



SOCIETA' ITALIANA  
 TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS  
 Sede legale: fraz. San Giuliano, 2 - 10059 Susa (TO)



MUSINET ENGINEERING S.p.A.  
 Cso Svizzera, 185  
 10149 TORINO  
 Tel. +39 011 5712411  
 Fax. +39 011 5712426  
 E-mail info@musinet.it  
 PEC musinet@legalmail.it

Gruppo SITAF

P.I.lva 08015410015  
 Cap. Soc. E. 520.000 i.v.  
 Cod. fis.e Reg. Imprese  
 TO 08015410015  
 R.E.A. Torino 939200

# T4 TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS

## INTERVENTI DI RIMODELLAMENTO MORFOLOGICO E MESSA IN SICUREZZA DEL VERSANTE IN COMUNE DI BARDONECCHIA

### PROGETTO DEFINITIVO Sito Rochemolles

SITAF S.p.A.  
 per approvazione  
 Il Direttore Tecnico  
 (Dott. Ing. Massimo BERTI)

SITAF SpA  
 per approvazione  
 Il Direttore Geologico  
 (Dott. Ing. Fernando MAGRI)

### Relazione geologico e forestale ex L.R. 45/89

Scala -	0377_111_12_D26EG002.4_0	Gennaio 2013
---------	--------------------------	--------------

2					
1					
0	Gen 2013	Emissione	Tekne	TRI	GIO
REV	DATA	DESCRIZIONE	RED.	VER.	APP.

Attività di Supporto Specialistico TEKNE Dott. Ing. Livio Martina Dott. Geol. Mauro Bugnano Dott. For. Roberto Cagna	
--	--

Il Responsabile del progetto  
 MUSINET ENGINEERING S.p.A.  
 Dott. Arch. Corrado Giovannetti

N° TAVOLA  
**2.4**

Questo disegno e' di proprieta' riservata della MUSINET ENGINEERING S.p.A.; ne e' vietata la riproduzione anche parziale, nonche' la presentazione a terzi senza esplicita autorizzazione.L'inosservanza e' perseguibile ai termini di legge.

**SITAF** S.p.A.

**SOCIETA' ITALIANA  
TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS**

---

**T4: TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS**

\*\*\*\*\*

**INTERVENTI DI RIMODELLAMENTO MORFOLOGICO  
E MESSA IN SICUREZZA DEL VERSANTE  
IN COMUNE DI BARDONECCHIA**

**SITO ROCHEMOLLES  
Variante Strada Provinciale 235**

\*\*\*\*\*

**PROGETTO DEFINITIVO**

\*\*\*\*\*

**RELAZIONE GEOLOGICA E FORESTALE  
EX L.R. 45/89**

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	INQUADRAMENTO DELL'OPERA NEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE E NORMATIVI VIGENTI.....	3
2.1	PIANIFICAZIONE URBANISTICA.....	3
2.2	VINCOLI TERRITORIALI ED AMBIENTALI .....	5
2.2.1	Vincolo paesaggistico.....	5
2.2.2	Vincolo idrogeologico .....	6
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	6
4	CARATTERISTICHE DEL PROGETTO .....	7
4.1	DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE.....	7
4.2	CARATTERISTICHE DEL RILEVATO E SUO PIANO DI APPOGGIO .....	8
4.3	VARIANTE STRADALE.....	8
4.3.1	Corpo stradale.....	8
4.3.2	Opere di sostegno .....	9
4.4	OPERE COMPLEMENTARI .....	9
4.5	INTERVENTI DI RECUPERO E MITIGAZIONE.....	10
4.6	CANTIERIZZAZIONE DELL'OPERA E POSSIBILITA' DI ESECUZIONE PER FASI SUCCESSIVE .....	10
5	ASSETTO GEOLOGICO .....	13
5.1	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	13
5.2	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO LOCALE.....	14
5.3	FENOMENI DI PERICOLO DA VALANGA .....	15
5.4	CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO DI INTERVENTO .....	15
5.5	CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	16
5.5.1	SONDAGGI GEOGNOSTICI .....	16
5.5.2	POZZETTI ESPLORATIVI.....	22
5.5.3	INDAGINI GEOFISICHE .....	24
5.5.4	ANALISI DI LABORATORIO .....	31
5.6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....	31
5.6.1	Terreno di fondazione.....	32
5.6.2	Caratterizzazione geotecnica dei terreni utilizzati per la costruzione del nuovo rimodellamento del pendio .....	35
5.6.3	Definizione valori caratteristici .....	35
5.6.4	Definizione dei valori di progetto.....	35
5.7	AZIONE SISMICA .....	37
5.8	VERIFICHE DI STABILITA'.....	41
5.8.1	Impostazioni concettuali del problema e modello di calcolo .....	41
5.8.2	Verifica delle sezioni.....	42
5.8.3	Verifiche delle condizioni di stabilità con inserimento di opere di consolidamento.....	50
5.9	PRESCRIZIONI GEOTECNICHE IN FASE ESECUTIVA .....	53
6	CONCLUSIONI.....	54
7	INQUADRAMENTO VEGETAZIONALE E USO DEL SUOLO .....	56
8	INQUADRAMENTO PEDOLOGICO .....	58
9	ANALISI DELLE INTERFERENZE .....	59
9.1	TAGLIO PIANTE ED INTERFERENZE CON LA VEGETAZIONE ED IL SUOLO.....	59
9.2	VOLUMI DI SCAVO E RIPORTO.....	59
10	ALLEGATI .....	61

## 1 PREMESSA

La presente relazione geologica e forestale si riferisce al progetto di realizzazione degli “Interventi di rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante in Comune di Bardonecchia - realizzazione della variante della SP 235”.

In particolare si riferisce al progetto di rimodellamento del pendio sito in sponda sinistra del T. di Rochemolles, a monte dell'abitato di Bardonecchia (TO), che sarà realizzato mediante utilizzo de materiale di smarino derivante dallo scavo della galleria di sicurezza del tunnel del Frejus. Il rimodellamento comporterà la modificazione della sede della Strada Provinciale per Rochemolles (SP235).

Musinet ha poi conferito incarico allo studio Tekne di Martina e Associati di espletare attività di supporto specialistico alla progettazione degli interventi.

In merito al vincolo idrogeologico, oggetto del presente elaborato, le opere in progetto comportano, in estrema sintesi:

- trasformazione di uso del suolo di superfici boscate per una superficie complessiva di 1.24 ha e di incolto per una superficie di circa 3800 mq.
- riporto per la formazione del rilevato di rimodellamento del versante di 113.850 mc di smarino proveniente dallo scavo della galleria di sicurezza del Frejus.

La trasformazione di uso del suolo avrà carattere, per la massima parte, temporaneo in quanto si procederà al rimboschimento delle superfici interessate dai lavori.

Detti interventi ricadono nella fattispecie di cui all' art 2 comma 1 lett b della L.R. 45/89 “interventi con valori di area o di volume superiori ai limiti indicati nella categoria a)”, ovvero interventi ed attività che comportino modificazione o trasformazione d'uso del suolo su aree superiori a cinquemila metri quadrati o per volumi di scavo superiori a duemilacinquecento metri cubi.

