci di piani sub paralleli immergenti a NW ad elevata persistenza (anche maggiore di 100 m) e spaziatura da 1.5-2.0 metri a circa 3-4 metri in seno al dissesto presente in destra orografica alla base delle pendici del Pizzocolo ed a monte anche 5-7 metri).

Appena a sud della zona in studio il lineamento subisce una rotazione all'incirca di 90° assumendo una direzione all'incirca E-W.

Inquadramento geologico e geomorfologico di dettaglio del contesto di interesse

Ai fini dello studio di mitigazione del rischio lungo il tratto di strada di interesse si è proceduto allo studio ed al rilevamento geologico geomorfologico di dettaglio della porzione di versante a monte anche con ispezioni a quote più elevate per quanto attiene l'aspetto geomeccanico.

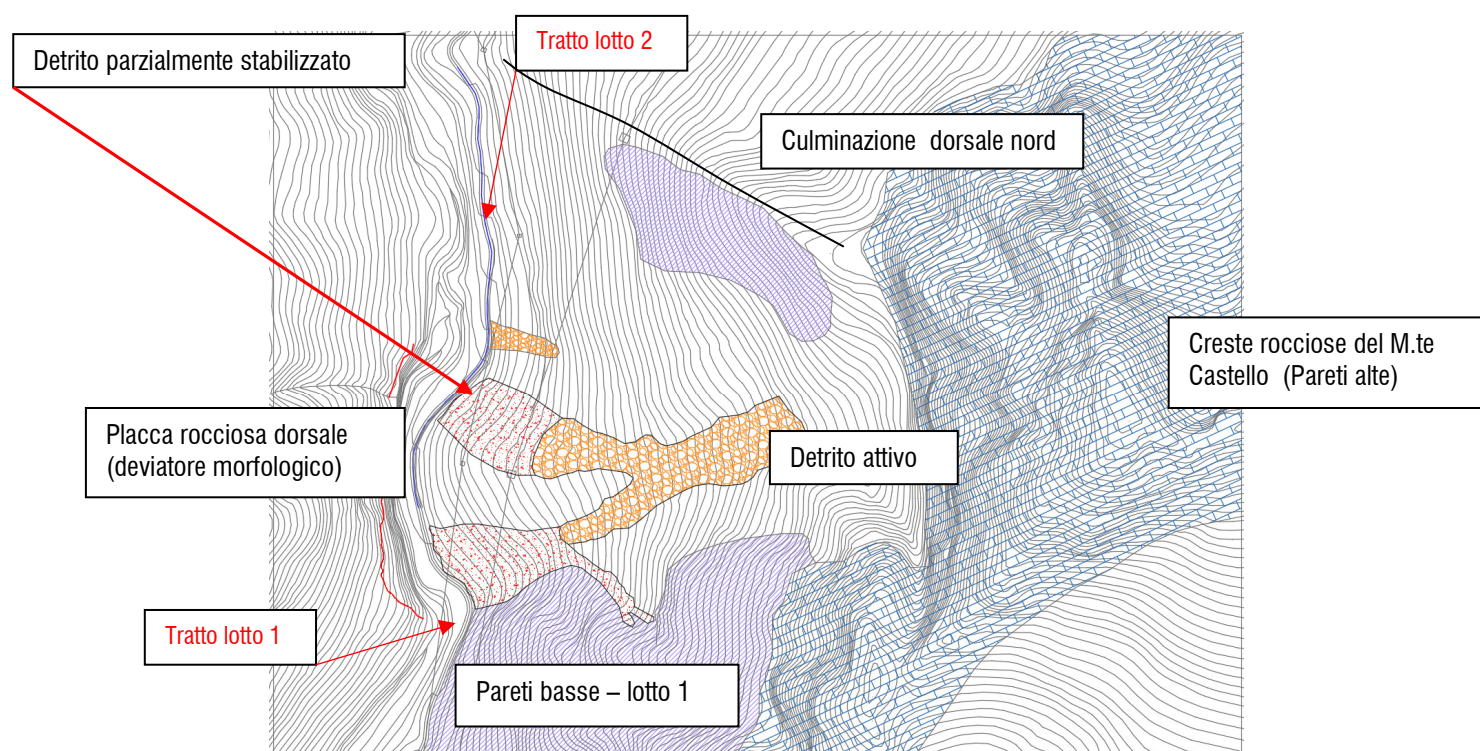
La porzione di territorio analizzata è interessata, come detto, dall'esteso affioramento della formazione della Corna costituita da calcari biancastri sia in corrispondenza delle creste del M.te Castello di Gaino che lungo i versanti raccordantisi alla valle del Toscolano.

La compagine rocciosa è sua volta sormontata da estese coltri di depositi detritici differenziati nella zona esaminata in **“detrito attivo”** e **“detrito colonizzato e superficialmente colluviato”**. Si tratta rispettivamente di coltri di materiali grossolani costituiti nel primo caso da ghiaie grossolane ciottoli e massi immersi anche di dimensioni ragguardevoli con potenze significative mentre nel secondo caso la bassa attività e la copertura della vegetazione boschiva determina la presenza di una componente limosa sabbiosa a saturazione degli interstizi.

Si riporta di seguito un estratto su base aerofotogrametrica in cui sono rappresentate cartograficamente le aree interessate rispettivamente dalla presenza del detrito attivo e di quello parzialmente stabilizzato dalla vegetazione.

Dall'immagine risultano evidenti due lingue detritiche che si sviluppano dalla base delle pareti fino alla strada dapprima attive fino appena a monte del traliccio più alto e successivamente parzialmente stabilizzate, condizionate dalla morfologia locale e dallo sviluppo delle pareti rocciose.

In particolare esse si sviluppano alla base delle pendici rocciose più frastagliate presenti nella porzione sud ed in quella centrale. Si tratta di corpi detritici costituiti da elementi grossolani ciottoli e massi immersi o in appoggio sulla superficie; nelle aree esterne o alla base in prossimità della strada si riscontrano depositi detritici con matrice sabbiosa ed a tratti crostoni cementati, localmente si osservano massi immersi.



Carta geomorfologica con elementi principali

Il bacino afferente a lotto 2 si chiude in lato nord con il raccordo alla strada di una dorsale caratterizzata da diffusa presenza del substrato roccioso sub affiorante e pendenze elevate che incombono direttamente sul segmento viario.

Il versante in parola risulta di accessibilità estremamente difficile ed è stato esaminato con mezzi aerei evidenziando ammassi rocciosi con forte fratturazione e discontinuità principali ad alta persistenza con orientazione sfavorevole rispetto all'orientazione della pendice.



Versante a monte del tratto stradale (pendice meridionale dorsale nord) e sotto, dettaglio della roccia in affioramento



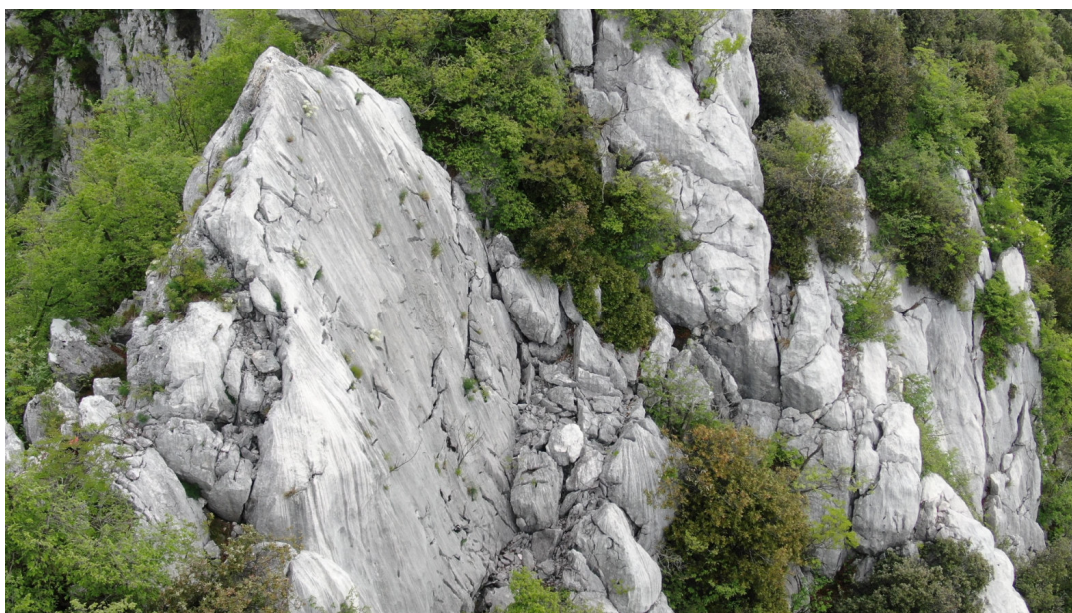
Inquadramento geomeccanico del contesto di interesse

Pendici del M.te Castello di Gaino

Il tratto di strada oggetto di intervento è interessata, inoltre, dal fenomeno di scoscendimento massi potenzialmente distaccantisi dalle pendici occidentali dal M.te Castello di Gaino di cui si riporta di seguito una fotografia della cresta nella porzione centrale del versante orientale e nel seguito le panoramiche delle creste di alimentazione dei versanti esposti principalmente a nord ovest.



Vista del tratto di cresta potenzialmente sede di distacco di massi



Particolare del tratto di cresta

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70



**Vista del versante e del tratto di cresta esposti a nord ovest
potenzialmente sede di distacco di massi e ubicazione dei rilievi geomeccanici condotti
da google earth**



**Vista del versante e del tratto di cresta – dorsale nord
sottesi dal tratto di strada oggetto dell'intervento di mitigazione – lotto 2**

L'analisi geomeccanica riferibile al rilievo condotto in seno alla porzione centrale della cresta a quota 820 m s.l.m. circa (Rilievo in cresta RC) e dal rilievo n°1 ha evidenziato principalmente la presenza di n°3 principali sistemi di discontinuità con i seguenti valori medi :

Famiglia	Immersione (°)	Inclinazione (°)
ST	200	52
1	34	60
2	314	86

Rilievo RC – cresta principale

Giacitura media delle famiglie di discontinuità

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -
25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

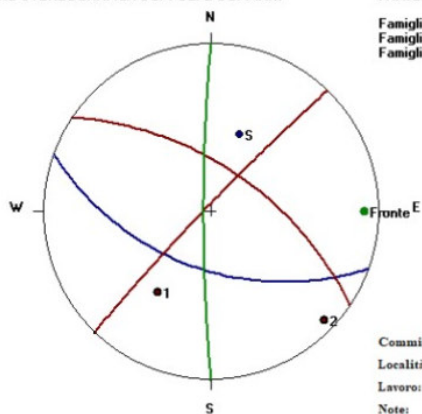
Famiglia	Immersione (°)	Inclinazione (°)
ST	230	28
1	42	75
2	334	88

Rilievo R1 – Sentiero CAI**Giacitura media delle famiglie di discontinuità**

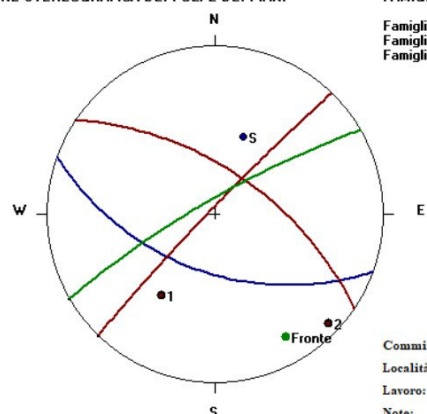
I cui rapporti, data la complessità strutturale dell'area, rispetto all'orientazione dei versanti in quota ed alla base si esplicano come di seguito:

Rilievo in cresta – RC

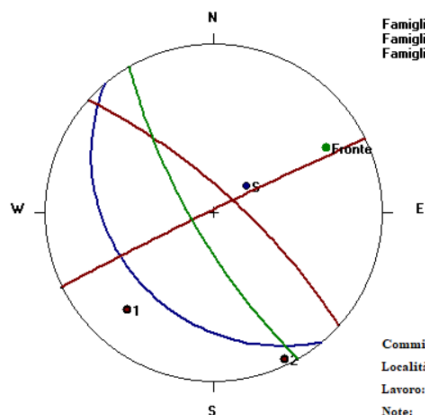
PROIEZIONE STEREOGRAFICA DEI POLI E DEI PIANI

**RC - Versante N 270°**

PROIEZIONE STEREOGRAFICA DEI POLI E DEI PIANI

**RC - Versante N 330°****Rilievo R1**

PROIEZIONE STEREOGRAFICA DEI POLI E DEI PIANI

**Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini**

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

R1 - Versante N 240°/85

Dalle misure eseguite e dalle osservazioni geomeccaniche condotte le pareti incombenti sulla zona in esame sono caratterizzate da una stratificazione che in accordo con l'assetto evidenzia una giacitura a franapoggio.

CONDIZIONI DELLE SINGOLE DISCONTINUITA'**Famiglia 1**

Continuità del giunto	> 20 m
Apertura del giunto	da 1 a 5 mm
Scabrezza del giunto	Leggermente scabri
riempimento del giunto	Assente
Valutazione sul giunto	Condizioni scadenti

Famiglia 2

Continuità del giunto	da 3 a 10 m
Apertura del giunto	< 0,1 mm
Scabrezza del giunto	Leggermente scabri
riempimento del giunto	Assente
Valutazione sul giunto	Condizioni mediocri

Famiglia 3

Continuità del giunto	da 10 a 20 m
Apertura del giunto	da 0,1 a 1 mm
Scabrezza del giunto	Lisci
riempimento del giunto	Assente
Valutazione sul giunto	Condizioni mediocri

Nell'ambito considerato si rivengono piani di strato pressochè continui a formare liscioni e pareti rocciose. Gli ulteriori sets intersecano anche a basso angolo i suddetti liscioni formando cunei stretti ed allungati anche di dimensioni metriche.

In particolare si evidenziano in corrispondenza dell'affioramento rappresentata dal rilievo 1 - R1, la formazione di frequenti intersezioni che possono svincolare elementi rocciosi prismatici con scivolamenti planari di blocchi pressochè prismatici.

In seno alla porzione centrale dell'ammasso l'assetto geomeccanico di tale area è caratterizzato in alcuni punti da venute d'acqua e stillicidi che incrementano di portata in concomitanza con le precipitazioni, inducendo un decremento delle qualità geomeccaniche – geotecniche dell'ammasso.

L'assetto geomeccanico generale della zona rappresenta una finestra sul complesso schema geostrutturale che vede a grande scala forti deformazioni a carico della Corna che, spinta da nord ovest dalla placca della Dolomia Principale, sovrasta le formazioni più recenti che stanno al letto di una importante faglia a basso angolo (Sovrascorrimento).

Nell'ambito di tale assetto la stratificazione può subire repentine variazioni di giacitura, in specialmodo quando all'interno di strutture plicative visibili nel complesso alla scala regionale e localmente alla scala dell'affioramento. Altre strutture trovano, diversamente, una precisa connotazione strutturale solo come parte di un tutto più complesso.

In riferimento al rilievo geomeccanico condotto R1 appena a monte del sentiero CAI in prossimità dell'attuale cancello di sbarramento, le spazature riferite alle discontinuità caratterizzate da maggiore persistenza (stratificazione) sono caratterizzate da un valore medio di 0.4-0.6 m (valori massimi intorno a 1.1-1.2 m) in ragione della forte fratturazione caratterizzante alla base gli ammassi rocciosi. Le ulteriori discontinuità sono contraddistinte da spazature variabili da 0.3 a 0.85 m e valori medi di 0.6-0.8 m e massimi i 1.0-1.2 m.

L'elaborazione dei dati geomeccanici rilevati indica per il rilievo suddetto rappresentativo dell'ammasso costituente la dorsale nord che il volume roccioso unitario massimo sia caratterizzato da dimensioni intorno a $VRU=0.9-1.2$ mc mentre quello modale si collochi intorno a $VRU=0.2-0.3$ mc.

I valori di JCS medio relativamente alle superfici delle discontinuità dell'ammasso considerato si attestano su valori massimi **JCS = 70-85 MPa** e $JCSa = 35-40$ MPa per piani di discontinuità interessati da alterazione. I valori sono stati ottenuti da una campagna di misure eseguite con martello di Schmidt elaborate secondo quanto prescritto dalle Raccomandazioni ISRM.

Secondo tale procedura il valore **R**, letto sullo strumento dopo il rimbalzo, viene corretto in funzione dell'angolo formato dallo strumento con l'orizzontale al momento della prova.