Viste le caratteristiche dimensionali dell'opera, in merito a superficie di intervento e volumi di materiale movimentato, il rilascio dell'autorizzazione risulta essere di competenza regionale, ai sensi dell'art. 63 della l.r. 44/00, modificato con la l.r. 30/2009.

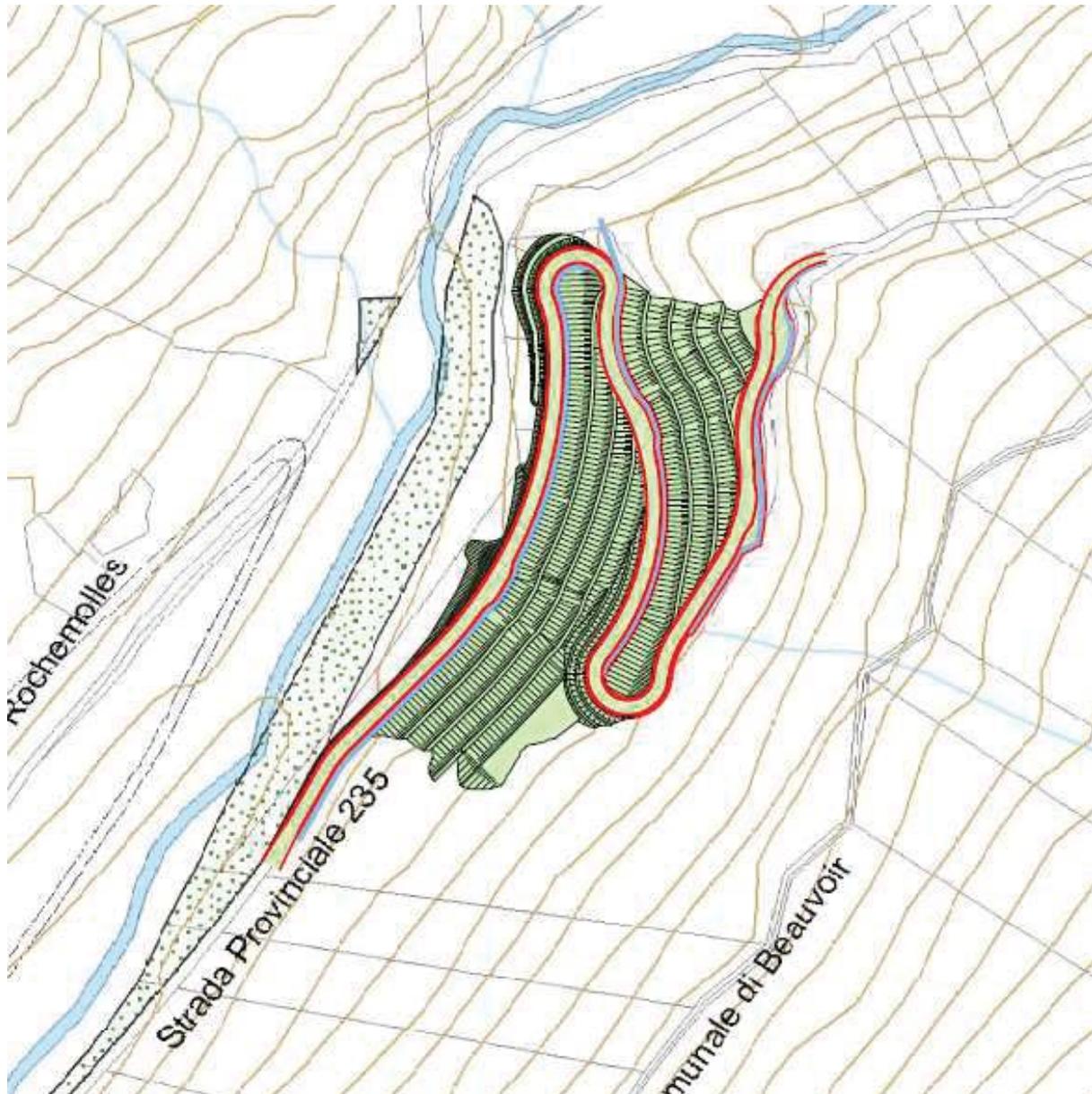
## 2 INQUADRAMENTO DELL'OPERA NEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE E NORMATIVI VIGENTI

### 2.1 PIANIFICAZIONE URBANISTICA

In base al PRGC vigente Variante generale di adeguamento al PAI ai sensi dell'art. 18 delle NTA del Piano stralcio dell'Assetto idrogeologico l'area di intervento ricade nei seguenti azzonamenti:

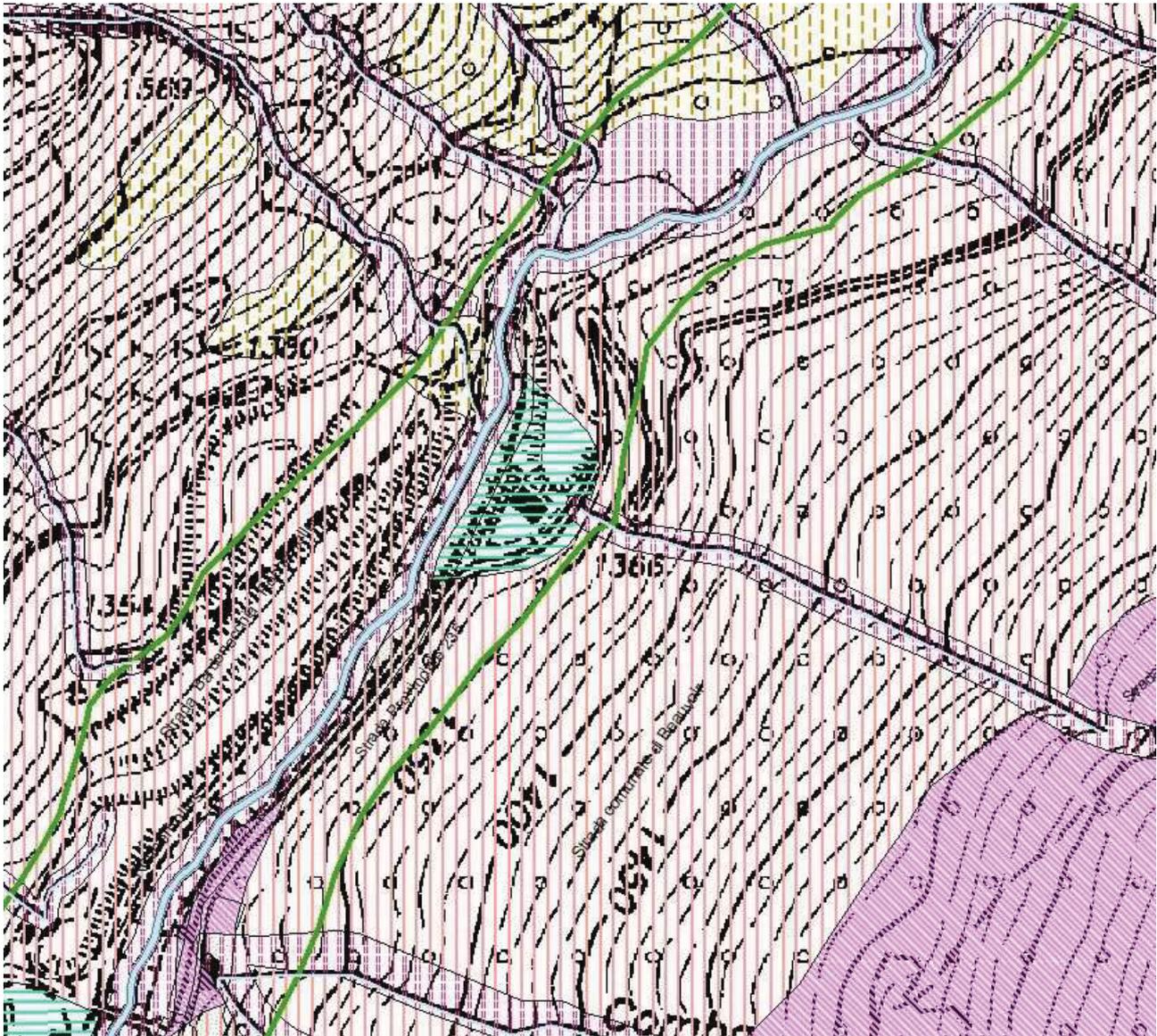
- area classificata come AGRICOLA area Agricola E” normata dall'art. 22 delle NTA

Si riporta uno stralcio della cartografia di piano (tav. 3b6 azzonamenti) con sovrapposizione delle opere in progetto.



Sotto il profilo della classificazione della pericolosità idrogeologica le aree di intervento sono così classificate:

- aree classificate in Classe geologica II normate dall'art. 35 delle NTA
- aree classificate in Classe geologica IIIA1 normate dall'art. 35 delle NTA
- aree classificate in Classe geologica IIIA2 normate dall'art. 35 delle NTA
- parte dell'area di intervento risulta, inoltre, perimetrata all'interno area soggetta all'onda di piena per crollo dei bacini artificiali - Rochemolles



## 2.2 VINCOLI TERRITORIALI ED AMBIENTALI

### 2.2.1 Vincolo paesaggistico

Il territorio oggetto di intervento risulta vincolato ai sensi del D.Lgs 42/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137" ed in particolare rientra nella fattispecie di vincolo di cui ai seguenti articoli:

- artt. 136-141 e 157 del D.lgs 42/04 in quanto tutto il territorio comunale risulta essere inserito negli "elenchi compilati ai sensi della legge 29 giugno 1939, n. 1497" in forza del D.M. 21.02.1953.
- art. 142 comma 1:
  - c)" i fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con regio decreto 11 dicembre 1933, n. 1775, e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna" in quanto ricadente all'interno della fascia dei 150 m dal T. Rochemolles;

- “g) i territori coperti da foreste e da boschi, ancorché percorsi o danneggiati dal fuoco, e quelli sottoposti a vincolo di rimboschimento, come definiti dall'articolo 2, commi 2 e 6, del decreto legislativo 18 maggio 2001, n. 227”.

### 2.2.2 Vincolo idrogeologico

Il territorio oggetto di intervento ricade all'interno della perimetrazione delle aree sottoposte a vincolo per scopi idrogeologici ai sensi della L.R. 45/89 (R.D. 30/12/1923 n.3267).

## 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il settore di intervento risulta localizzato nel territorio comunale di Bardonecchia, alla testata del bacino della Dora Riparia e del suo ramo vallivo laterale sinistro formato dalla Dora di Bardonecchia, più precisamente in sinistra idrografica rispetto al Torrente di Rochemolles, a monte dell'attuale imbocco della galleria del Frejus.

La valle del T. Rochemolles rappresenta una delle quattro incisioni vallive principali, insieme a quelle dei valloni di Melezet - Valle Stretta, della Rho e del Frejus, che costituiscono la testata del sottobacino della Dora di Bardonecchia, importante affluente di sinistra della Dora Riparia nella alta Val di Susa, in cui va ad immettersi in corrispondenza dell'abitato di Oulx.

La valle del T. di Rochemolles si sviluppa a monte dell'abitato di Bardonecchia in direzione NE, con orientazione esattamente coincidente con quella del tratto iniziale della valle del T. Melezet, solo a monte del Lago di Rochemolles la valle devia bruscamente in direzione Est, continuando ancora per un lungo tratto verso il Colle del Sommeiller al confine col territorio francese. Tali orientazioni risultano corrispondere a quelle di principali sistemi di discontinuità strutturale di importanza regionale (faglie e contatti tettonici).

Il settore di interesse appare localizzato in sinistra idrografica alla base del versante, a monte dell'attuale imbocco della galleria del Frejus.

Tale area, compresa tra la base del pendio ed il fondovalle alluvionale del torrente, è già stata oggetto di intensa modificazione morfologica fin dagli anni '70/'80, ovvero al tempo della costruzione della galleria autostradale; il terrapieno posto alla base del pendio corrisponde infatti ad un potente accumulo di materiale artificiale-antropico messo in posto a quell'epoca, e serviva quale appoggio al cantiere di betonaggio per il calcestruzzo necessario alla realizzazione delle opere connesse con il tunnel.

Attualmente su questo settore si sviluppano alcuni tornanti della Strada Provinciale che sale verso Rochemolles e verso il Colle del Sommeiller; la sede stradale appare piuttosto ristretta e piuttosto penalizzata dalla forte acclività del pendio, con stretti tornanti sostenuti da muri in pietrame ormai segnati dal tempo ed in precarie condizioni statiche.

L'intervento in progetto prevede il rifacimento del tratto stradale corrispondente, con il vantaggio di consentire il conseguimento di un migliore piano stradale a fine lavori.

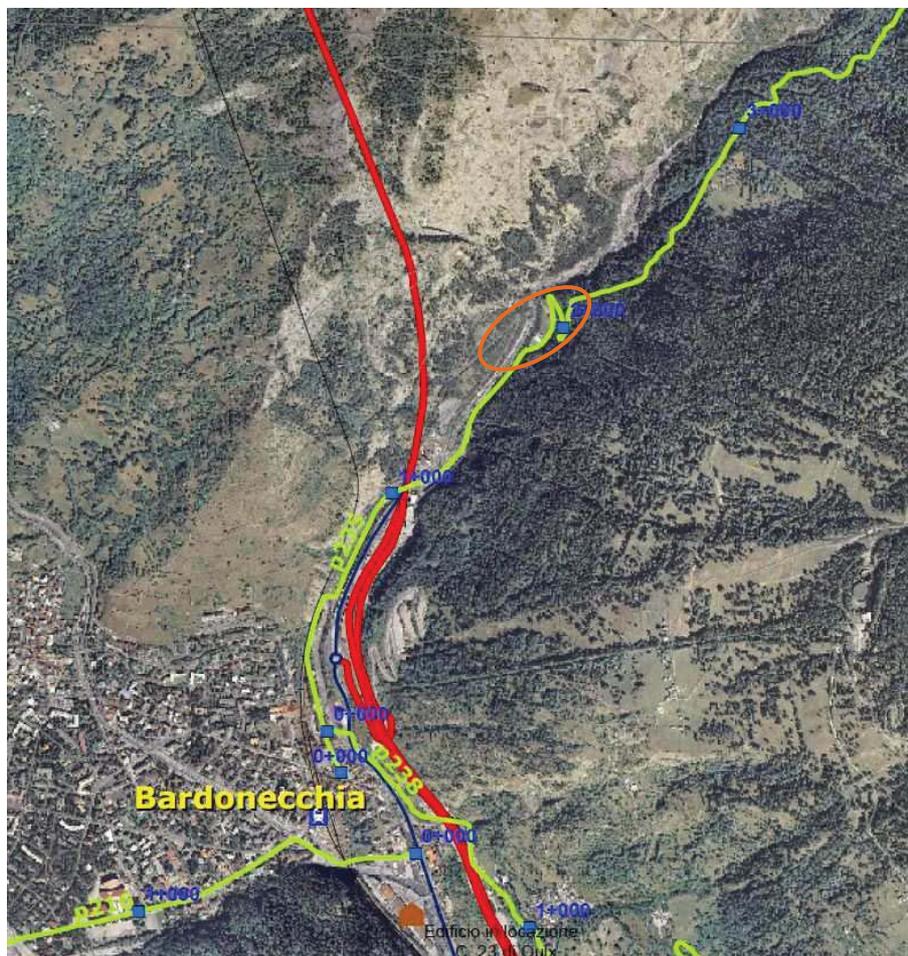
## 4 CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