Barton e Choubey (1977) suggeriscono di normalizzare la lettura rispetto alla posizione dello sclerometro secondo la seguente tabella:

Rimbalzo	Verso il basso		Verso l'alto		Orizzontale
	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	
R					$\alpha = 0^\circ$
10	0	-0,8	---	---	-3,2
20	0	-0,9	-8,8	-6,9	-3,4
30	0	-0,8	-7,8	-6,2	-3,1
40	0	-0,7	-6,6	-5,3	-2,7
50	0	-0,6	-5,3	-4,3	-2,2
60	0	-0,4	-4,0	-3,3	-1,7

Il valore di σ_c è stato quindi correlato all'indice R e al peso di volume γ della roccia dalla relazione di Miller, universalmente accettata:

$$\sigma_c = 0,00088 \gamma R + 1,01$$

dove:

σ_c resistenza alla compressione monoassiale (caratteristica della discontinuità) – espressa in MPa

γ peso di volume espresso in kN/m^3

Rilievo n°1**CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO SECONDO BIENIAWSKI
(classificazione RMR, 1989)**

Parametro	Descrizione	Coefficiente numerico
Resistenza a compressione	da 50 a 100 MPa	7
RQD	Da 90 a 75	17
Spaziatura dei giunti	Da 2 a 0.6 m.	15
Persistenza dei giunti	da 3 a 10 m.	2
Apertura dei giunti	inferiore a 0.1 mm.	5
Scabrezza dei giunti	ondulata liscia	3
Riempimento dei giunti	assente	6
Condizioni idrauliche	Deboli venute	4

Classificazione RMR

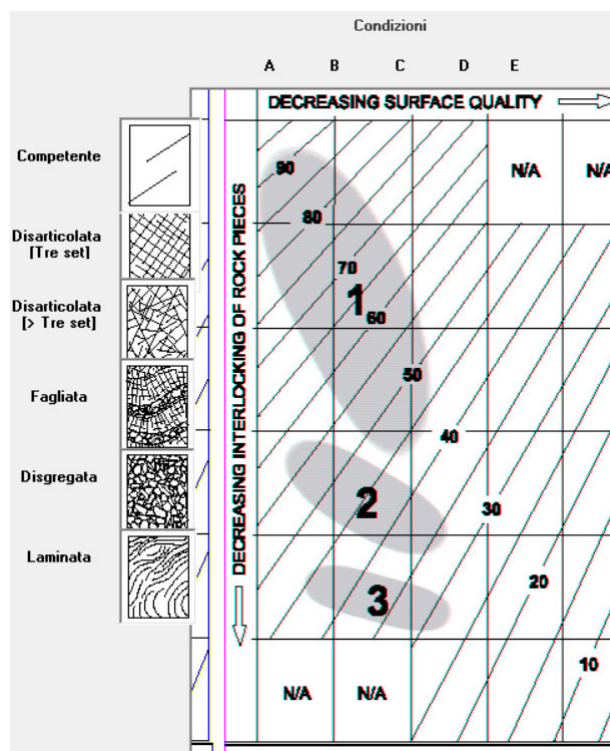
RMR di base	Classe ammasso roccioso
55-59	III - Qualità mediocre

Classificazione geomeccanica da GSI Geological Strenght Index

In relazione alla litologia, all'assetto deformativo dell'area ed alla fratturazione dell'ammasso roccioso presente si è inoltre effettuata la classificazione geomeccanica secondo la **Classificazione GSI (Geological Strenght Index sviluppata da Hoek)**, mediante la stima secondo un grafico messo a punto da Hoek e Marinos, che evidenzia le caratteristiche dell'ammasso in termini di grado di fratturazione e disturbo tettonico correlate alle caratteristiche generali delle discontinuità.

I valori sono stati stimati con una certa approssimazione in considerazione della variabilità delle caratteristiche geomeccaniche degli affioramenti presenti nell'area.

Si riporta di seguito il grafico di valutazione con i valori tipici per litologie calcaree :



Per la porzione di ammasso considerata si è stimato un valore indicativo di GSI pari a **50-52**, da cui si è pervenuti alla seguente caratterizzazione geomeccanica :

CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO **Calcari**

Geological Strength Index [GSI] rappresentativo dell'ammasso: 50

Indici delle classificazioni calcolati

RMR di base	Q
55	1.948

CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO

Geological Strength Index [GSI] di progetto: 50

Parametri di Resistenza al Taglio [Valori deterministici]

Criterio di rottura di Hoek-Brown

mi	mp	mr	si	sp	sr
12	0.3374	0.0343	1	0.0002	0.000001

mi = Parametro m della roccia intatta

mp = Parametro m di picco dell'ammasso

mr = Parametro m residuo dell'ammasso

si = Parametro s della roccia intatta

sp = Parametro s di picco dell'ammasso

sr = Parametro s residuo dell'ammasso

Criterio di rottura di Mohr-Coulomb

Parametri equivalenti stimati da quelli di Hoek-Brown (Soluzione di Palmer)

cp	cr	fp	fr
0.206 MPa	0.026 MPa	51.8°	32.5°

Parametri derivati dalle correlazioni di Bieniawski

cp	cr	fp	fr
0.250 MPa	0.200 MPa	30.0°	25.0°

cp = coesione di picco dell'ammasso

cr = coesione residua dell'ammasso

fp = angolo d'attrito di picco dell'ammasso

fr = angolo d'attrito residuo dell'ammasso

Parametri di deformabilità [Valori in GPa]

Ed_p	Ed_r	Ed_1	Ed_2
4.58	2.58	10.63	7.06

Ed_p = Modulo di deformabilità di picco dalla relazione di Serafim-Pereira

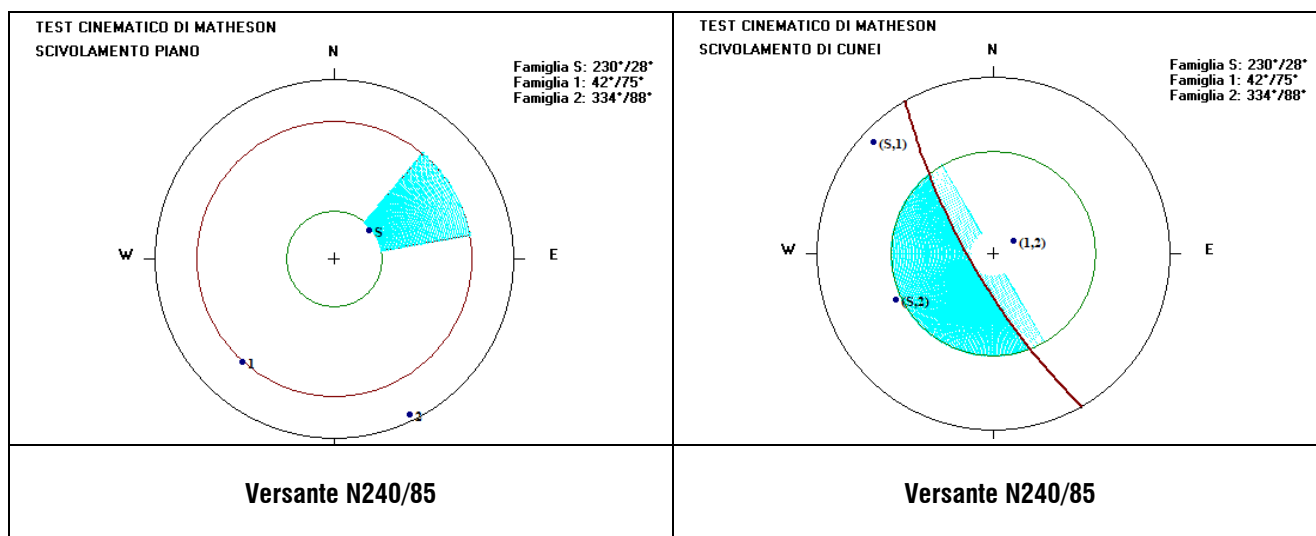
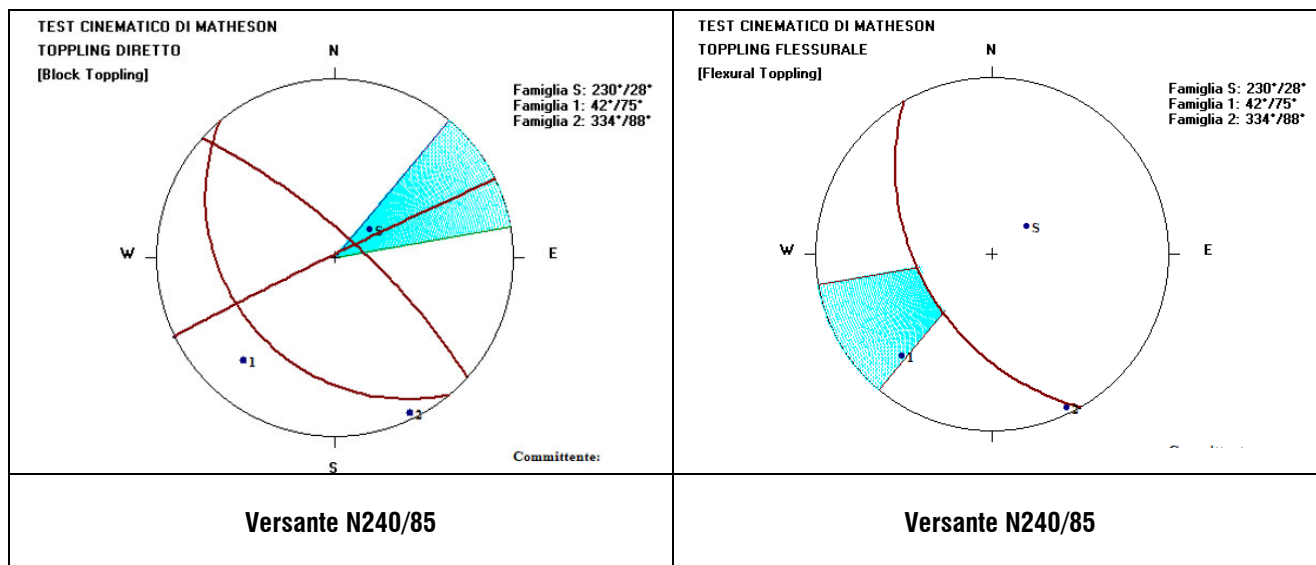
Ed_r = Modulo di deformabilità residuo dalla relazione di Serafim-Pereira

Ed_1 = Modulo di deformabilità dalla relazione di Berardi-Bellingeri

Ed_2 = Modulo di deformabilità dalla relazione di Jasarevic-Kovacevic per serie carbonatiche

CLASSE DI RISCHIO PER LA STABILITA'– R1
GIACITURA DEL VERSANTE N 240/85°

Valore di RMR dell'ammasso: 55



L'analisi cinematica, condotta con il test di Matheson, indica per la parete rocciosa di orientazione N240° almeno n°3 cinematismi potenzialmente sfavorevoli identificati con un possibile n°1 **scivolamento a cuneo** lungo l'intersezione St-K2, e n°2 cinematismi identificati con **scivolamento piano** lungo la St e in un possibili **ribaltamenti** sia diretti che flessurali.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Dal punto di vista geomeccanico pertanto si ottiene una pericolosità corrispondente alla :

CLASSE 3
RISCHIO MOLTO ALTO

Dalle analisi sopra condotte sussiste pertanto un rischio di distacco e scoscendimento di elementi rocciosi molto alto che prendono origine dalle pareti ed affioramenti rocciosi diffusi in seno alla dorsale nord e possono potenzialmente scoscendere lungo la pendice fino a raggiungere la strada ascrivibile al tratto del lotto 2.

Rilievo Parete M.te Castello - Rilievo in cresta

CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO SECONDO BIENIAWSKI (classificazione RMR, 1989)

Parametro	Descrizione	Coefficiente numerico
Resistenza a compressione	da 50 a 100 MPa	7
RQD	Da 75 a 50	13
Spaziatura dei giunti	Da 2 a 0.6 m.	15
Persistenza dei giunti	da 3 a 10 m.	2
Apertura dei giunti	da 0.1 a 1 mm.	4
Scabrezza dei giunti	ondulata liscia	3
Riempimento dei giunti	tenero < 5 mm.	2
Condizioni idrauliche	Asciutto	15

RMR di base	Correzione giacitura [Ic]	RMR corretto	Classe ammasso roccioso
61	12	49	III - Qualità mediocre

Classe ammasso roccioso	CLASSE II - III
qualità ammasso roccioso	BUONA - MEDIOCRE

Dal rilievo eseguito emerge come l'ammasso roccioso risulti in generale di qualità da mediocre (RMR=49) a buona (RMR=61), con mediocri/scadenti caratteristiche delle discontinuità, valore di RQD= 60% -85%, corrispondente ad una qualità mediocre, il materiale roccia con resistenza alla compressione monoassiale (da prove di campagna), $q_c=60-70$ MPa è tipico di rocce resistenti (Tab.C – IRSM, 1980).

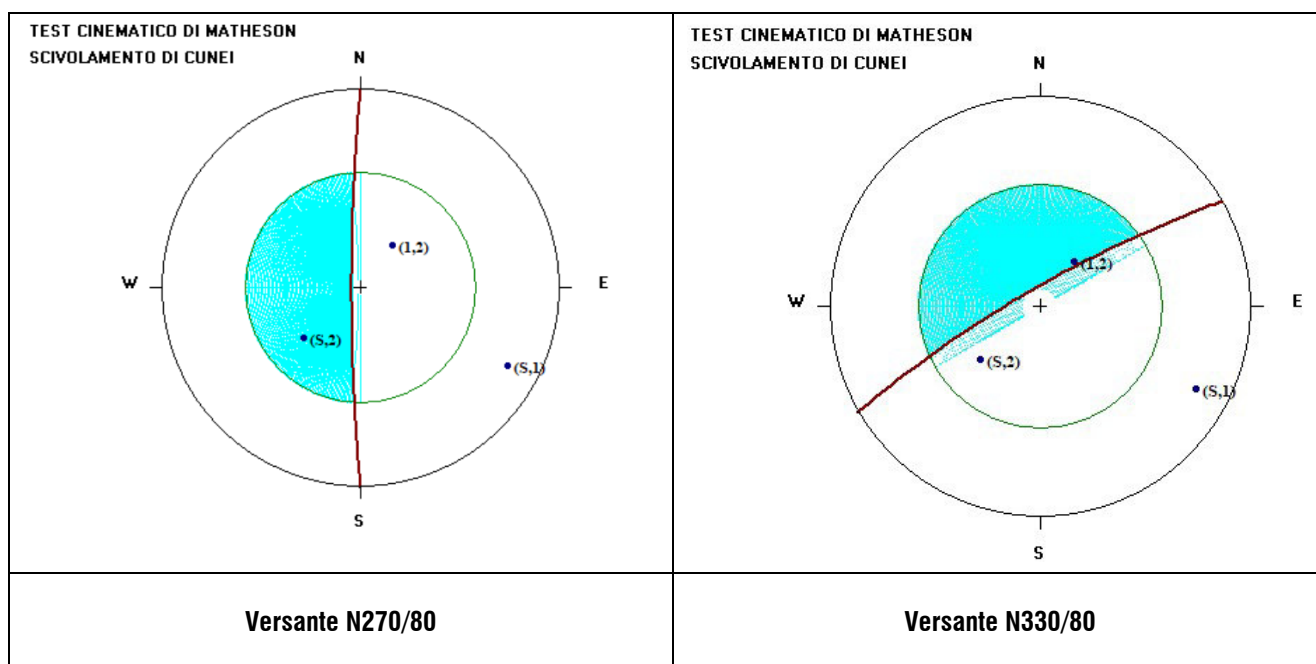
Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -
25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Tali valutazioni sono state confermate dall'analisi cinematica condotta in seno ai due versanti, di seguito esplicitata.

**CLASSE DI RISCHIO PER LA STABILITA' NELLA LA ZONA DI CRESTA
GIACITURA DEL VERSANTE N 270/80° e N330/80°**

Valore di RMR dell'ammasso: 63



L'analisi cinematica, condotta con il test di Matheson, indica per la parete rocciosa di orientazione N270° n°1 cinematismi potenzialmente sfavorevoli identificato con uno scivolamento a cuneo lungo l'intersezione St-K2 mentre per il versante di orientazione N330° n°2 cinematismi identificati in un ribaltamento lungo la K2 e uno scivolamento a cuneo lungo l'intersezione K1-K2.

Dal punto di vista geomeccanico pertanto si ottiene una pericolosità corrispondente alla :

**CLASSE 2
RISCHIO ALTO**

Dalle osservazioni e dai rilievi geomeccanici speditivi condotti in cresta si stima che il volume roccioso unitario medio sia caratterizzato da dimensioni intorno a $VRU_{medio}=4$ mc mentre quello massimo si potrebbe collocare intorno a $VRU=8-9$ mc.

7. Valutazione preliminare delle dimensioni di blocchi rocciosi mobilitati – censimento speditivo dei massi al piede

Le pareti rocciose del Monte Castello, come detto, evidenziano l'esposizione della Formazione rocciosa della Corna costituita da calcari organizzati in strati e banchi e/o a stratificazione indistinta di colore biancastro.

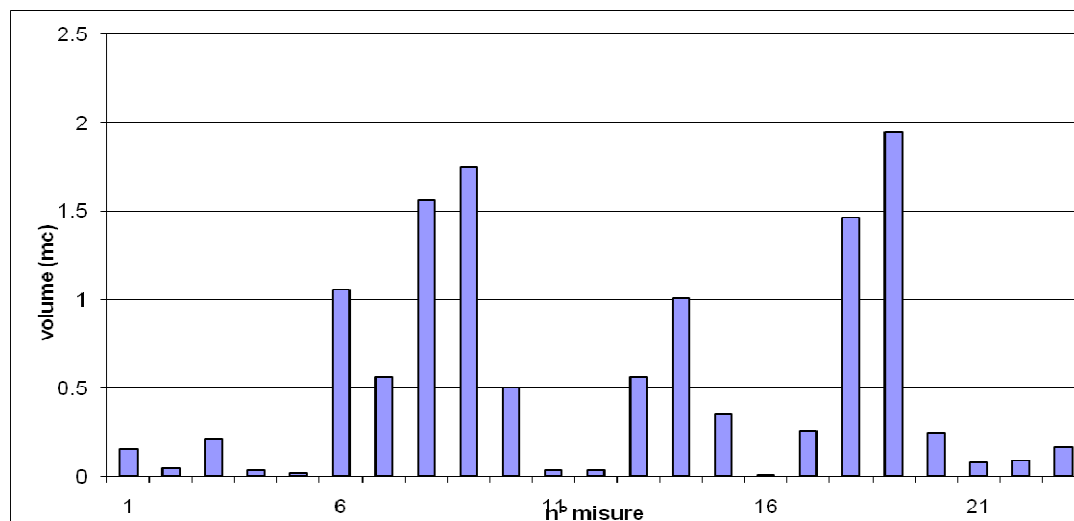
Volumi blocchi rocciosi da censimento

Sulla fascia distale della pendice e sulla sede stradale

Nell'ambito dei rilievi geomorfologici di superficie si è condotto un censimento di blocchi ed elementi lapidei significativi posizionati lungo la porzione distale della pendice ed in corrispondenza della sede stradale; in tal modo si è pervenuti ad una stima del volume significativo fornendo inoltre comunque una valutazione del volume degli elementi rocciosi mobilitati, da raffrontare con i dati derivati dai rilievi geomeccanici.