### 4.1 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE

La soluzione adottabile per sistemare la viabilità d'imbocco della valle di Rochemolles consiste nella costruzione di un rilevato di notevoli dimensioni (113.850mc) addossato al versante.

Questo rilevato consente di modificare sia la pendenza della strada in oggetto sia la larghezza della sede stradale e di conseguenza consente l'incrocio dei due mezzi attualmente assolutamente problematico.

L'intervento si estende sul versante sinistro per circa 260 m e la sede stradale da spostare riqualificare ed allargare ha una lunghezza di ml 460 circa dalla progressiva 1+720 alla progressiva 2+180; il nuovo tratto stradale ha una lunghezza di 632 ml.



Il rilevato ha una volumetria di mc 113.850 circa e sarà realizzato con il materiale estratto dalla galleria di sicurezza del Tunnel del Frejus appaltato dalla S.I.T.A.F. S.p.A.

Attualmente il versante a cui andrà appoggiato il nuovo rilevato è costituito da detrito di falda, boscato ed in alcune zone da roccia affiorante.

Sul fondovalle sono presenti depositi alluvionali del T. Rochemolles ed in alcune aree sono presenti depositi di materiali inerti derivanti dallo smarino dell'originario Tunnel del Frejus.

## 4.2 CARATTERISTICHE DEL RILEVATO E SUO PIANO DI APPOGGIO

Come accennato in precedenza il materiale che costituisce il futuro rilevato é costituito dallo smarino derivante dalla costruzione del tunnel di sicurezza.

Le caratteristiche del materiale che, andrà sistemato in rilevato, sono ben note in quanto derivano da un tunnel parallelo a quello già realizzato ed il cui materiale di risulta é stato sistemato in loco in parte in sponda destra del T. Rochemolles ed in parte già utilizzato per eseguire i parcheggi della partenza della seggiovia della Jaffreau.

Il piano di appoggio é costituito in parte dal fondovalle alluvionale del T. Rochemolles ed in parte dai versanti che risultano ricoperti in parte da detrito di falda vegetato ed in parte da affioramenti rocciosi.

Prima dell'esecuzione del rilevato sarà necessario gradonare e superare opportunamente il versante in modo da eliminare le parti instabili e garantire idoneo immorsamento tra il nuovo rilevato ed il vecchio versante.

Il versante verrà rimodellato attraverso la realizzazione di gradonature con pendenza orizzontale di 6° e verticale di 60° di altezza 2,00 m e larghezza variabile in funzione del profilo del terreno naturale.

## 4.3 VARIANTE STRADALE

### 4.3.1 Corpo stradale

Il nuovo tratto stradale ha una lunghezza di 632 ml con le seguenti pendenze:

- da inizio intervento a sez. 12: 11,40%
- da sez. 12 a sez. 15: 4,00%
- da sez. 15 a sez. 22. 11,40 %
- da sez. 22 a sez. 26: 4,00 %
- da sez. 26 a sez. 31: 10,58%
- da sez. 31 a fine intervento 15,11%

L'attuale viabilità verrà sostituita da una viabilità più consona che sarà eseguita con la formazione di sottofondazioni stradali in misto stabilizzato dello spessore di cm 30, uno strato di fondazione di cm 15 di tout venant bitumato, uno strato di collegamento binder da 3 cm e uno strato di usura da 3 cm.

La sezione stradale prevista è caratterizzata da una carreggiata di 5.50 m,.

A completamento del progetto stradale è stata prevista l'installazione delle barriere di sicurezza, in legno e acciaio classe h2 laterale.

### 4.3.2 Opere di sostegno

#### Terre rinforzate

In alcuni tratti la strada viene sostenuta da terre rinforzate. Sono previste:

- da sez. 2 a sez. 4 (sezz. stradali): di altezza 1,50 m
- da sez. 8 a sez. 14 (sezz. stradali): di altezza da 1,50 m a 11,50 m
- da sez. 21 a sez. 23 (sezz. stradali): di altezza da 1,50 m a 10,00 m
- in corrispondenza della sez. 29 (sez. stradale): di altezza media 5,70 m

Si rimanda agli elaborati grafici per maggiori dettagli costruttivi.

#### Berlinese con pali di grande diametro

Al piede del versante tra la sez. 3 e la sez. 13 (sezz. stradali) per una lunghezza di 138,50 m è prevista la realizzazione di una berlinese con pali di grande Ø 800 mm lunghi 20 m disposti su 2 file a quinconce ad interasse di 1,00 sulla fila e tra le file. Sulla testa dei pali è prevista una trave di collegamento di 1,80 m x 1,00 m. I pali sono immorsati nel versante tramite 8 contrafforti in cls distanziati tra di loro 20 m; 6 sono di 25 m di lunghezza, 2 di 20 m. Dalla testa di ancoraggio in cls, di 2,00 m x 3,00 m, di dipartono 2 pali radice Ø 800 mm lunghi 20 m.

#### Muro di controripa

Tra la sez. 23 e la sez. 24 (sezz. stradali), per una lunghezza di 38 ml, è prevista la realizzazione di un muro di controripa in cls rivestito in pietrame di altezza pari a 3,00 m.

A tergo è prevista la posa di un mezzo tubo di raccolta acque di gronda in cls Ø 400 mm. A tergo al piede è prevista la posa di un tubo di drenaggio in PEAD Ø 315 mm inserito al fondo di un corpo drenante di 1,00 m di altezza protetto da tessuto non tessuto sulla sommità.

Al piede del muro è prevista la realizzazione di una canaletta alla francese che recapita le acque nel sistema di smaltimento descritto oltre. Il muro viene anche drenato da barbacani disposti ad interdistanza di 1,00 m.

## 4.4 OPERE COMPLEMENTARI

#### Sistema di drenaggio e di raccolta acque superficiali

Il sistema di raccolta acque comprende la raccolta e smaltimento delle acque di versante e delle acque di piattaforma stradale.

La porzione di versante oggetto di rimodellamento viene perimetrata da due cunettoni di raccolta acque in pietrame e legname cementati a sezione trapezia delle dimensioni di 2,20 m in testa, 1,00 m al fondo, profondo 0,70 m. Il fondo del canale è realizzato in pietrame annegato in un sottofondo in cls per complessivi 0,80 m su fondo e 0,50 m sui lati. Le sponde laterali in pietrame terminano con pali in legname scortecciato durabile Ø 20 cm; la struttura viene rinforzata con piloti in ferro Ø 24 mm inseriti tra il palo e il pietrame sulla sommità della sponda perpendicolarmente al versante ogni 2,00 m. I cunettoni scaricano nel T. Rochemolles rispettivamente a monte e a valle dell'intervento in progetto.

Le acque di versante a monte della strada confluiscono in un fosso a sezione trapezia rivestito in cls posto bordo strada a monte della stessa delle dimensioni di 1,00 m in testa, 0,50 m al fondo, profondo 0,30 m. Nel tratto compreso tra le sezz. stradali n° 24 e 32 le acque vengono intercettate in pozzetti di raccolta acque e smaltite tramite tubazioni in PEAD Ø 315 mm nel sistema di drenaggio costituito di tubazioni in PE Ø 400 mm poste al di sotto delle banche del versante. I restanti tratti di fosso di raccolta acqua smaltiscono le acque direttamente nei cunettoni.

Inoltre, lungo il versante al di sotto delle banche è posizionata una tubazione di drenaggio costituito di tubazioni in PE Ø 400 mm trattenute da un piloti in ferro Ø 24 mm inseriti perpendicolarmente al versante ogni 2,00 m. Le tubazioni di drenaggio raccolgono, tramite tubazione Ø 200 mm in PEAD poste ad interdistanza di 30 ml, le acque di versante collettate tramite canalette in legno posizionate al di sopra della tubazione di drenaggio sulle banche. Raccolgono, altresì, le acque di piattaforma stradale collettate con embrici in cls delle dimensioni di 40/50 cm x 57 cm, h 18 cm spess. 4,5 cm.

#### **4.5 INTERVENTI DI RECUPERO E MITIGAZIONE**

Il versante rimodellato verrà completamente rivegetato.

Sulle superfici in pendenza verrà stesa una biostuia in juta con funzione antierosiva e di protezione delle superfici. Tutte le superfici verranno completamente idroseminate con una miscela di idrosemina potenziata.

Le superfici delle terre rinforzate verranno inerbite a mezzo idrosemina potenziata.

Sulle scarpate si prevede di realizzare dei moduli, profondi 1,00 m alti 0,50 m distanziati tra di loro 2,00 m, di terreno costituito da smarino miscelato con 1/3 del volume con compost di qualità con funzione ammendante e fertilizzante per un quantitativo di 0,1 mc/mq di superficie.

In tali moduli si prevede la messa a dimora delle piantine.

L'intera superficie della scarpata di valle verrà rimboschita con *Pinus sylvestris* con densità di 2500 piante/ha; si terrà conto della distanza di rispetto dalle strade prevista dal Codice della Strada di 6 m.

#### **4.6 CANTIERIZZAZIONE DELL'OPERA E POSSIBILITA' DI ESECUZIONE PER FASI SUCCESSIVE**

Si prevede che la realizzazione del rimodellamento del versante e del nuovo tracciato stradale si sviluppi su un arco temporale di 2 anni in cui i movimenti terra si completeranno entro il 2015.

La realizzazione dell'intervento avverrà per lotti studiati in modo da garantire sempre l'accesso veicolare all'alta valle di Rochemolles.

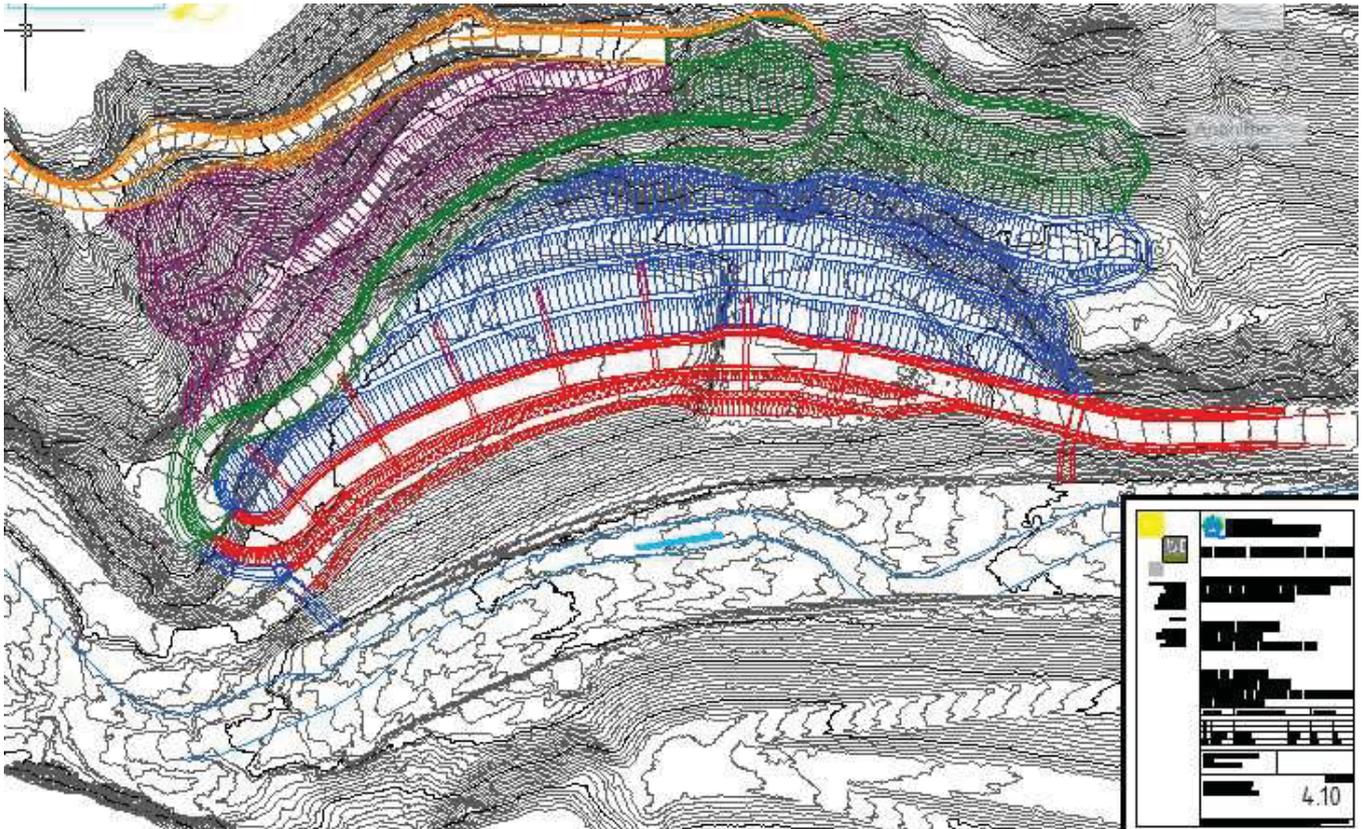
Lotto 1 - Terminata la preparazione dell'area si dovrà procedere alla realizzazione della berlinese di sostegno al piede del versante ed alla realizzazione del primo tratto di strada; in questa fase resterà transitabile tutta la vecchia strada.