		S1	S2	S3						V(mc)
1		80	48	40	153600	cm ³	0.8	0.48	0.4	0.1536
2		40	35	30	42000	cm ³	0.4	0.35	0.3	0.042
3		82	64	40	209920	cm ³	0.82	0.64	0.4	0.20992
4		40	38	21	31920	cm ³	0.4	0.38	0.21	0.03192
5		35	25	20	17500	cm ³	0.35	0.25	0.2	0.0175
6		120	95	93	1060200	cm ³	1.2	0.95	0.93	1.0602
7		100	80	70	560000	cm ³	1	0.8	0.7	0.56
8		130	100	120	1560000	cm ³	1.3	1	1.2	1.56
9		125	108	130	1755000	cm ³	1.25	1.08	1.3	1.755
10		140	90	40	504000	cm ³	1.4	0.9	0.4	0.504
11		42	30	25	31500	cm ³	0.42	0.3	0.25	0.0315
12		40	35	22	30800	cm ³	0.4	0.35	0.22	0.0308
14		100	80	70	560000	cm ³	1	0.8	0.7	0.56
15		180	80	70	1008000	cm ³	1.8	0.8	0.7	1.008
16		84	70	60	352800	cm ³	0.84	0.7	0.6	0.3528
17		30	15	10	4500	cm ³	0.3	0.15	0.1	0.0045
18		82	53	60	260760	cm ³	0.82	0.53	0.6	0.26076
19		140	110	95	1463000	cm ³	1.4	1.1	0.95	1.463
20		125	130	120	1950000	cm ³	1.25	1.3	1.2	1.95
21		75	60	55	247500	cm ³	0.75	0.6	0.55	0.2475
24		25	42	70	73500	cm ³	0.25	0.42	0.7	0.0735
25		40	62	35	86800	cm ³	0.4	0.62	0.35	0.0868
26		72	38	60	164160	cm ³	0.72	0.38	0.6	0.16416

Caratteristiche dimensionali degli elementi rocciosi



Distribuzione del volume degli elementi rocciosi censiti

Sono stati censiti, ma non conteggiati nei grafici sopra riportati perché numericamente abbondanti, nella tabella, anche molti dei volumi visibili accumulati lungo la strada e provenienti dalle coltri detritiche a monte della medesima.



Lingua di detrito intersecante la sede stradale

Volumi blocchi da censimento a valle della dorsale nord

Censimento dei blocchi – Zona dorsale nord	Volume (mc)
Il volume del blocco unitario minimo censito risulta	0.02-0.04 mc
Il volume del blocco unitario modale censito risulta	0.15-0.4 mc
Il volume del blocco unitario massimo censito risulta	1.8-2.1 mc

In seno alle coltri di detrito che si estendono a valle delle pareti rocciose alte- cresta del Monte Castello sono stati censiti alcuni blocchi di roccia di volume eccezionale intorno a 8-9 mc.

Si considera comunque per gli arrivi dalle suddette pareti alte il blocco avente volume massimo intorno ai 4-4.5 mc, ricavato dai rilievi dell'ambito Lotto 1.

L'osservazione ed il confronto di tutti i dati raccolti ha permesso di verificare la buona concordanza dei volumi degli elementi rocciosi censiti e le risultanze dei volumi statistici dei blocchi da rilievo e dalle osservazioni geomeccaniche.

8. Indagine di sismica passiva e parametri per la determinazione dell'azione sismica di progetto

Nella normativa previgente le Norme tecniche per le costruzioni – 2008, veniva stimata la “pericolosità sismica di base” mediante un approccio “*zona dipendente*”; il territorio del **Comune di Toscolano Maderno** era inserito all'interno della **Zona 2** confermata dalla DGR X/2129 del 11/07/2014 entrata in vigore con la DGR X/5001/2016, che indica come accelerazione massima A_{gmax} presente sul territorio comunale (OPCM 3516/2006 e NTC 14/01/2008):

ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica	AgMax
03017187	BS	TOSCOLANO MADERNO	2	0,161385

Mappa di classificazione sismica dei comuni lombardi



Zone di classificazione sismica dei comuni ai sensi dell'Ord. PCM 3274 del 20 marzo 2003.

	n°comuni
zona 4	446
zona 3	1028
zona 2	57

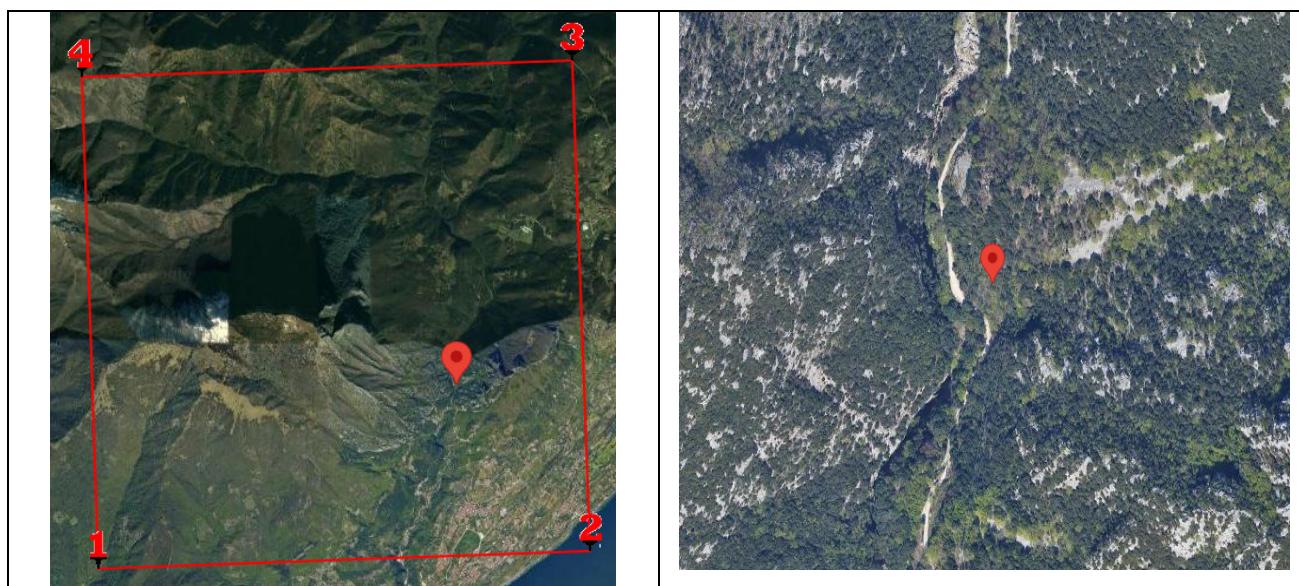
Con l'entrata in vigore della nuova Normativa DM. 14 gennaio 2008, tale valutazione viene effettuata mediante un approccio “*sito dipendente*”, utilizzando i dati e le informazioni contenute nel reticolo di riferimento (Tabella 1 - Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008) in cui sono riportati i dati sismici di 10.751 punti sul territorio nazionale. Sono contenuti in tale tabella, per ogni punto del reticolo di riferimento e per 9 valori del tempo di ritorno T_r (30,50,72,101,140, 201,475,975,2475 anni) i valori dei parametri a_g , F_0 , T^*c da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle Norme Tecniche.

Calcolo dei parametri per il sito in oggetto

Il sito in esame le cui coordinate sono :

WGS84	Lat. 45,655855	Long. 10,6194873
ED50	Lat. 45,656771	Long. 10,620517

è ubicato, come da figura seguente, nella griglia di riferimento¹:



Ipotizzando per la costruzione in oggetto una **Vita nominale di 50 anni**, ricadente in **Classe d'uso pari a II** si ottengono, tramite la media pesata dei 4 valori riferiti ai nodi del reticolo di riferimento, i seguenti dati di progetto:

¹ Immagini estratte dal software Parametri sismici di Geostru srl

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.042	2.526	0.229
Danno (SLD)	50	0.056	2.472	0.243
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.157	2.475	0.274
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.204	2.497	0.278
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Dove:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- 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 ;

I valori ottenuti si riferiscono a situazioni geologiche corrispondenti ad un sito in assenza di effetti di amplificazione sismica locale sia di natura topografica che litologica (bedrock sismico affiorante – $V_s > 800$ m/s – e condizioni morfologiche pianeggianti).

Viste le condizioni topografiche del sito si assegna sulla base delle Tabelle 3.2.IV e 3.2.VI nel cap. 3.2, il seguente valore del coefficiente topografico:

Categoria	Coefficiente di amplificazione topografica S_T
T2	1.2

In accordo Cap. 3.2, per la valutazione del coefficiente di amplificazione sismica per effetto litologico si è stimata la **Categoria di terreno** mediante la stima del parametro V_{s30} (Tab. 3.2.II), dall'esecuzione di una misura di rumore sismico ambientale (sismica a stazione singola) eseguita in posizione significativa.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Il microtremore misurato ed analizzato è solo in parte costituito da onde di volume, P o S; diversamente giocano un ruolo fondamentale, le onde superficiali Rayleigh e Love, che hanno velocità vicine alle V_s . La tecnica adottata fa riferimento ai primi studi di Kanai

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

(1957) che si proponevano di estrarre informazioni relativamente ad un sito a partire dagli spettri del rumore sismico ivi registrati. Si sono succeduti altri metodi tra i quali quello maggiormente utilizzato è quello di Nakamura perfezionato nel 1989, conosciuto come tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*, *HVSR* o *H/V*).

Nell'ambito dello studio in oggetto, si è eseguito un campionamento di rumore sismico in campo libero mediante l'utilizzo di un tromografo (Tromino) per un intervallo di tempo di 16 m, da cui sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro *et al.* (2005), con parametri:

- ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- ⇒ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza entrante,
- ⇒ rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

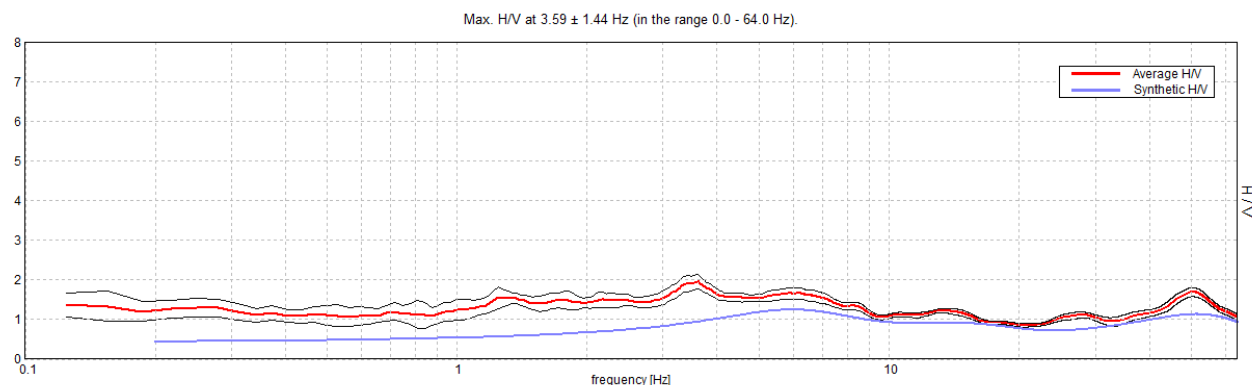
Le curve H/V possono essere convertite dal dominio H/V-frequenza al dominio Vs-profondità tramite inversione vincolata (Castellaro e Mulargia, 2008).

Nel caso in esame il vincolo è fornito dai dati forniti dalle indagini eseguite in sito.

A partire da questo elemento noto si sono generati una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato) e considerando per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

Analisi sperimentale del sito

La curva H/V sintetica relativa alla misura elaborata riportata nella figura seguente mostra, come per il sito in esame vi siano picchi di frequenza significativi a fini ingegneristici o ai fini della amplificazione sismica attestanti su 9 (frequenza di risonanza) e 20 Hz.

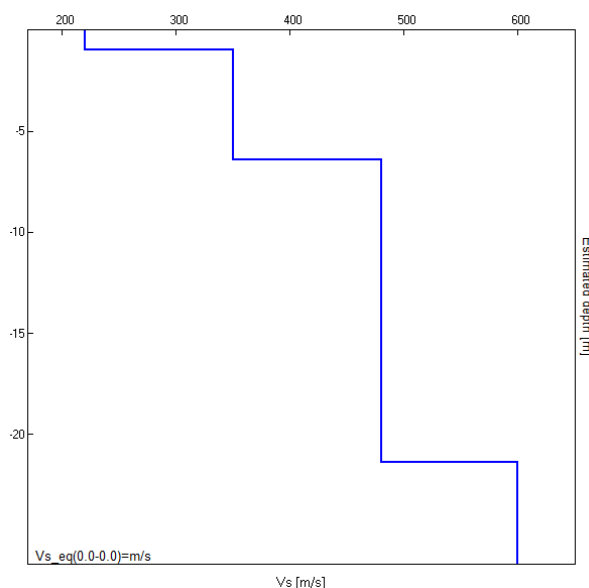


Curva H/V media (rosso) e intervallo di confidenza al 95% (nero). Curva H/V teorica per il modello elaborato (blu).

Si è considerata per la porzione sud il modello ricostruito precedentemente mediante l'elaborazione della curva TR1 da cui si è ricavato un modello sismostratigrafico locale della porzione a monte che vede la presenza di materiale detritico mediamente addensato sormontante un materiale molto estremamente addensato ascrivibile al detrito cementato o substrato roccioso estremamente fratturato. Secondo tale elaborazione il bedrock sismico ($V_s = 700\text{-}800$ m/s) locale in corrispondenza delle coltri detritiche si colloca intorno ai 15-20 m.

**Profilo della velocità delle onde di taglio (V_s)
stimato per il sottosuolo sulla base dell'inversione vincolata della curva H/V.**

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	V_s [m/s]
1	1	220
6.4	5.4	350
21.4	15	480-500
-	inf	600-700



Modello di sottosuolo per il sito riferito all'indagine a stazione singola.

Considerando la profondità di 1 m quale appoggio delle fondazioni del plinto delle barriere, secondo l'espressione seguente (NTC 2018)

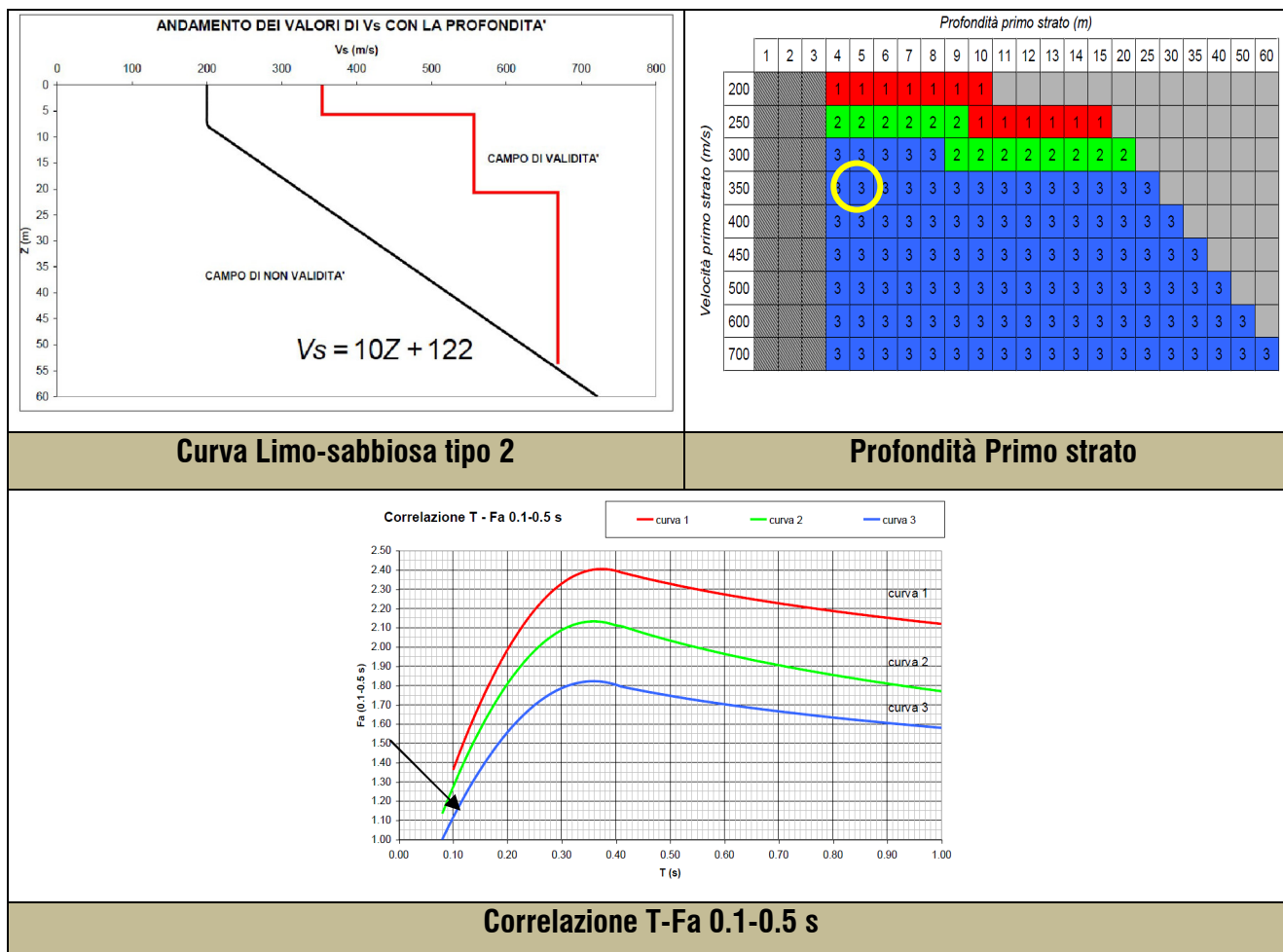
$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

Si ha un valore di **$V_s = 449 \text{ m/s}$** , ricadente in **Categoria B – Rocce tenere o Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 e 800 m/s.**

Nei tratti in cui l'appoggio delle barriere avviene su roccia affiorante è possibile adottare la Categoria di terreno A.