Lotto 2 - Successivamente verrà smantellata la strada esistente fino al primo tornante e costruito il rilevato sovrastante. In questa fase sarà percorribile il primo tratto di nuova viabilità fino al 1 tornante e da questo ci si immetterà sul vecchio tracciato stradale .

Lotto 3 - Terminato il riempimento alla base del nuovo tratto stradale compreso tra il primo e il secondo tornante si procederà alla costruzione di questo nuovo tratto e alla formazione del rimodellamento il sinistra orografica del secondo tornante. In questa fase la percorribilità sarà come quella della fase precedente.

Lotto 4 - La fase successiva prevede la realizzazione del rimodellamento di versante a monte del tratto stradale compreso tra i due versanti fino al raggiungimento del piano su cui verrà realizzato l'ultimo tratto stradale (dal secondo tornante a fine intervento). In questa fase la percorribilità avviene sulla nuova strada fino al secondo tornante e sulla vecchia strada dal secondo tornante a fine intervento. Verrà anche realizzata una pista provvisoria sulla parte sommitale del rimodellamento, che consentirà il transito dei mezzi durante la fase successiva.

Lotto 5 - Successivamente si procederà alla realizzazione dell'ultimo tratto di nuova strada dal secondo tornante a fine intervento. In questa fase sarà percorribile la pista provvisoria precedentemente realizzata che poi sarà smantellata, una volta completato l'ultimo tratto di strada.



Estratto tav. 4.10

Le opere di completamento verranno realizzate compatibilmente con l'avanzamento dei lavori di movimento terra. Le opere di recupero verranno realizzate in parte in funzione dell'avanzamento lavori e in parte al termine degli stessi. L'inerbimento verrà eseguito parallelamente ai movimenti terra di realizzazione dei lotti, nel rispetto della stagionalità; verrà poi completamente rieseguito al termine dei lavori. Ciò consente di stabilizzare la superficie del substrato tempestivamente, di rinverdire il paramento del vallo, con indubbi vantaggi estetico-percettivi, di apportare sostanza organica e biomassa al substrato favorendo l'aumento di fertilità dello stesso anche in funzione del futuro attecchimento delle piantine. Al termine dei lavori si procederà poi al rimboschimento; si è escluso il rimboschimento per lotti al fine di non danneggiare i giovani impianti.

Al termine dei lavori è previsto il recupero delle superfici interessate dai lavori; se agricole (prati) si procederà al ripristino dell'uso ante - operam. Per il tratto iniziale della SP 235 è previsto il ripristino mediante fresatura e rifacimento del tappetino di usura, nel tratto dall'innesto sulla SS 335 al sito di intervento.

Dal punto di vista della cantierabilità il sito, trovandosi nelle immediate vicinanze del luogo di produzione dell'inerte è da ritenersi ottimale perchè non necessita di trasporti lungo la viabilità ordinaria e quindi assolutamente compatibile con l'ambiente circostante.

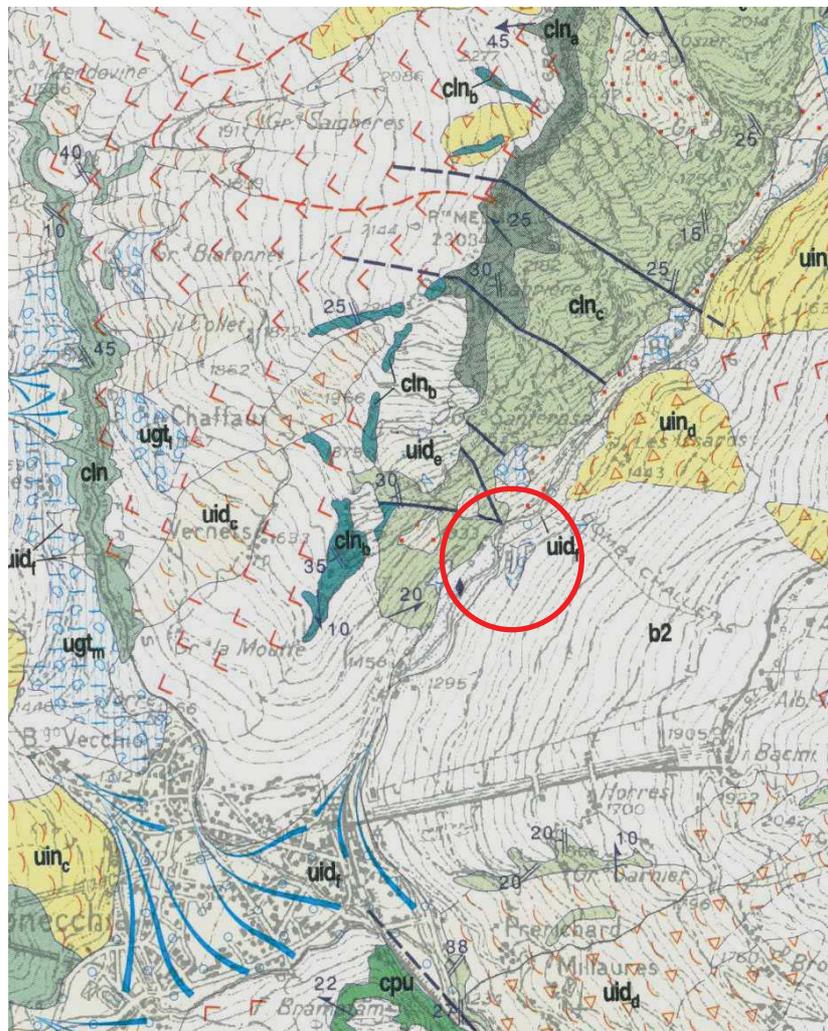
L'accesso alle aree avviene agevolmente tramite la SP 235.

## 5 ASSETTO GEOLOGICO

### 5.1 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Per la redazione della presente relazione si è fatto ricorso, oltre a rilievi e prove dirette di terreno, ad un'analisi multitemporale di fotografie aeree ed al seguente materiale bibliografico:

- Relazione geologica e geotecnica del progetto esecutivo per la costruzione della galleria di sicurezza del Frejus - SITAF SFTRF (2012)
- Osservazioni geologiche nel traforo autostradale del Frejus sino alla progressiva 4000 (Nota preliminare) - R. Polino (1978)
- Allegati geologici della Nuova Variante di PRGC, redatti dal Dott. Geol. E. Zanella e dal Dott. Geol. P. Leporati;
- Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 153 Bardonecchia;



*Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 153 Bardonecchia'*

## 5.2 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO LOCALE

La geomorfologia di questo settore montano, originariamente tipica di un ambiente che subì in epoche passate una fase di intenso modellamento glaciale, con genesi di forme meno aspre e blandamente ondulate ancora riconoscibili sugli alti versanti, presenta in corrispondenza delle aste torrentizie i caratteri di un evidente e marcato ringiovanimento, con formazione di profonde incisioni erosionali delimitate da ripide scarpate, interrotte saltuariamente da incisioni minori che si sviluppano con direzione perpendicolare rispetto all'asta torrentizia principale ed isolano ristrette dorsali e speroni rocciosi.

La struttura profonda del settore di interesse risulta rappresentata, dal punto di vista geologico, da un basamento roccioso costituito da litotipi afferenti al cosiddetto "Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi", cioè da calcescisti o calcemicascisti.

In sinistra il versante esposto verso ovest appare fittamente boscato e privo di aree in evidente erosione o in dissesto; il substrato è quasi ovunque estesamente mascherato da una coltre di depositi quaternari che può raggiungere spessori notevoli, nell'ordine di numerosi metri fino ad alcune decine di metri. Il substrato roccioso si rinviene solamente alla base del pendio, laddove il torrente, approfondendosi nelle ultime tappe dell'evoluzione geomorfologica locale, ha scavato al piede il versante, oppure in corrispondenza delle incisioni laterali generate da piccoli rii a basso ordine gerarchico ma di notevole lunghezza.

Nel settore di intervento il versante sinistro si raccorda bruscamente con la fascia subpianeggiante del fondovalle alluvionale del T. Rochemolles, costituita da sedimenti sabbioso-ghiaioso-conglomeratici localmente rielaborati in superficie dall'attività antropica.

Il deposito alluvionale è legato a fenomeni di alluvionamento torrentizio del fondovalle con processi di trasporto di massa fino a vere e proprie lave torrentizie (debris flows), che vengono innescate in concomitanza di eventi meteorici importanti, non necessariamente eccezionali, in un contesto idrodinamico ed idrogeologico, alla scala temporale geologica, di carattere prevalentemente erosionale. Si assiste così al verificarsi di successive e molteplici pulsazioni deposizionali, con formazione di accumuli di sedimenti anche molto consistenti ben presto nuovamente incisi ed asportati dalla successiva azione erosiva dei torrenti, caratterizzati da profili di fondo in forte disequilibrio (soprattutto alla testata) e con una elevata energia.

Al piede del pendio il raccordo tra il versante e il fondovalle alluvionale, in origine certamente netto e brusco a causa dei processi erosivi del corso d'acqua, appare attualmente mascherato da un accumulo di materiale antropico disposto su due livelli, di spessore variabile tra 10 e 20 metri circa, costituito, sulla base di quanto si è riusciti a ricostruire, da materiale detritico proveniente dallo smarino derivante dalla galleria autostradale del Fréjus, ma anche di altri tipi di materiali di risulta.

Sulle sponde del torrente Rochemolles e sul fondovalle i depositi alluvionali sono costituiti prevalentemente da clasti eterometrici, poligenici, angolosi o sub-arrotondati, frammisti a matrice sabbioso-ghiaiosa avente una colorazione prevalentemente grigia, conferita dalla predominanza litologica dei calcescisti.

Il drenaggio del Torrente Rochemolles è caratterizzato da attività torrentizia con abbondante trasporto solido ed intensa erosione.

Eventi alluvionali di tipo torrentizio del Torrente di Rochemolles.

- 24 settembre 1920: opere di attraversamento e spondali danneggiate nei pressi della località Difensiva del Traforo Ferroviario del Fréjus;
- 26 settembre 1947: danni lungo la strada comunale Bardonecchia-Rochemolles per un tratto di circa 1000 m;
- 3 maggio del 1949: danni lungo la strada comunale Bardonecchia-Rochemolles;

- 13-14 giugno del 1957: distruzione del ponte in località Difensiva, e muri di sostegno della strada comunale Bardonecchia-Rochemolles danneggiati in più punti
- 5 maggio 1961: l'alveo si approfondì sensibilmente producendo profonde erosioni sulle sponde sinistra e destra in corrispondenza dell'abitato di Bardonecchia
- Ottobre 2000: diffusi fenomeni di erosione spondale in sinistra idrografica del Torrente Rochemolles poco a monte del ponte di Bardonecchia, ingente accumulo di detrito alluvionale nella piana posta più a monte dell'area di Imbocco del Traforo Autostradale del Frèjus.

### 5.3 FENOMENI DI PERICOLO DA VALANGA

La ricerca della documentazione bibliografica esistente sull'argomento relativamente all'area oggetto di intervento ha evidenziato l'assenza di fenomeni valanghivi storicamente noti. Si tratta di un settore di pendio completamente boscato privo di tracce di scorrimento.

La Carta delle Valanghe facente parte delle indagini geomorfologiche a supporto della Variante Generale di PRGC di Bardonecchia, redatta dai Dott. Geol. E. Zanella e P. Leporati, non segnala anch'essa l'esistenza di alcuna fenomenologia di questo tipo in corrispondenza dell'area di intervento, e nemmeno in un intorno significativo.

### 5.4 CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO DI INTERVENTO

L'area di intervento è caratterizzata da una morfologia concava posta alla base del pendio sinistro vallivo, all'interno della quale si sviluppa la sede stradale provinciale con i suoi tornanti; alla base la concavità è stata a suo tempo parzialmente colmata con la formazione del rilevato artificiale.

La genesi di tale forma concava è probabilmente riconducibile all'attività erosiva del corso d'acqua di base che, alla scala temporale geologica e comunque in epoca post-glaciale fino ai giorni nostri, si è approfondito scavando un fondovalle originariamente a sezione trasversale maggiormente a "U", sul cui fondo erano stati depositi sedimenti glaciali da parte della lingua di ghiaccio proveniente da Rochemolles. Tale approfondimento erosivo ha generato sulle due sponde superfici a maggiore acclività delimitate a monte da scarpate complesse e frastagliate, riconoscibili anche nel settore di interesse oltre che lungo tutta l'asta torrentizia.

Tale modello geologico spiega bene anche perché il substrato roccioso sia affiorante solo alla base del pendio, mentre appaia a notevole profondità a quote immediatamente superiori, come evidenziato dai sondaggi S04 e S05. In queste posizioni sono infatti state rinvenute coltri molto potenti di depositi di copertura, rappresentati da sedimenti glaciali di fondo immediatamente al di sopra del substrato, ma anche da prodotti colluviali potenti anche una decina di metri, legati al progressivo colamento verso valle dei soprastanti depositi di versante.

Il rilevato artificiale esistente poggia sul suo fondo su depositi alluvionali torrentizi costituiti da elementi subangolosi o poco arrotondati, fatto che suggerisce la moderata distanza percorsa dai sedimenti presumibilmente a causa dei notevoli processi erosivi sulle sponde. Verso il pendio invece il rilevato poggia sulla scarpata che sosteneva la sede della strada provinciale, oppure direttamente sulla roccia.

La reale costituzione di tale accumulo appare di difficile definizione; sulla base delle indagini effettuate risulterebbe costituito da materiale eterogenei, con differenti livelli di addensamento e comportamento geotecnico. Per questo motivo si ritiene necessario in sede esecutiva condurre ancora approfondimenti geognostici per verificare la correttezza delle ipotesi geologiche fornite nel presente studio e la assoluta compatibilità con le soluzioni progettuali proposte.

Infatti il comportamento geotecnico del rilevato artificiale esistente appare cruciale nei confronti delle condizioni di stabilità globale dell'intervento prospettato, in quanto l'intero carico del nuovo materiale di

smarino andrà a gravare su di esso. Allo stato attuale, l'incertezza nella sua composizione è alla base della proposta di costruire una palificata di grande diametro tirantata, che appare necessaria al fine di irrobustire e migliorare il più possibile la portanza del terrapieno senza dare origine a cedimenti non tollerabili.