L'applicazione del metodo di 2° livello della Delibera regionale 2616/2011, considerando la Scheda litologica Limoso Sabbiosa tipo 2 Curva 3 – $T=0.12 \text{ s}$ (Allegato 5) fornisce un valore di coefficiente di amplificazione calcolato $FAC_{0.1-0.5s}=1.42$ che risulta compatibile con il valore soglia $FAS_{0.1-0.5s}=1.4$,

considerando la tolleranza di 0.1 per la categoria di terreno B, quindi confermando la **Categoria di terreno B**.



Fenomeno della liquefazione dei terreni

Per quanto attiene la liquefazione del terreno in condizioni sismiche (NTC 2018 par 7.11.3.4.), si ritiene che il sito non possa essere oggetto di tale fenomeno e si esclude la suscettibilità alla liquefazione omettendone la verifica per il manifestarsi delle seguenti circostanze:

- assenza di falda freatica;
- presenza di depositi di natura mista mediamente molto addensati/cementati e/o roccia affiorante;

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

9. Spettri di risposta elastici allo stato limite SLE e SLU

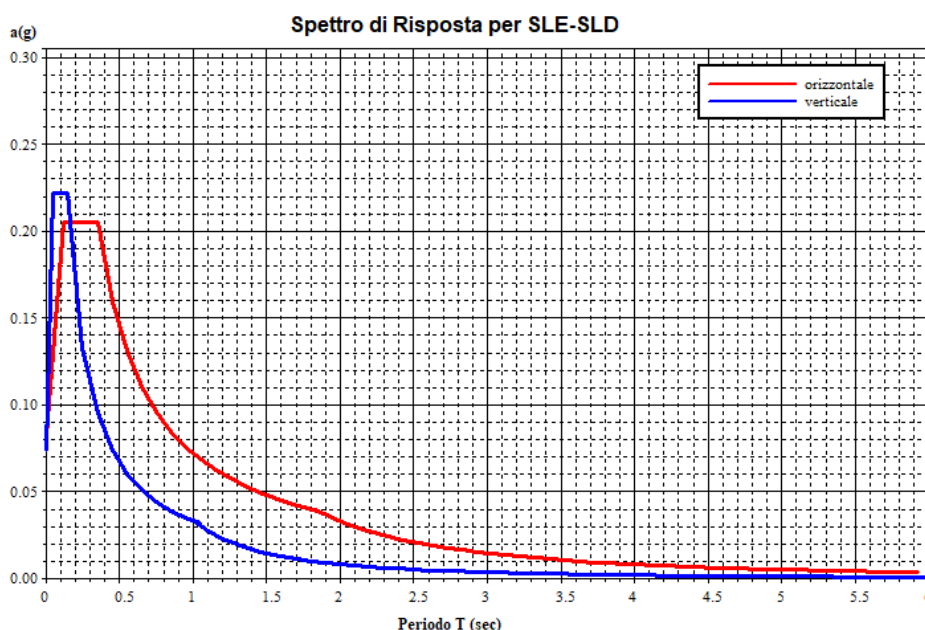
In accordo con il paragrafo 3.2.3.2.1 viene calcolato, per la descrizione del moto sismico, lo spettro di risposta elastico relativo allo stato limite SLE-SLD assumendo un coefficiente di smorzamento viscoso pari al 5%.

Valori dei parametri indipendenti che definiscono lo spettro di risposta elastico

Ag (g)	Fo	Tc (s)	SS	CC	ST	q
0.056	2.472	0.243	1.200	1.460	1.200	1

Valori dei parametri dipendenti che definiscono lo spettro di risposta elastico

S	n	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
1.440	1.000	0.118	0.355	1.824



L'accelerazione di progetto per il calcolo della forza orizzontale sulla fondazione è pari a 0.228 g

Fondir ver. 8.0 ©Bruschi Alberto

2

² Struttura analitica dello spettro:

per $0 \leq T \leq T_b$ $Se(T) = ag S n Fo [T/T_b + 1/(n Fo)(1 - T/T_b)]$
 per $T_b \leq T \leq T_c$ $Se(T) = ag S n Fo$
 per $T_c \leq T \leq T_d$ $Se(T) = ag S n Fo [T_c/T]$
 per $T_d \leq T$ $Se(T) = ag S n Fo (T_c/T_d)^2$

T = periodo di vibrazione dell'oscillatore lineare semplice

Se = accelerazione spettrale orizzontale

Se(T) = funzione di amplificazione della risposta rispetto all'accelerazione

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

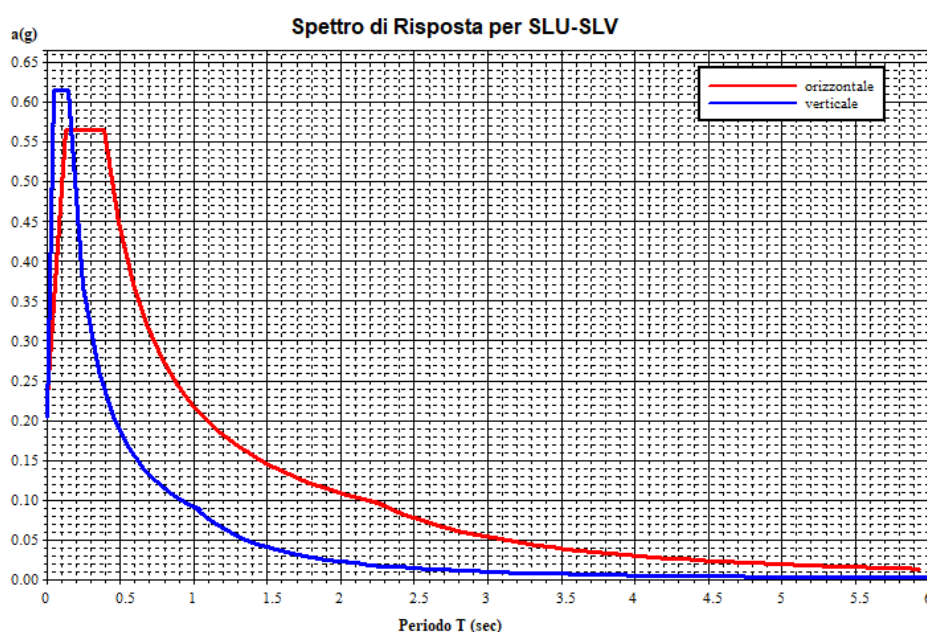
Per lo spettro di risposta elastico relativo allo stato limite SLU-SLV assumendo un coefficiente di smorzamento viscoso pari al 5%, si ha:

Valori dei parametri indipendenti che definiscono lo spettro di risposta elastico

Ag (g)	Fo	Tc (s)	SS	CC	ST	q
0.157	2.475	0.274	1.200	1.425	1.200	1.000

Valori dei parametri dipendenti che definiscono lo spettro di risposta elastico

S	n	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
1.440	1.000	0.130	0.390	2.228



L'accelerazione di progetto per il calcolo della forza orizzontale sulla fondazione è pari a 0.228 g

Fondir ver. 8.0 ©Bruschi Alberto

Le accelerazioni massime orizzontali attese al sito (a_{max}) per i vari stati limite sono:

Stato limite	SLE-SLO	SLE-SLD	SLU-SLV	SLU-SLC
ag	0.060 g	0.081 g	0.226 g	0.293 g

S = coefficiente che tiene conto della categoria i sottosuolo e delle condizioni topografiche

n = fattore di correzione per lo smorzamento = $[10/(5+e)]^{0,5}$ ($\geq 0,55$)

e = smorzamento viscoso

Fo = massimo valore spettrale normalizzato, assunto costante tra Tb e Tc

Tb, Tc, Td = parametri che determinano la forma dello spettro

k1, k2 = esponenti che definiscono lo spettro di risposta per periodi superiori a Tc e Td

S = parametro del terreno

n = fattore di correzione per lo smorzamento = $[7/(2+e)]^{0,5}$ ($\geq 0,7$)

e = smorzamento viscoso

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

10. Analisi geomorfologica di pericolosità in ordine alle traiettorie potenziali e analisi di caduta massi (Monte Castello di Gaino)

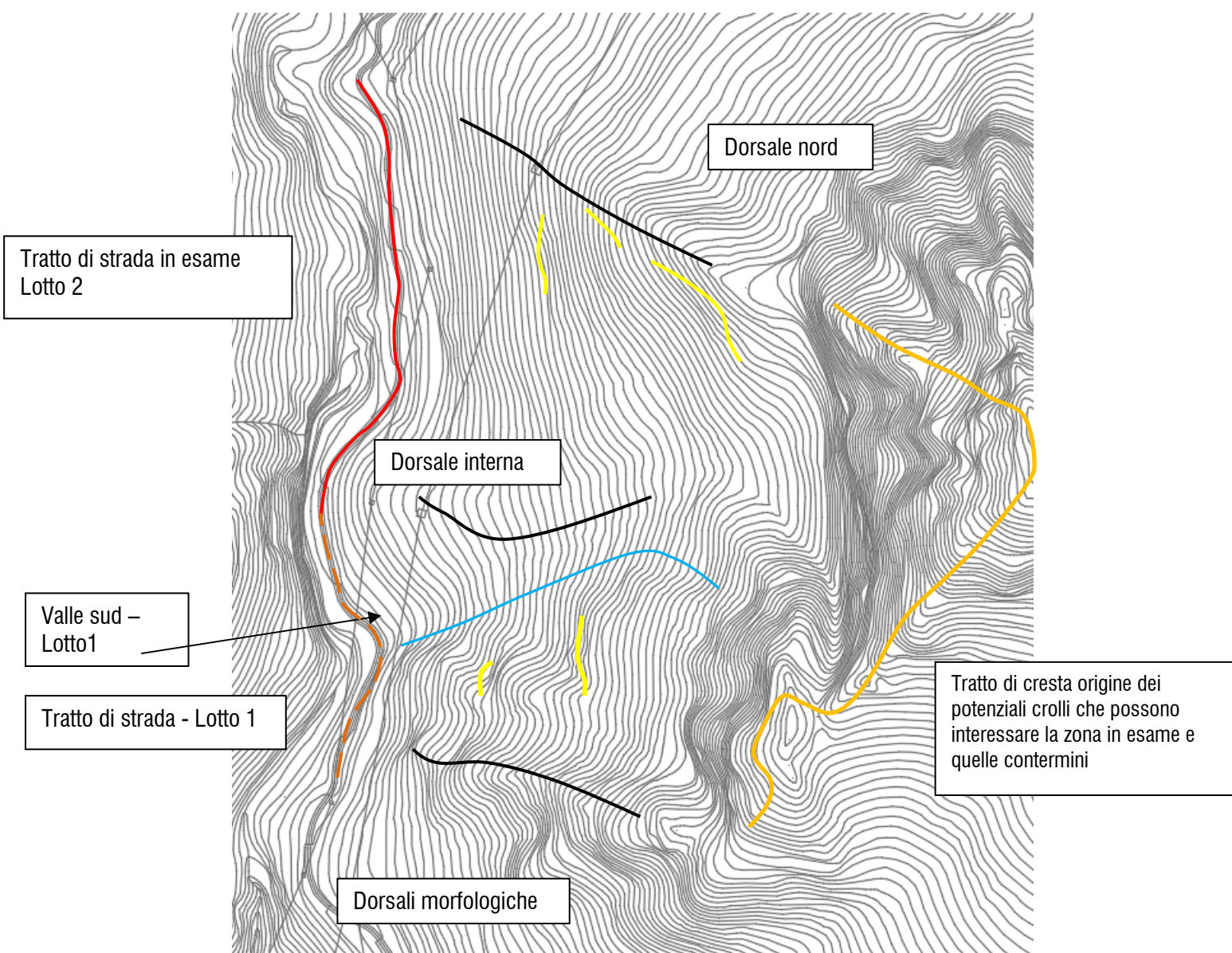
Al fine effettuare una previsione sul moto di caduta dei blocchi rocciosi dalle pareti del M.te Castello ed in particolare una stima delle geometrie di caduta e di arresto, si è eseguita una analisi geomorfologica di campagna le cui principali evidenze sono state dettagliate nei paragrafi precedenti, supportata da un'analisi tridimensionale e bidimensionale di tipo cinematico (con applicazione dei software dedicati Rotomap®Geo&Soft - RocFall®RocScience inc.).

Il codice utilizzato, basati su modelli di tipo “lumped mass” (il blocco in caduta è assimilato ad un punto materiale dotato di velocità e con massa concentrata nel punto stesso), ha consentito l'analisi del fenomeno di caduta simulando e visualizzando, ai fini dell'analisi nella presente fase, sulla base della morfologia esistente, il comportamento e la distribuzione potenziale delle traiettorie dei massi in caduta.

L'approfondita analisi morfologica di dettaglio condotta ha, inoltre, messo in evidenza i principali elementi geomorfologici che condizionano il fenomeno di scoscendimento massi rispetto alla possibilità di transito e/o arresto di massi in prossimità della sede stradale.

Nel seguente estratto corografico sono riportati gli elementi del bacino afferente alla cresta occidentale del M.te Castello che sottendono il tratto di strada oggetto di studio - Lotto 2 - comprensivi anche degli elementi analizzati nell'ambito dello studio per la mitigazione del rischio in loc. S.Antonio concernenti il Lotto 1.

Si elencano nel seguito gli elementi principali:



Estratto base aerofotogrammetria

- Nella carta sopra riportata sono visibili rappresentate con linee nere le tracce delle culminazioni delle principali dorsali che confinano morfologicamente il versante nel complesso (dorsali nord e sud) e l'ampia dorsale rocciosa interna al bacino di crollo che divide il lotto 2 a nord dal lotto 1;
- Viene evidenziata, inoltre, la cresta del M.te Castello che sottende le pareti rocciose potenziali origine dei crolli distinte in "pareti alte" (creste superiori- linea arancione); si è rilevato inoltre ed ampiamente descritto in precedenza, come il lato meridionale della dorsale nord sia costituito da

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

roccia affiorante in modo diffuso e possa essere identificato come potenziale sorgente di crolli rocciosi (tali pareti sono evidenziate con colore giallo e ubicate a sud della dorsale citata);

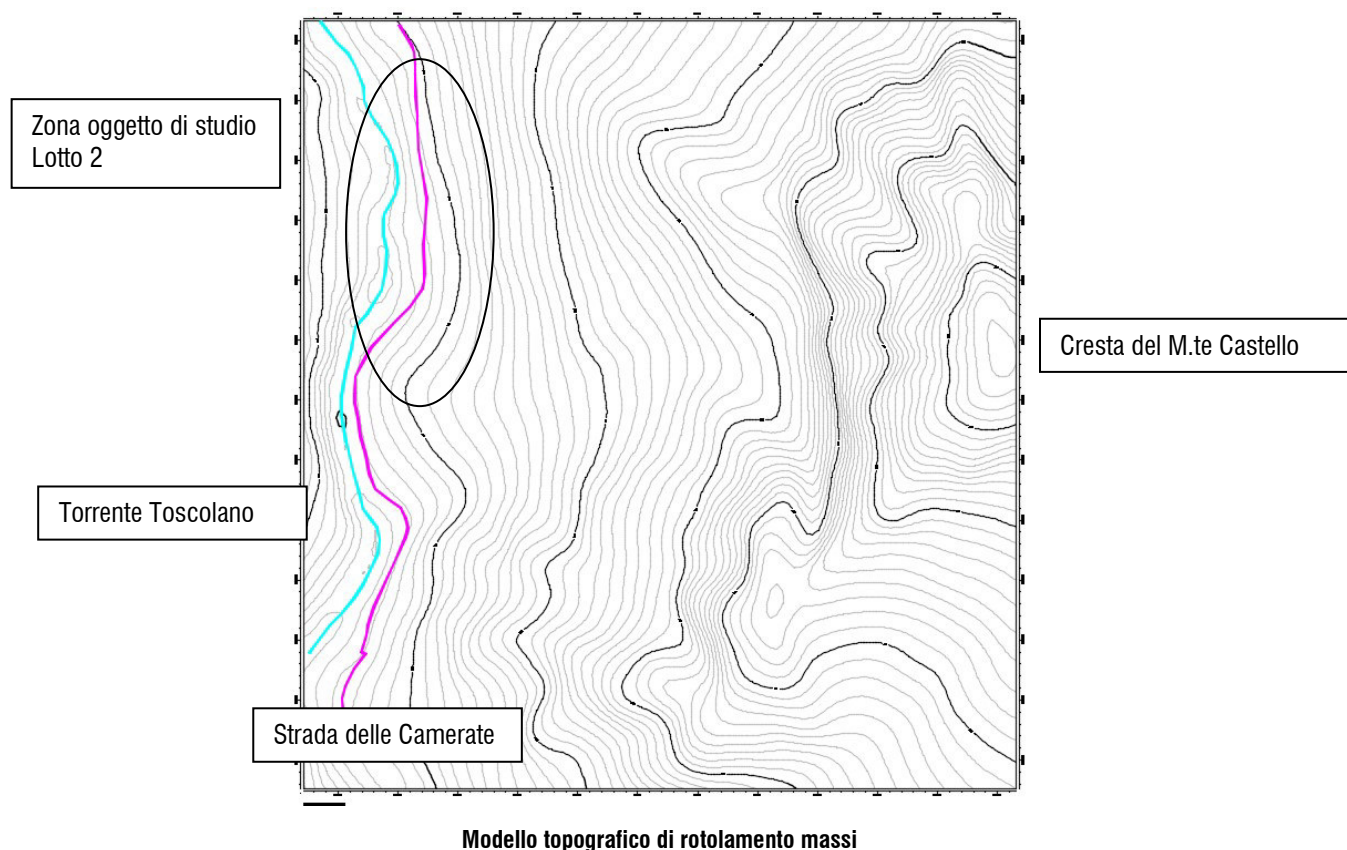
- Si riporta in colore rosso la traccia del segmento stradale oggetto di analisi;

10.1 Analisi traiettografica tridimensionale

Il programma Rotomap per mezzo dell'applicativo Isomap (che permette la ricostruzione grafica di superfici tridimensionali) ha consentito mediante una simulazione tridimensionale della caduta di massi, di prevedere le potenziali traiettorie che gli elementi rocciosi assumono in seno ad una determinata superficie topografica, ottenuta per discretizzazione in elementi quadrilateri della superficie reali.

I fattori che regolano il fenomeno sono molteplici e fortemente aleatori infatti in sede di calcolo sono di difficile quantificazione in modo deterministico pertanto l'approccio è di tipo probabilistico. In particolare i parametri vengono fatti variare entro determinati campi di valori, permettendo di definire una discreta molteplicità di scenari possibili, fra i quali si inserisce la soluzione che meglio approssima la realtà fisica.

Come base per la ricostruzione del modello tridimensionale si è utilizzato la carta aerofotorammetrica del territorio comunale la cui elaborazione da Isomap ha fornito la morfologia tridimensionale di cui si visualizza nel seguito la rappresentazione bidimensionale:



Modello topografico di rotolamento massi

Il modello elaborato, a conferma di quanto osservato in fase di rilievo di campagna, mostra l'assetto del versante ed in particolare gli elementi geomorfologici, vallette e dorsali che nel versante in studio risultano particolarmente significativi.

L'analisi morfologica di dettaglio ha messo in evidenza i principali elementi geomorfologici che condizionano il fenomeno di scoscendimento massi rispetto alla possibilità di transito e/o arresto di massi in prossimità ed oltre le residenze analizzate, elencati nel paragrafo precedente.

Ai fini dell'analisi di caduta massi i parametri afferenti ai coefficienti energetici dei materiali di copertura e agli angoli limite di volo, di urto e di rimbalzo sono stati valutati anche con un'analisi a ritroso sulla base del rilievo geomorfologico e del censimento dei massi eseguiti. Contestualmente si sono valutati parametri di riferimento anche da dati bibliografici e da letteratura (Giani, 1992 – Barla, 2008 - Hoek, 1987).

Le condizioni iniziali del moto si esprimono in termini di velocità iniziale, posizione di partenza e direzione di inizio del moto.

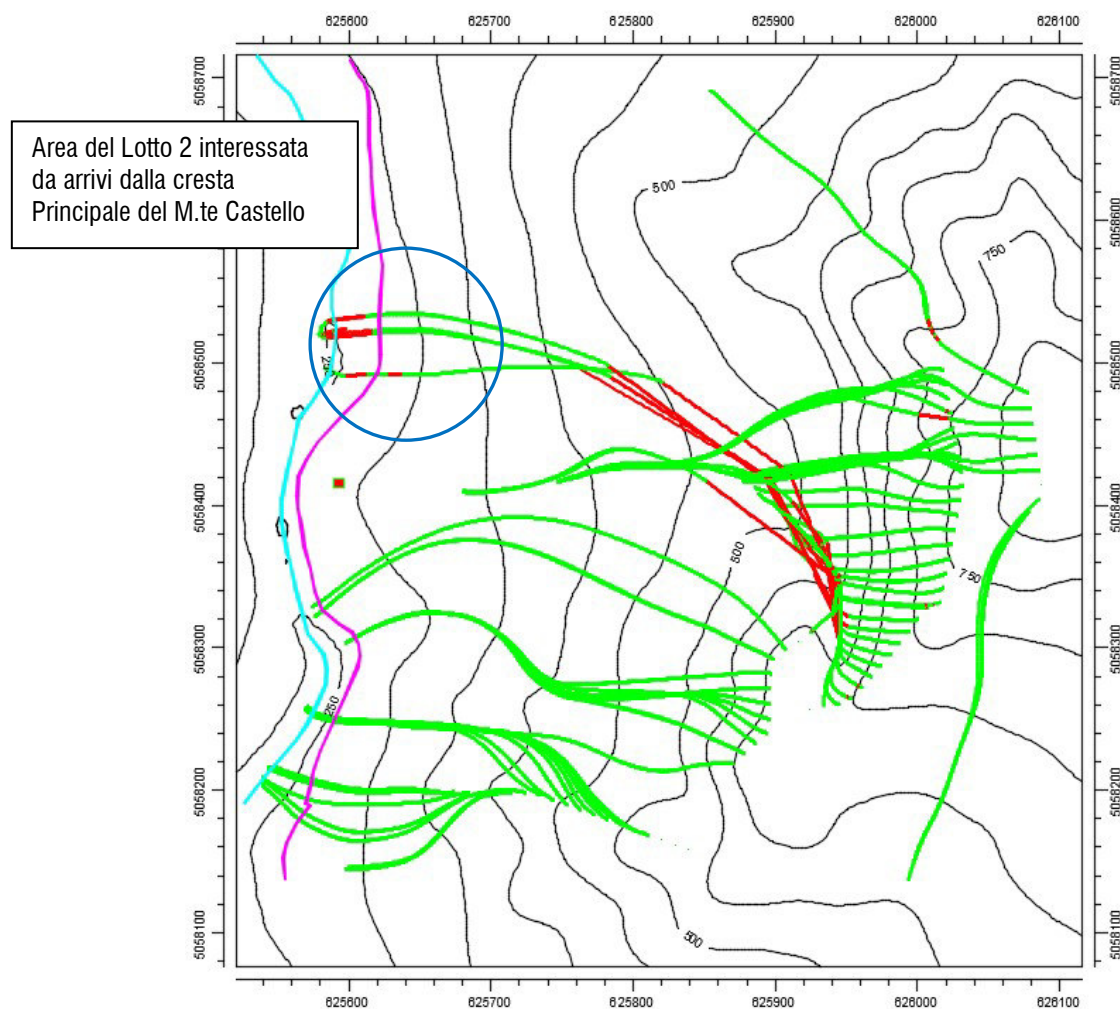
La scelta delle zone di innesco si è basata sulle caratteristiche geomorfologiche dell'area, dell'ubicazione delle principali pareti rocciose potenzialmente sede di distacco di blocchi rocciosi, ed i principali elementi geomeccanici rilevati durante la definizione delle aree omogenee. Nel caso in esame sono state assunte quali zone di origine dei crolli, in via conservativa, aree più ampie di quella che si ritiene direttamente influenzante la zona in esame ai fini anche della visualizzazione del fenomeno nel contesto interessato ad una scala significativa.

Si sono infatti verificate le traiettorie di discesa dalle creste alte del M.te Castello, che interessano il lotto 1 e parzialmente il lotto 2 e le traiettorie dalla dorsale nord.

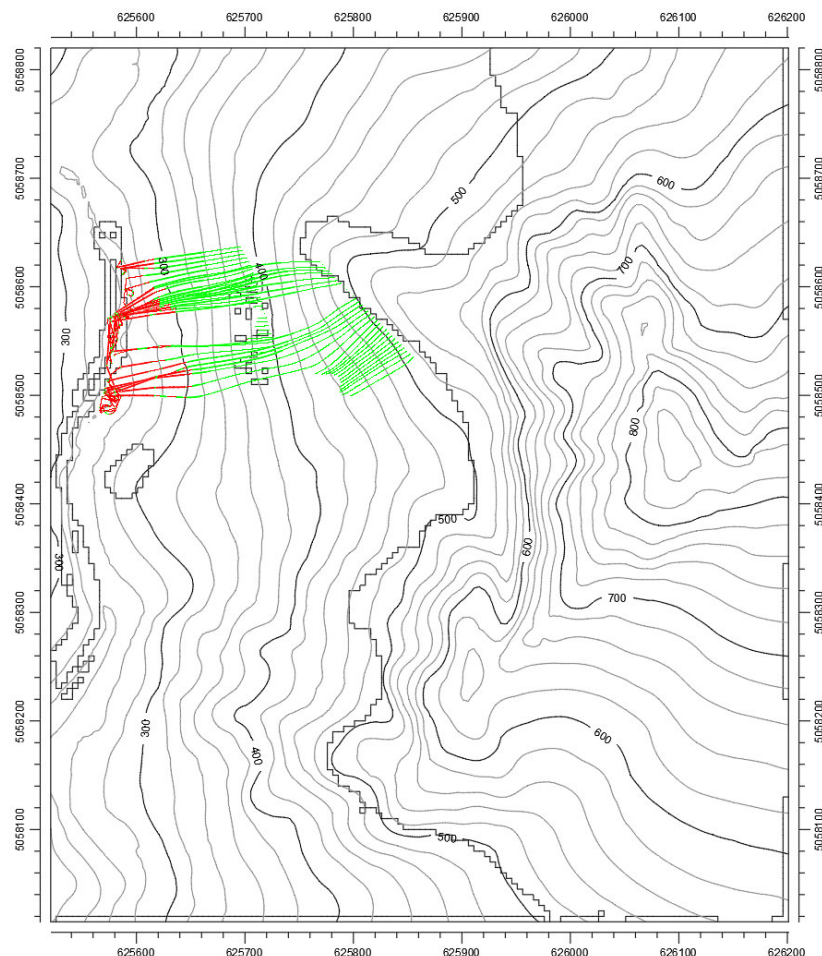
Le condizioni di velocità iniziale sono state stabilite in base alle possibili cause di innesco del movimento che causano un'instabilizzazione progressiva di un elemento roccioso e tra queste: spinte idrauliche, azioni sismiche, spinte legate all'accrescimento dell'apparato radicale, azione di gelo e disgelo.

Nel caso in esame si è assunto che nei primi istanti di movimento il blocco possa assumere una velocità iniziale compresa fra 0.01 e 0.03 m/s.

Dai risultati dell'analisi riportate graficamente di seguito si evince quanto segue:



**Andamento delle traiettorie generali con potenziali crolli dalle pareti alte –
cresta del M.te Castello**



Andamento delle traiettorie generali con potenziali crolli dalle pareti basse della dorsale nord – lotto 2 -

- In prima battuta, mostra come la morfologia articolata con presenza di dorsali che separano differenti bacini sia determinante per la distribuzione dei percorsi dei massi, si osserva infatti come i crolli provenienti dalle pareti alte vengano convogliati all'interno dei principali assi vallivi orientati verso ovest, mentre i crolli aventi come sorgente le pareti basse vadano ad interessare anche il tratto di strada a sud (lotto 1);
- Per quanto attiene in dettaglio la dorsale intermedia che sovrasta il tratto di strada in esame è evidente come abbia un effetto regimante delle traiettorie, dalle pareti alte, separandole in due bracci con arrivi rispettivamente a sud ed a nord interessante il tratto di strada afferente al lotto 2;

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

- Le traiettorie aventi come sorgente gli affioramenti in seno alla dorsale nord – pareti basse lotto 2 - evidenziano come l'asse stradale sia direttamente interessata dagli arrivi di massi che la attraversano per poi raggiungere la forra in roccia ad ovest; si tratta per lo più di piste rettilinee che solcano il versante raccordantesi con elevate pendenze al solco vallivo; nella estrema porzione sud est delle pareti i massi sembrano arrestarsi in corrispondenza di un cambio di pendenza sintomo della diminuzione della pendenza del versante in prossimità dell'attacco della dorsale intermedia;

In sintesi, si può affermare come l'analisi tridimensionale eseguita abbia permesso di confermare e perfezionare le considerazioni geomorfologiche generali condotte in corrispondenza sia della fascia media superiore che inferiore, evidenziando l'azione determinante della configurazione morfologica delle dorsali che vanno a delimitare il bacino di transito dei massi.

Analisi traiettorie di caduta massi – Analisi bidimensionale

Sulla base di quanto espresso si è proceduto, alla verifica di caduta massi ipotizzando due casi adottando la traiettoria tipo :

- che dalle pareti superiori convoglia gli arrivi lungo l'incisione appena marcata a nord della dorsale intermedia (2 sezioni),
- che dalle pareti della dorsale nord incombe direttamente sul tratto settentrionale della strada in esame ;

Per una valutazione del moto che contraddistingue la caduta dei blocchi rocciosi si è effettuata un'analisi mediante un modello di calcolo bidimensionale di tipo cinematico utilizzando il software RocFall®RocScience inc..

Le condizioni iniziali del moto si esprimono in termini di velocità iniziale, posizione di partenza e direzione di inizio del moto.

La scelta delle zone di innesco si è basata sulle caratteristiche geomorfologiche dell'area, dell'ubicazione delle pareti rocciose potenzialmente sede di distacco di blocchi rocciosi riconosciute ed i principali elementi geomeccanici rilevati in parete.

Le condizioni di velocità iniziale sono state stabilite in base alle possibili cause di innesco del movimento che causano un'instabilizzazione progressiva di un elemento roccioso e tra queste: spinte idrauliche, azioni sismiche, spinte legate all'accrescimento dell'apparato radicale etc..

Nel caso in esame si è assunto che nei primi istanti di movimento il blocco possa assumere una velocità iniziale anche di 0.03-0.01 m/s.

La pista di scoscendimento è stata caratterizzata definendo i coefficienti di restituzione normale e tangenziale come di seguito specificato.

Si sono considerate le seguenti tipologie di copertura:

Tipo di copertura	Kn	Kt
Superfici rocciose ed affioramenti di substrato roccioso	0.35-0.5	0.85-0.95
Detrito (anche con massi immersi in matrice) e detrito parzialmente colonizzato	0.32	0.80-0.82

Il volume del masso adottato nelle simulazioni è stato tarato sulla base delle risultanze delle analisi geomeccaniche e statistiche condotte sia in parete che alla base dei versanti valutando anche i rilievi dal censimento dei massi al piede, in particolare per :

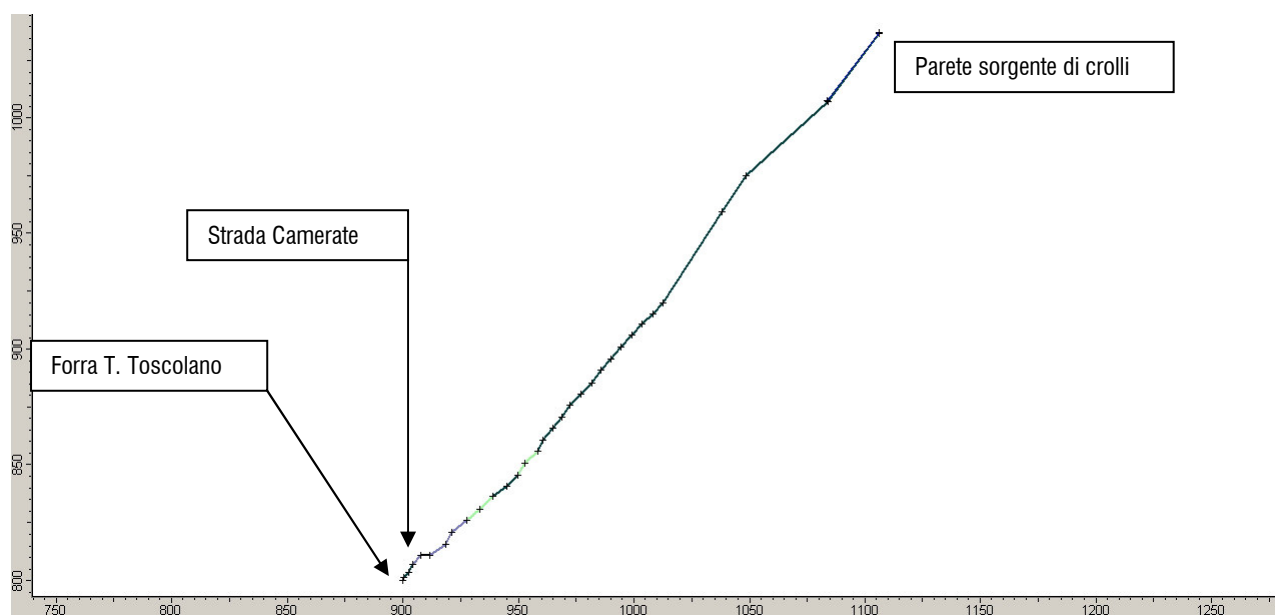
- **pareti alte – cresta Monte castello** - massi **V=4-4.5 mc** (volume medio da rilievo e da censimento come per il lotto 1);
- **pareti basse dorsale nord** - massi **V=2 mc** (da censimento settentrionale e da rilievo R1 geomeccanico eseguito);

Per la verifica si sono eseguite delle serie di simulazioni (3000-5000 cadute ogni analisi) al computer ubicando i potenziali distacchi nella porzione superiore del tratto di parete considerata sulla base anche di quanto osservato nel corso dei rilievi eseguiti.

Nell'analisi critica dei risultati è da tenere ben presente che ogni simulazione è di tipo casuale, basata su generazione di numeri random ogni volta differenti; pertanto tali risultati presentano sempre un certo grado di variabilità interna (mantenendo sempre le stesse condizioni di input, ogni output è diverso per ogni simulazione, anche se lo scarto dei loro risultati è sempre compreso generalmente nel $\pm 5\%$).

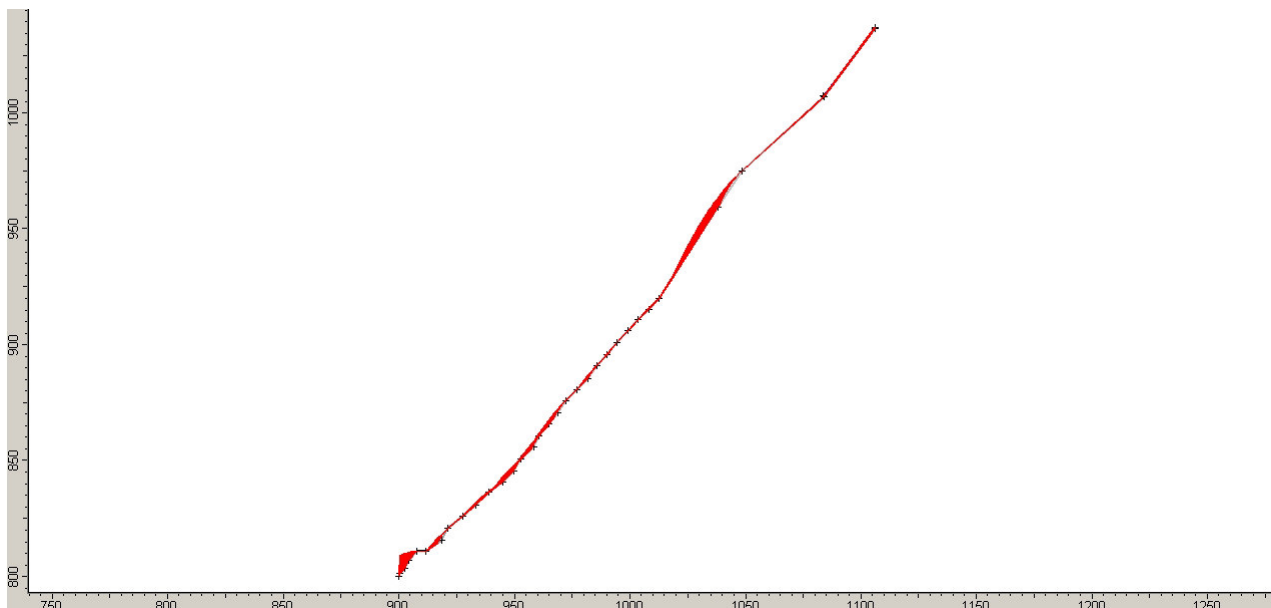
Nelle immagini seguenti si riportano i valori caratteristici delle analisi eseguite e di seguito i diagrammi traiettografici.

ANALISI TRAIETTORIA PARETI DORSALE NORD



Sezione topografica evidenziante la pista di discesa³

Si è simulata la caduta di singoli massi di volume citato dalle pareti rocciose identificate come zona sorgente verificando dal punto di vista delle traiettorie quanto di seguito evidenziato.



Si riporta di seguito il grafico in cui è evidenziata la distribuzione degli arresti dei massi lungo la pista di discesa.

Dall'osservazione del medesimo si evince come tutte le piste potenziali transitano sulla strada delle camerate rimbalzando sulla sede stradale e proseguendo verso il fondo della forra o sul versante opposto.

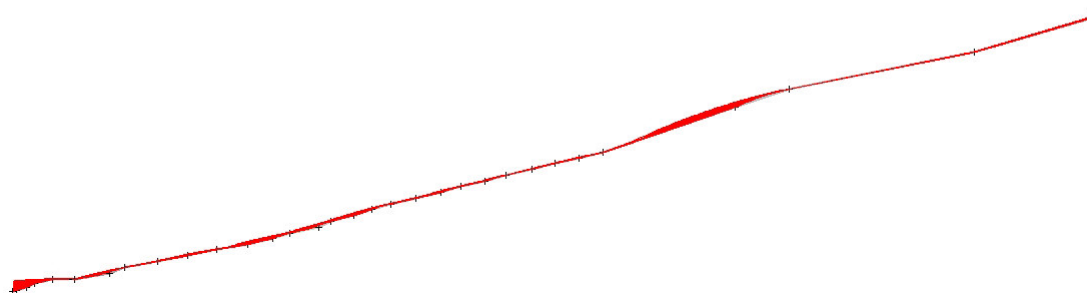
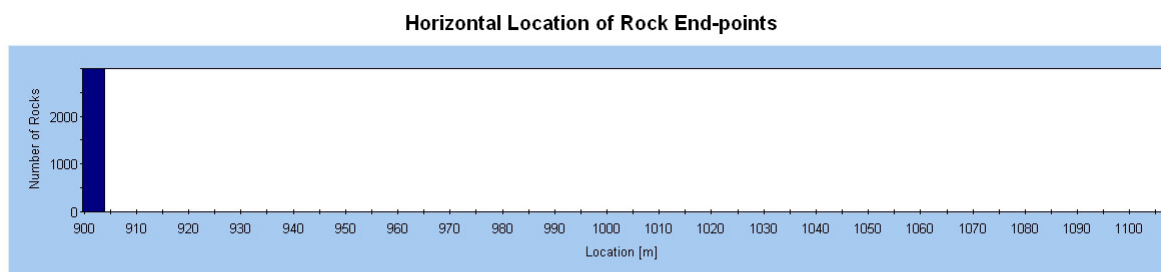
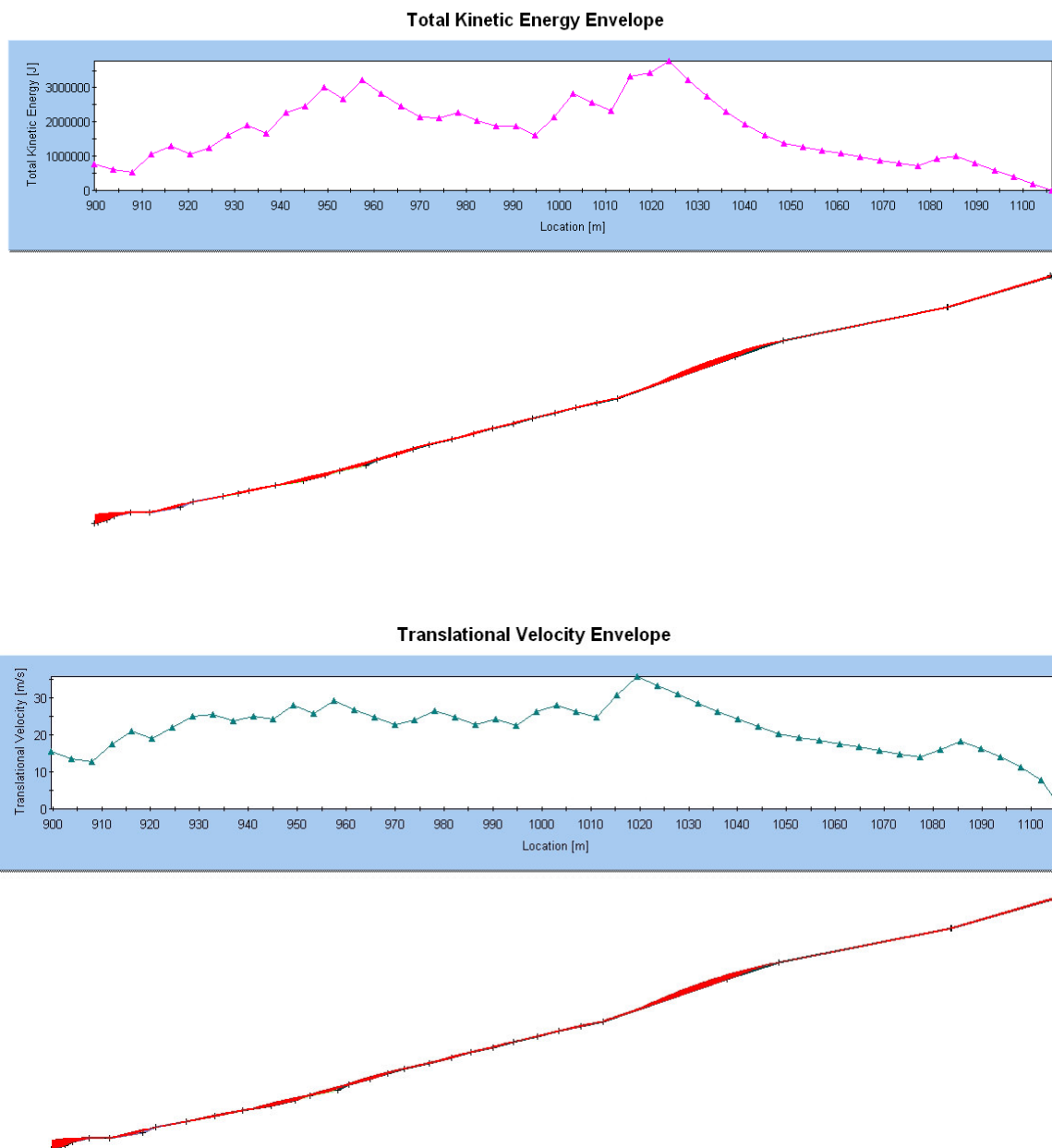


Grafico degli arresti lungo la traiettoria analizzata

I seguenti grafici mostrano gli inviluppi delle energie e delle velocità sviluppate nel corso della caduta



Sulla base di quanto osservato dagli esiti dell'analisi si è proceduto al posizionamento di una barriera paramassi ad alta deformabilità ubicata in posizione sovrastante rispetto alla strada ad una distanza di circa 10-12 m.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

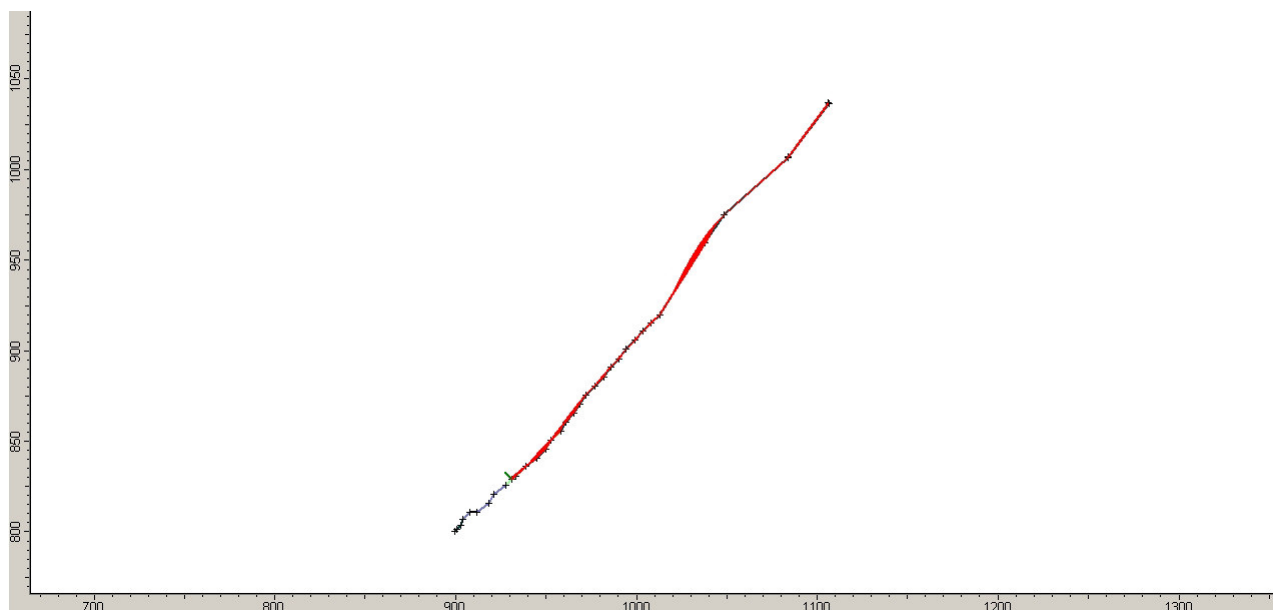


Grafico Traiettorie con inserimento della barriera

Le risultanze mostrano la seguente distribuzione statistica dell'energia cinetica dei massi di impatto sulla barriera:

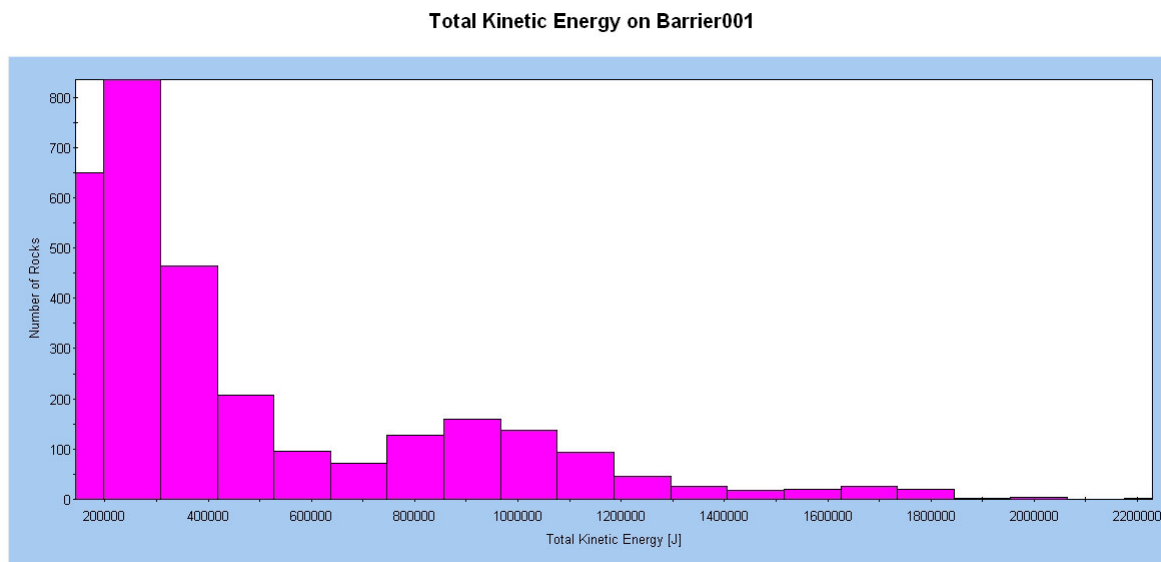


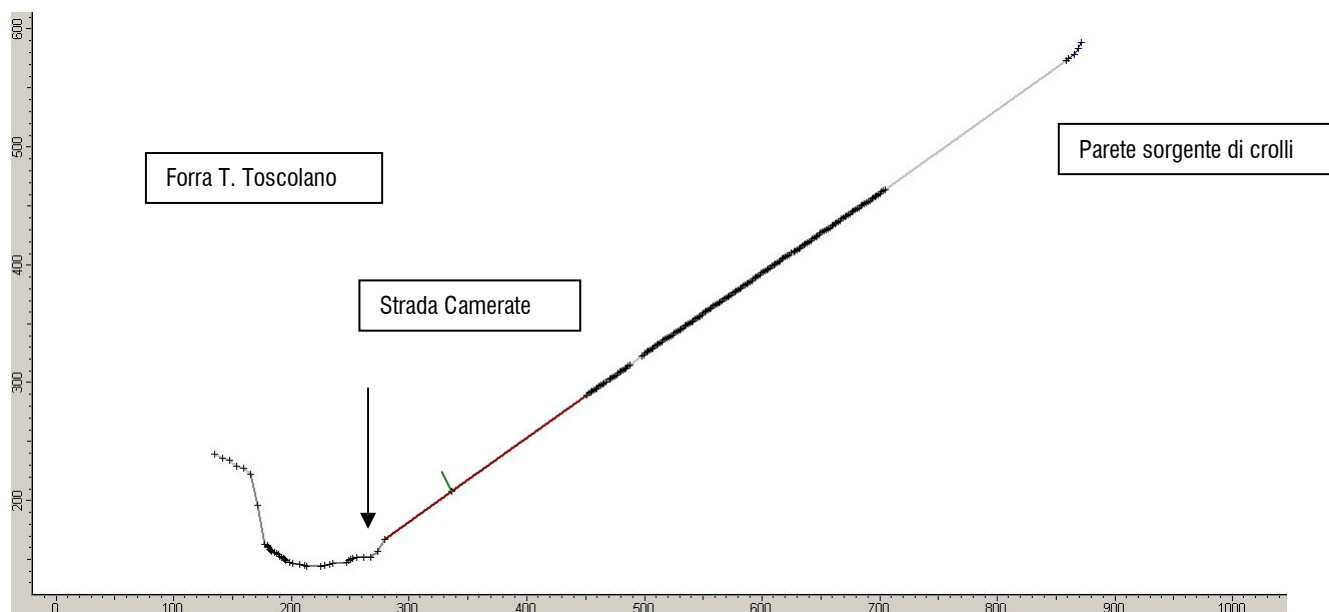
Grafico distribuzione delle energie in corrispondenza della barriera

Le analisi indicano come le energie alla sezione considerata si attestino per il singolo masso della volumetria considerata:

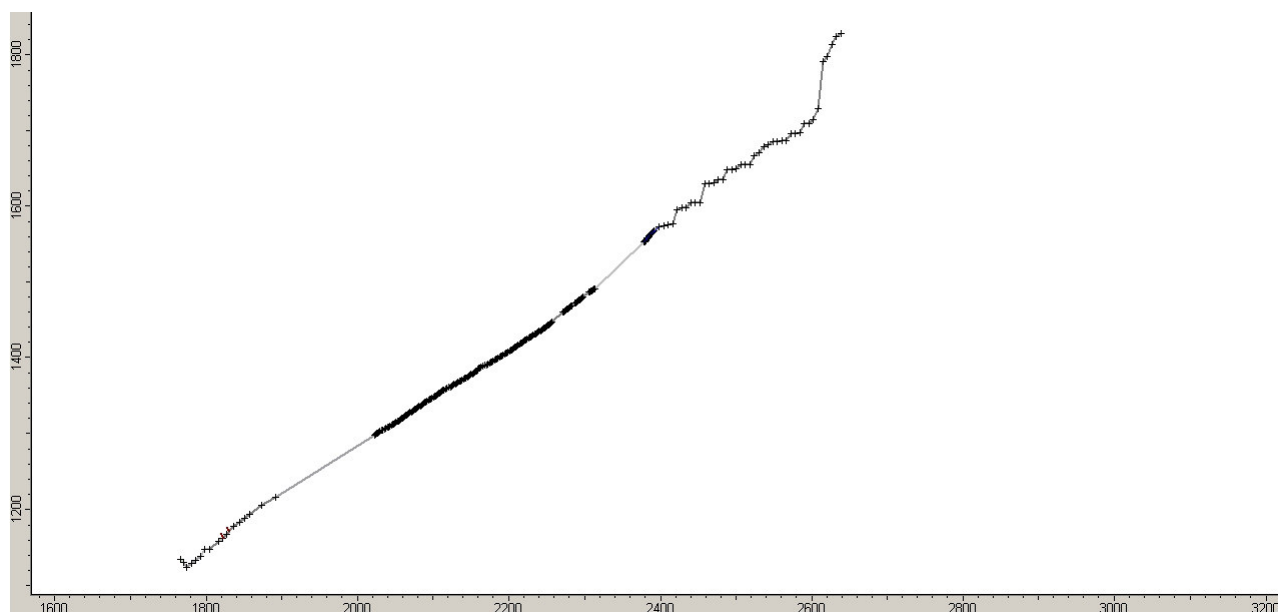
Volume 2 mc / massa 5200 kg

Barriera	
Energia massima di impatto (kJ)	1.700 KJ (95%) – 2.280 KJ (5%)
H di impatto (0.5/0.7 m +0.8 m)	1.3-1.5 m

ANALISI TRAIETTORIA PARETI ALTE



Sezione topografica evidenziante la pista di discesa

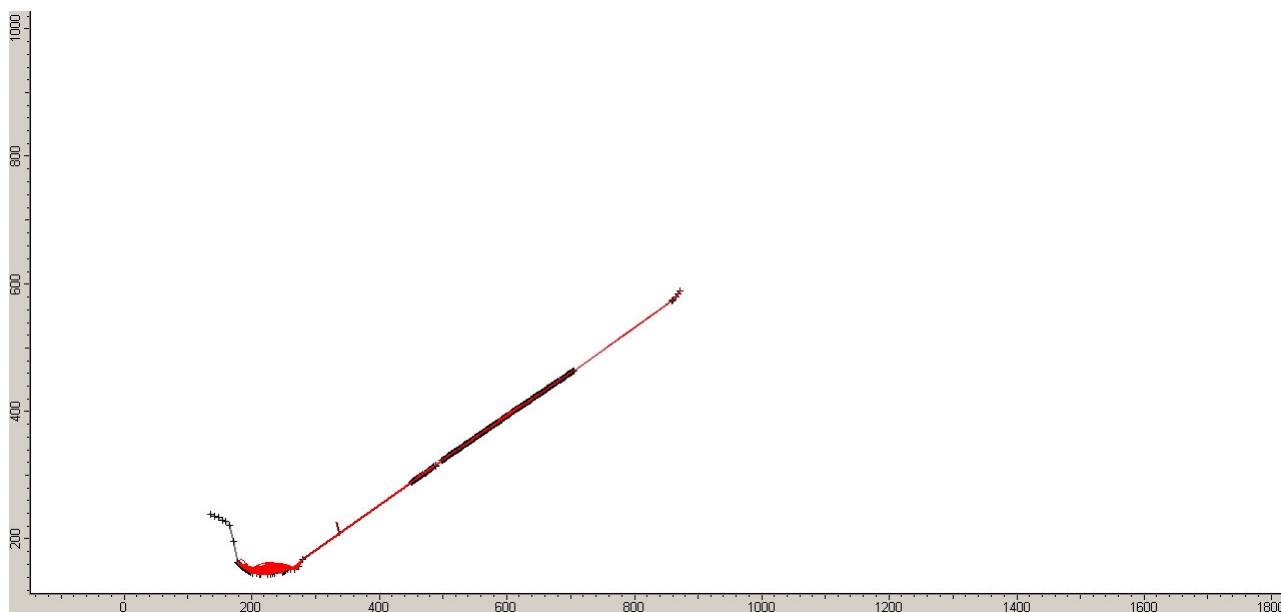


Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

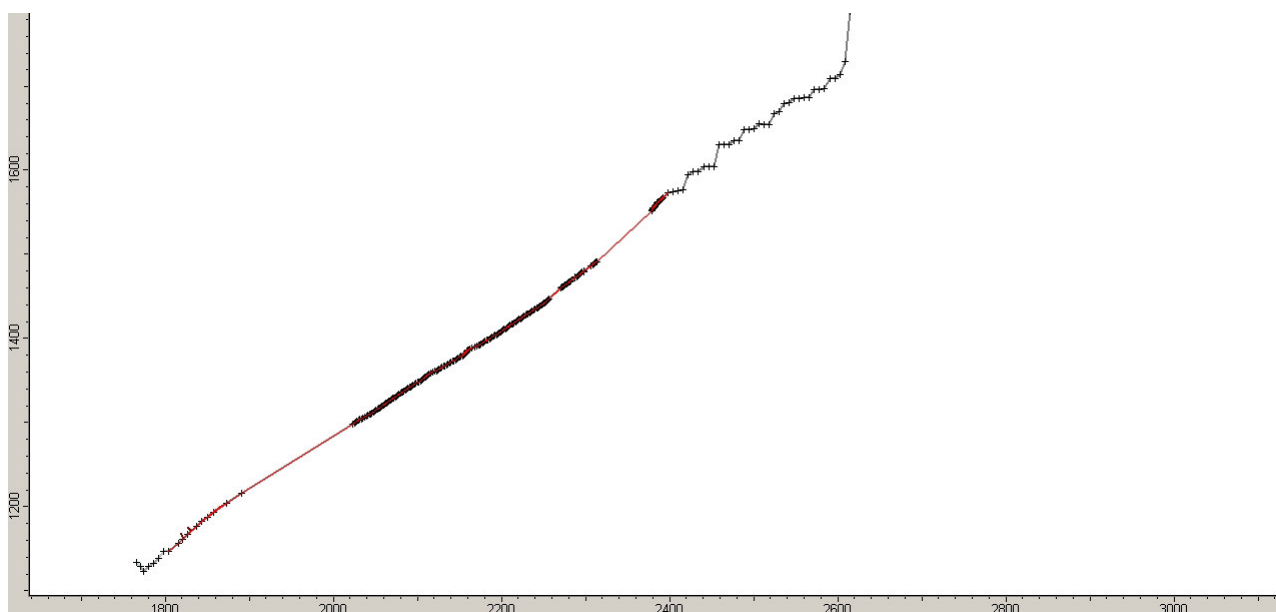
- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Si è simulata la caduta di singoli massi di volume citato dalle pareti rocciose identificate come zona sorgente pareti alte verificando dal punto di vista delle traiettorie quanto di seguito evidenziato, su due sezioni ricavate lungo il versante.



Sezione topografica evidenziante le traiettorie di discesa da pareti alte



Sezione topografica evidenziante le traiettorie di discesa – pareti alte

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Si riporta di seguito il grafico in cui è evidenziata la distribuzione degli arresti dei massi lungo la pista di discesa.

Dall'osservazione del medesimo si evince come tutte le piste potenziali, anche in questo caso, raggiungono la strada delle camerate arrestandosi parzialmente o rimbalzando sulla sede stradale medesima e proseguendo verso il fondo della forra o sul versante opposto.

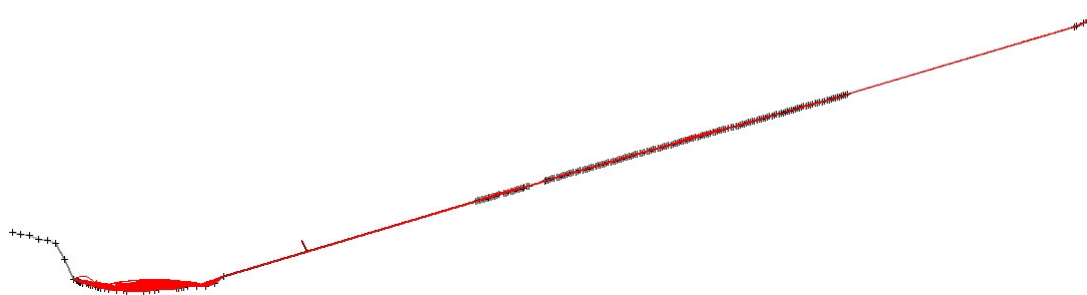
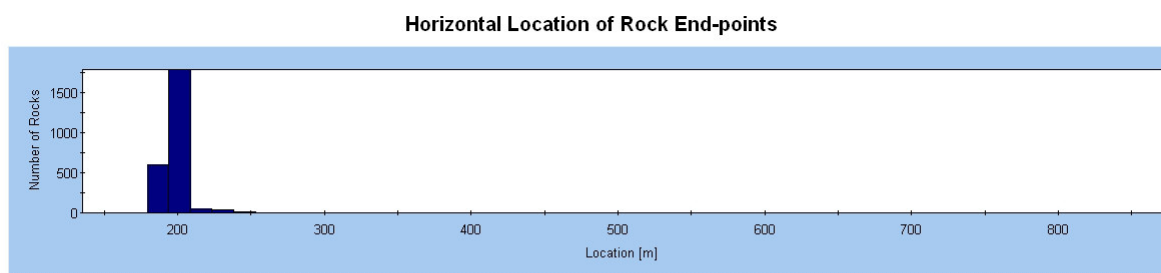
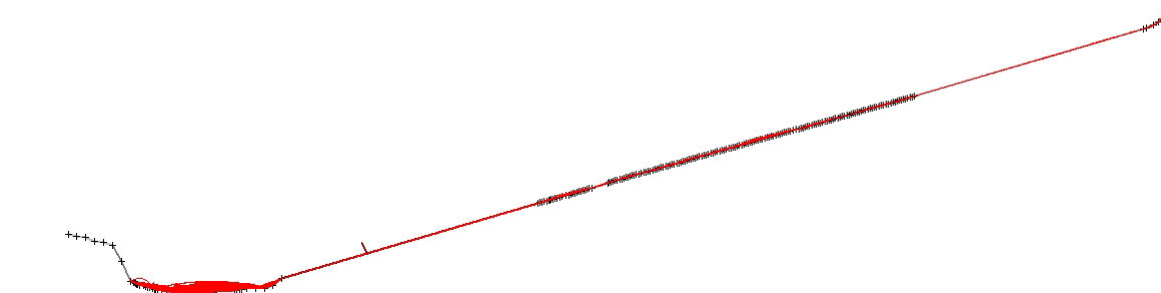
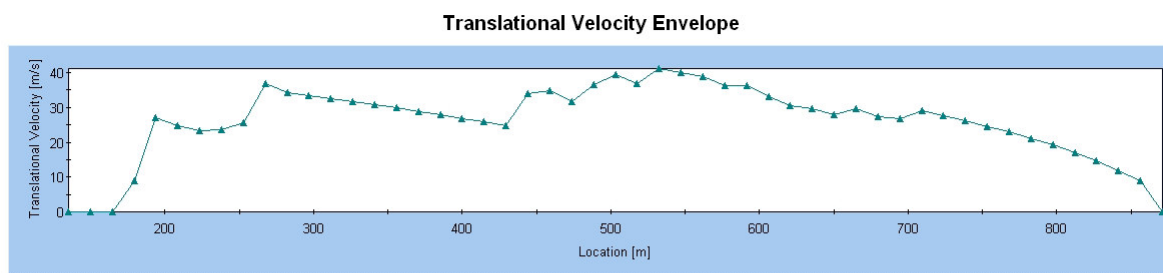
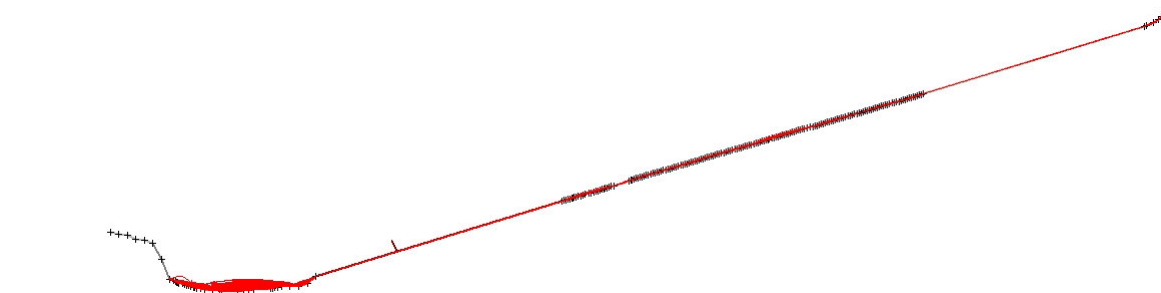
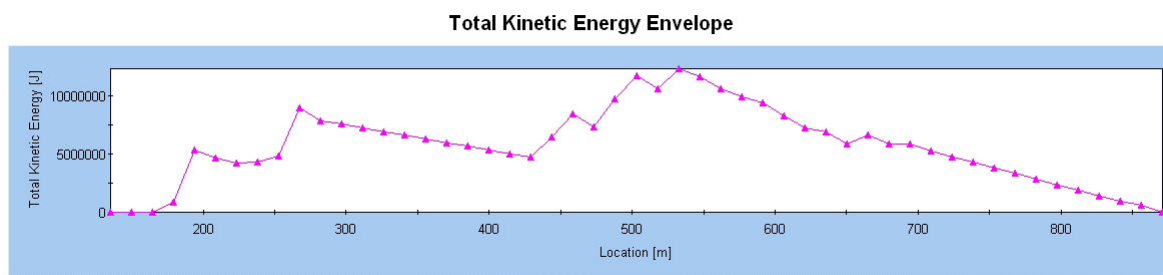
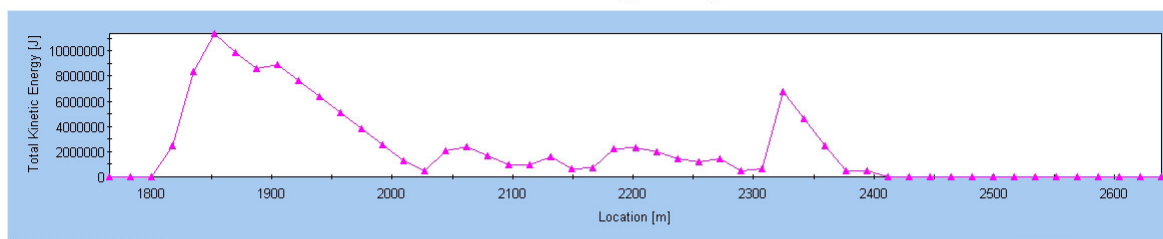


Grafico degli arresti lungo la traiettoria analizzata

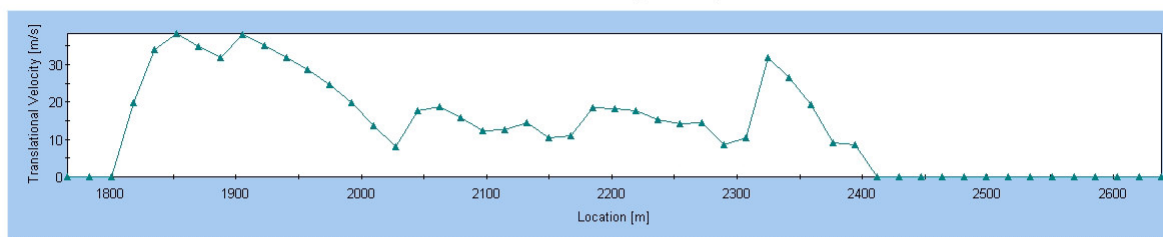
I seguenti grafici mostrano gli involuipi delle energie e delle velocità sviluppate nel corso della caduta



Total Kinetic Energy Envelope



Translational Velocity Envelope



Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Sulla base di quanto osservato e dagli esiti dell'analisi si è proceduto al posizionamento di una barriera paramassi ad alta deformabilità ubicata sul versante a monte della strada ad una quota di circa 40-50 m di quota (indicativamente poco a monte del primo allineamento di tralicci).

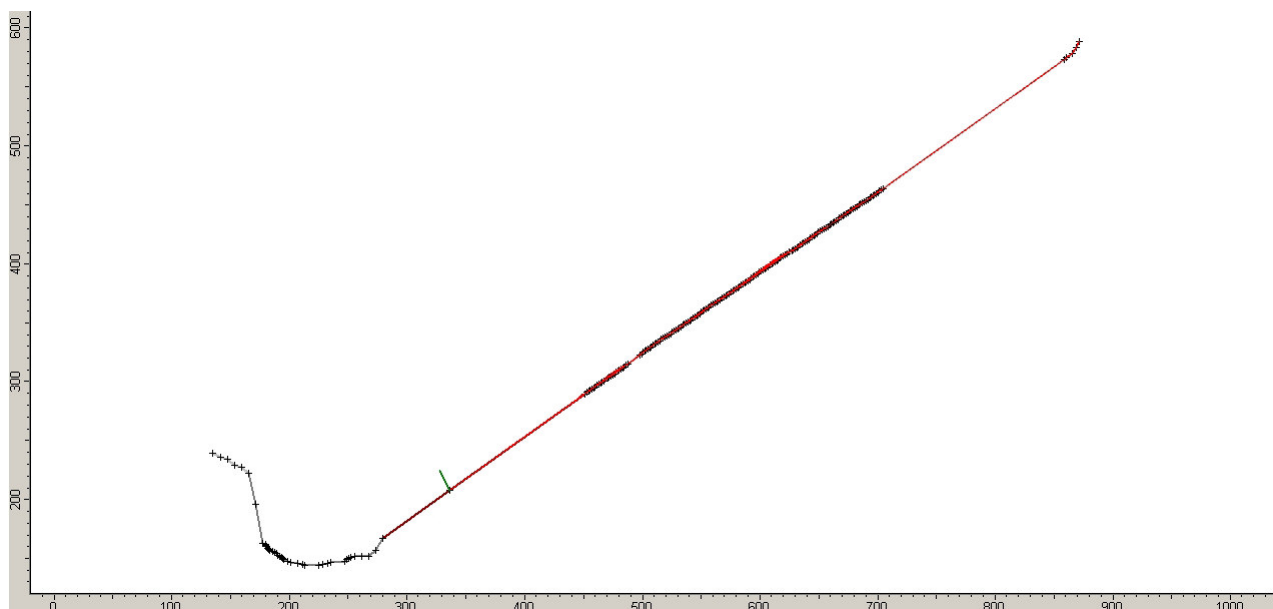
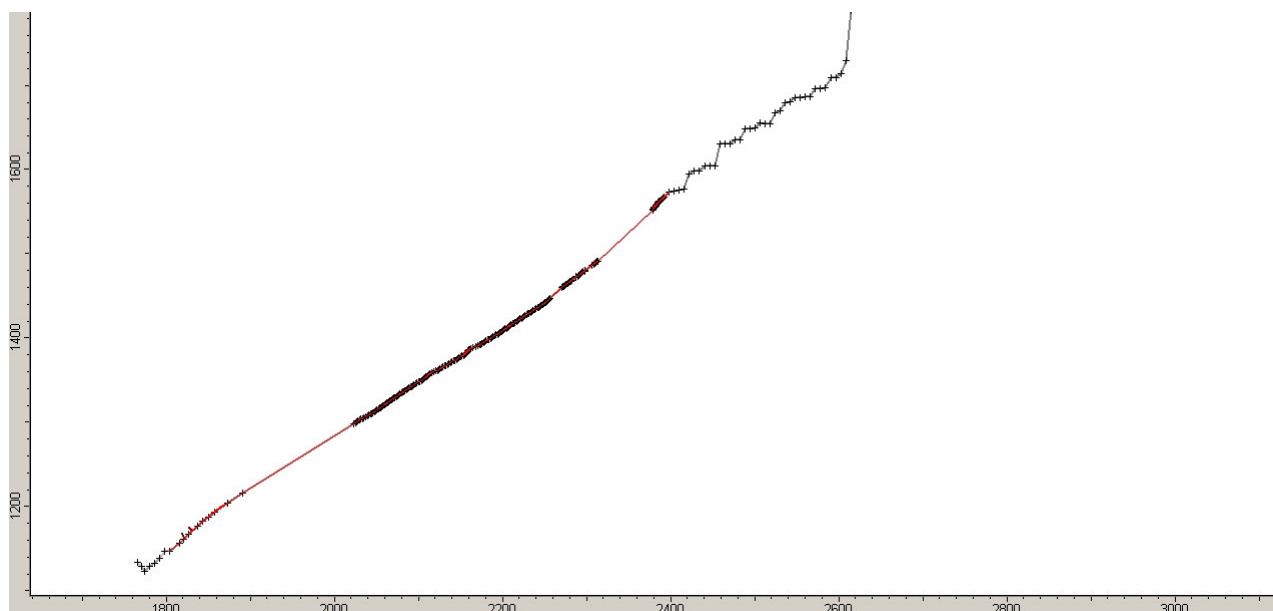


Grafico Traiettorie con inserimento della barriera



Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Le risultanze mostrano la seguente distribuzione dell'energia cinetica dei massi:

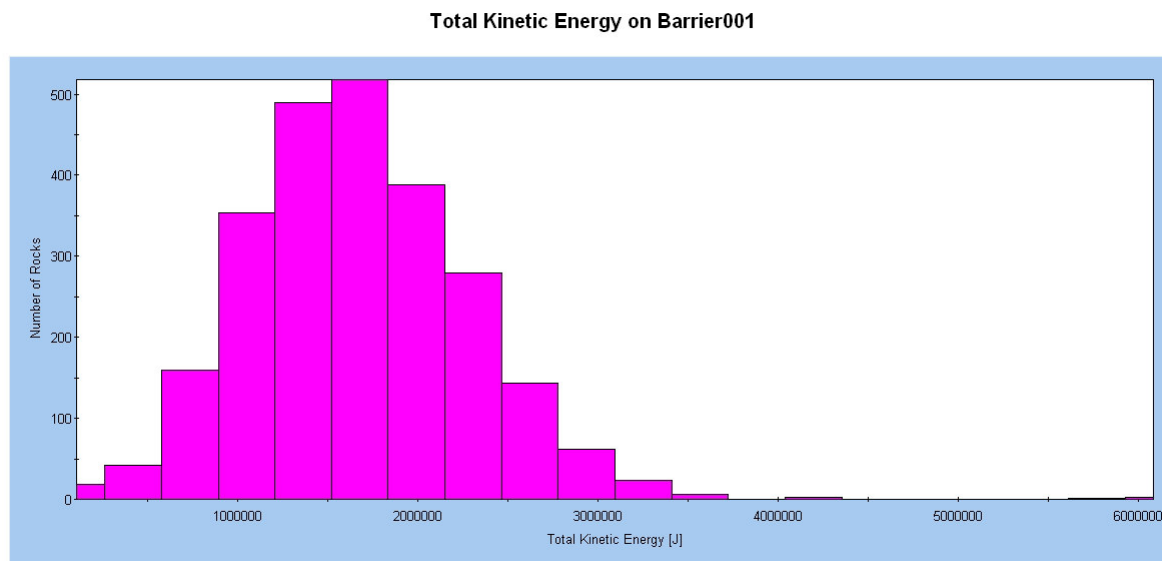


Grafico distribuzione delle energie in corrispondenza della barriera

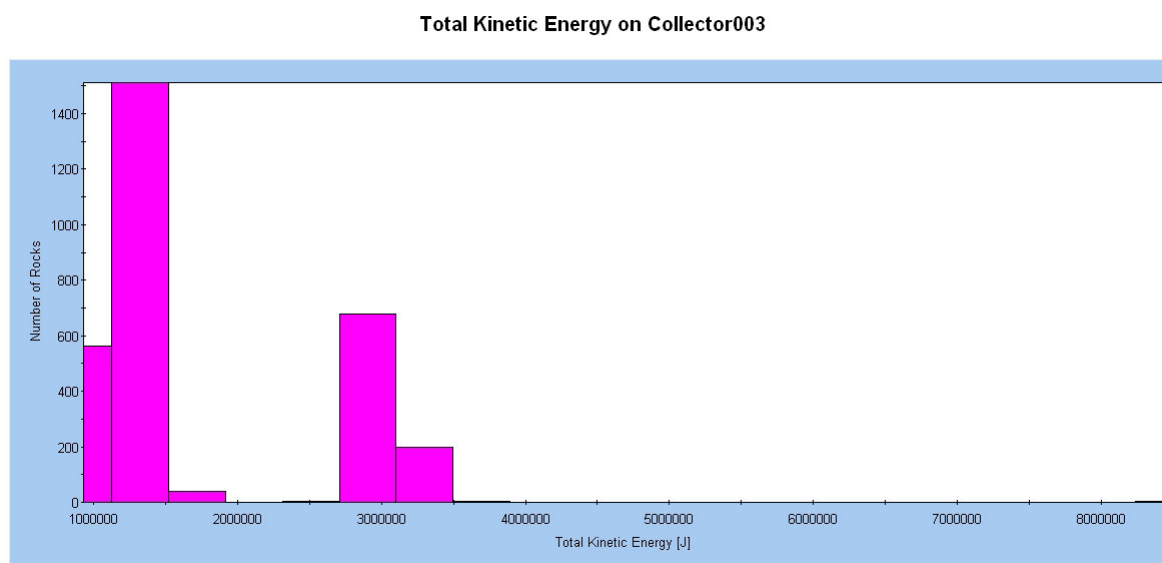


Grafico distribuzione delle energie in corrispondenza della barriera

Le analisi indicano come le energie alla sezione considerata si attestino per il singolo masso della volumetria considerata:

Volume 4 mc / massa 10 000 kg

Barriera	
Energia massima di impatto (kJ)	2.800/2900 KJ (95%) – 5.500/3.500 KJ (5%)
H di impatto (0.1 m + 1.50 m (D))	1.5-1.6 m

11. Interventi suggeriti e conclusioni

Il presente incarico riguarda la studio geologico geomeccanico a supporto del progetto definitivo per la mitigazione del rischio incombente su un segmento della Via Camerate lotto 2 – in continuità con il tratto oggetto di mitigazione Lotto 1 quest'ultimo all'altezza del tratto interessato dal movimento franoso in loc. San Antonio – Valle delle Camerate

In questa fase di studio la pericolosità da scoscendimento massi dalle pareti orientali del M.te Pizzocolo seppur presente, non è stato trattato in quanto esula dalle finalità del presente studio in riferimento anche alle dimensioni dell'area da analizzare con pareti che si elevano fino a 1.500 metri di quota e che pertanto necessiterebbero di uno studio ad hoc.

I rilievi e le analisi traiettografiche condotte portano a suggerire, per la mitigazione del rischio da caduta massi suddetta, l'installazione di barriere paramassi come indicato nel seguito.

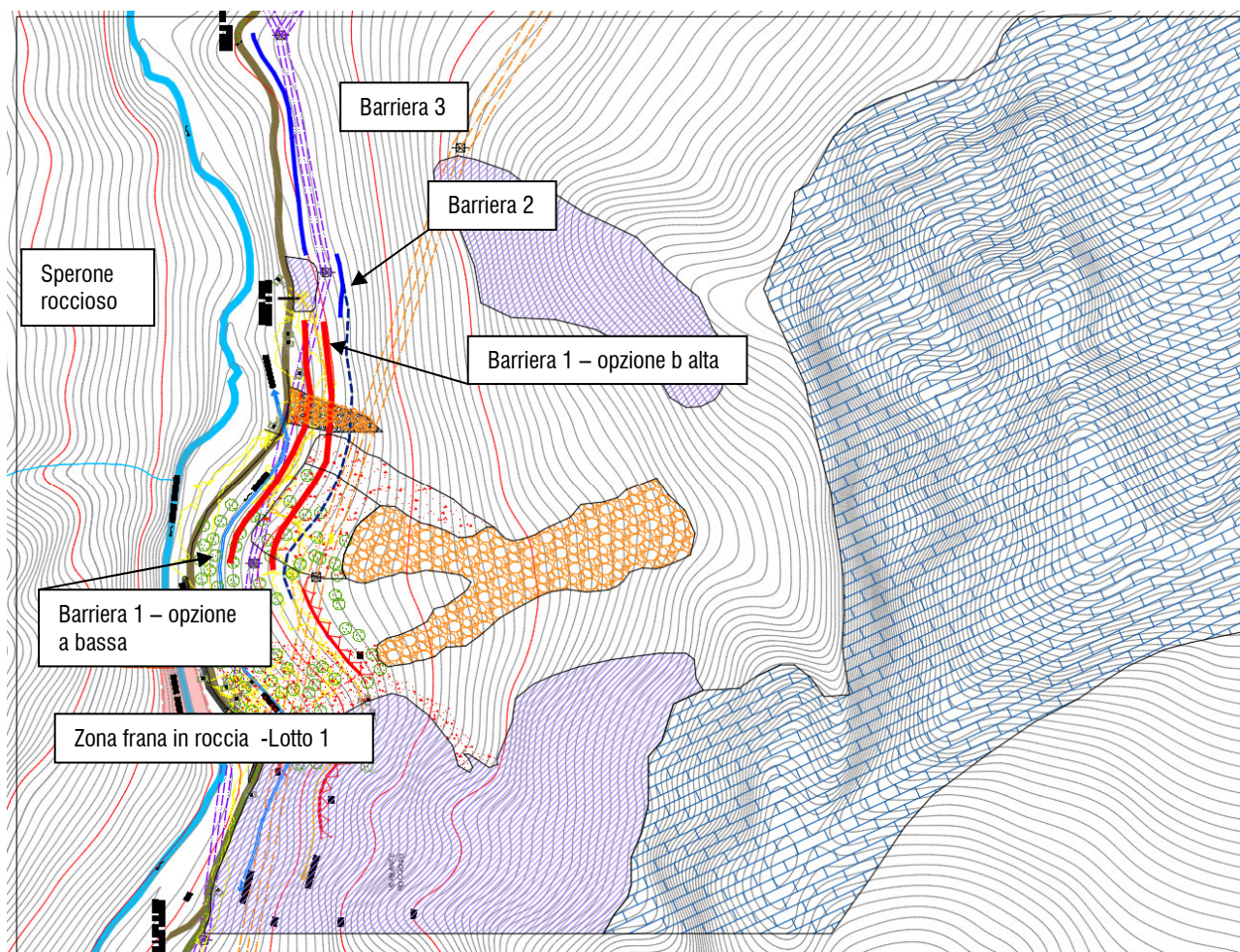
Sulla base della DGR 2616/2011 si è assunto quale massa di riferimento per i crolli dalle creste elevate del M.te Castello di Gaino un volume pari a $V=4 \text{ m}^3$, volume massimo dei blocchi da censimento in sito per tali pareti, mentre per i crolli in corrispondenza della dorsale nord si è assunto un massa di $V= 2 \text{ m}^3$ di volumetria.

I volumi eccezionali (rari) rinvenuti in seno al detrito si ritiene possano essere riconducibili ad eventi parossistici o frane di crollo intervenute in tempi presumibilmente post-glaciali. Tali volumetrie comportano valori energetici non compatibili con le strutture di ritenzione in commercio e richiedono, ove eventualmente presenti e potenzialmente mobilitabili, l'esecuzione di interventi attivi in parete da valutarsi caso per caso nell'ambito di studi dedicati.

Sulla base dell'esito delle simulazioni sia tridimensionali che bidimensionali è stato possibile verificare il migliore posizionamento delle barriere paramassi che ricade quindi in settori ben precisi del versante adeguati in termini di rapporto tra energie sostenibili e settore di versante sotteso. Si sottolinea comunque che il posizionamento delle barriere e quelle poste in particolari situazioni morfologiche (es. sperone

roccioso in corrispondenza del traliccio che lambisce il tratto centrale del lotto 2) dovrà essere compiutamente verificato in fase esecutiva durante il tracciamento in cantiere.

Nella planimetria seguente si riportano le tracce delle barriere paramassi suggerite a seguito delle analisi traiettografiche.



Carta geomorfologica del versante – con ubicazione suggerita delle barriere

- 1. Tratto Barriera 1** - Lunghezza totale - $L = 170$ m (energia 3000 kJ) valutabile il posizionamento in due opzioni

Opzione 1 bassa – ubicata appena a monte della strada e della canaletta, che si sviluppa dal riferimento del lotto 1 fino appena a sud del margine dello sperone roccioso;

Opzione 2 bassa – ubicata fra i due tralicci e a monte anche del sentiero CAI, anch'essa si sviluppa dal riferimento del lotto 1 fino appena a sud del margine dello sperone roccioso;

2. **Barriera 2** - L=40 m (energia 2000 kJ), si sviluppa a monte dello sperone roccioso e del traliccio che lo sormonta;
3. **Barriera 3** Lunghezza totale - L=110 m (energia 2000 kJ), si sviluppa appena a monte degli affioramenti che costeggiano la strada, posizionata sul substrato roccioso;

Si riportano di seguito i valori dei parametri geotecnici generali delle coltri detritiche e dall'ammasso roccioso.

Una zonazione puntuale e circostanziata è riportata nella relazione di caratterizzazione geotecnica a supporto delle relazioni di calcolo delle fondazioni.

Tabella riassuntiva parametri dei terreni e dell'ammasso roccioso

Livello	Terreno	γ (t/mc)	ϕ' (°)	C1 (Kpa)	C2 (kPa)	JCS (MPa)
Livello 1	Detrito di versante Mediam. addensato	19	34-35	-	-	-
Livello 2	Detrito di versante Sub/fratturato	19-20	34-38	10-30	-	-
Livello 3	Rilievo R1 – roccia (Bieniawski)	2.6	28-30	180-200	220-250	70±12
Livello 3	Rilievo R1 – roccia (Hoek e Brown)	2.6	45-48	25-40	200-210	

C1 = coesione dell'ammasso della porzione allentata (valore residuo)

C2 = coesione dell'ammasso della compagine non allentata (Da rilievo geomeccanico)

ϕ = angolo d'attrito dell'ammasso

JCS = resistenza della roccia (discontinuità) da martello di Schmidt su roccia sana

Dott. Geol. Giovanni Bembo

Dott. Geol. Loredana Zecchini

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70