Sul pendio la copertura quaternaria indagata dai sondaggi e dalle prove geofisiche ha evidenziato parametri di resistenza alla penetrazione, di addensamento e di coesione confortanti; risulterà sicuramente indispensabile in corso d'opera procedere ad una accurata preparazione della superficie di contatto e di appoggio del nuovo materiale, avendo particolare cura nelle operazioni di massimo addensamento dei materiali, da valutarsi specificamente con prove di tipo Proctor e prove su piastra.

La falda acquifera è presente sicuramente nel fondovalle alluvionale, ma anche stagionalmente sul pendio, andando occasionalmente a saturare l'orizzonte posto all'interfaccia tra substrato fratturato e copertura.

Le escursioni della falda nella parte inferiore del settore di interesse possono andare a coinvolgere la porzione inferiore dell'esistente accumulo artificiale; per questo motivo si ritiene indispensabile contenere il più possibile questo fenomeno con la predisposizione di un efficace sistema di raccolta e smaltimento sia delle acque di precipitazione e provenienti dal pendio, sia quelle di scorrimento sotterraneo.

A monte dell'intervento il pendio appare solcato da alcuni impluvi, uno dei quali presenta uno sviluppo rettilineo elevato (ordine gerarchico:1), prendendo origine a quota 2000 m circa nella zona della parte inferiore della zona piste dello Jafferai; sotto è riportata una tabella con le caratteristiche geometriche del sottobacino in oggetto.

Appare pertanto necessario raccogliere anche tutte queste acque di scorrimento incanalato nel sistema di smaltimento progettato, in modo da impedire che esse vadano ad infiltrarsi nei nuovi terreni.

bacino		
sup	219226	mq
perimetro	3319	mq
quota max	2037	
quota min	1371	
quota media	1755	
pendenza media versanti	41,8	%
lunghezza asta	1176	
pendenza media asta	43,4	%

## 5.5 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

### 5.5.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

La caratterizzazione del terreno di appoggio dell'intervento di rimodellamento in progetto è stata effettuata attraverso l'esecuzione di 6 sondaggi geognostici, 5 a carotaggio continuo corredati di prove SPT e 1 a distruzione di nucleo. Di queste perforazioni 4 sono state attrezzate con inclinometri e 2 con piezometri per il rilievo della falda acquifera.

L'ubicazione delle indagini suddette è stata fortemente condizionata dall'accessibilità dei luoghi, dalla necessità di non interrompere il transito lungo la stretta sede viaria provinciale, e dalla presenza di abbondante neve. Alcune prove sono state realizzate sul terrapieno artificiale, mentre altre è stato possibile eseguirle in corrispondenza dei tornanti stradali posti nella parte superiore del sito di intervento.

Da tali prove si evince la presenza di uno spessore di materiale di riporto molto consistente nella parte inferiore del pendio, a costituire un potente terrapieno realizzato a seguito della realizzazione del tunnel del Frejus.

Al disotto del terrapieno, sul quale era stato a suo tempo predisposto un impianto di betonaggio per la realizzazione della galleria e delle opere accessorie, è presente terreno naturale in netta prevalenza di natura ghiaioso-sabbiosa con abbondanti ciottoli, dotati di buone caratteristiche geomeccaniche.

La falda acquifera appare posizionata a quote correlabili con il torrente che scorre alla base del versante.

Nella parte superiore invece i sondaggi eseguiti hanno evidenziato la presenza di una potente coltre quaternaria, di probabile natura glaciale, ricoperta da altrettanto potenti prodotti colluviali derivanti dal progressivo degrado, rimaneggiamento ed accumulo della copertura posta sul versante soprastante. Solo alla base del pendio, lungo la strada che costeggia l'accumulo di inerti fino al primo tornante, si osservano diffusi affioramenti di calcescisti, presumibilmente il posto ma fortemente fratturati.

I risultati dei sondaggi, effettuati nel periodo compreso tra la fine di dicembre 2012 e l'inizio di gennaio 2013, sono riportati per esteso in allegato. Si riporta di seguito una breve sintesi

### **Sondaggio S01 - Profondità 30 m - Attrezzato con inclinometro**

0.00 - 1.50 m: sottofondo stradale ghiaioso-ciottoloso con sabbia limosa.

1.50 - 3.00 m: clasti eterometrici in abbondante matrice siltosa debolmente sabbiosa, moderatamente addensata, colore nocciola grigiastro - interpretazione: coltre quaternaria di origine colluviale mista/passante a depositi glaciali (rimaneggiati?).

3.00 - 22.20 m: clasti eterometri in scarsa matrice fine, molto addensato, colore grigio chiaro a scuro - Interpretazione: substrato alterato e fratturato di aspetto estremamente cataclastico, costituito da calcescisti grafitici, al fondo meno fratturato

22.20 - 30.00 m: substrato litoide fratturato, costituito da calcescisti grafitici.

quota falda: non rilevata

### **Sondaggio S02 - Profondità 30 m - Attrezzato con inclinometro**

0.00 - 16.60 m: riporto ghiaioso ciottoloso eterogeneo, colore variabile, in matrice sabbioso-limosa talora abbondante, da moderatamente addensato ad addensato con la profondità, contenente frammenti di cls, lateriti e altri materiali; alla base è presente un orizzonte di circa 2 metri costituito da riporto mediamente più fine, siltoso-sabbioso con clasti sparsi, moderatamente addensato - interpretazione: smarino proveniente dalla galleria misto ad abbondanti macerie edili ed altri scarti.

16.60 - 21.20 m: blocchi, ciottoli e ghiaia eterometrica a matrice sabbioso-limosa, talora prevalente, colore nocciola grigiastro - interpretazione: deposito addensato di origine alluvionale.

21.20 - 27.20 m: substrato alterato e fratturato, costituito da calcescisti grafitici.

27.20 - 30.00 m: substrato litoide fratturato, costituito da calcescisti grafitici.

quota falda: -14.60 m

### **Sondaggio S02bis (a distruzione) - Profondità 20 m - Attrezzato con piezometro da 2"**

0.00 - 16.60 m: riporto ghiaioso ciottoloso eterogeneo, colore variabile, in matrice sabbioso-limosa talora abbondante, da moderatamente addensato ad addensato con la profondità, contenente frammenti di cls, lateriti e altri materiali - interpretazione: smarino proveniente dalla galleria misto ad abbondanti macerie edili ed altri scarti.

16.60 - 20.00 m: blocchi, ciottoli e ghiaia eterometrica a matrice sabbioso-limosa, colore nocciola grigiastro - interpretazione: deposito addensato di origine alluvionale.

### **Sondaggio S03 - Profondità 21 m - Attrezzato con piezometro da 2"**

0.00 - 4.50 m: clasti eterometrici in abbondante matrice siltosa debolmente sabbiosa, poco addensato, colore grigio nocciola - interpretazione: riporto eterogeneo molto scadente

4.50 - 11.00 m: riporto ghiaioso ciottoloso eterogeneo, colore variabile, in matrice limosa debolmente sabbiosa, da poco a moderatamente addensato con la profondità, contenente frammenti di vari materiali - interpretazione: smarino proveniente dalla galleria misto ad abbondanti macerie edili ed altri scarti.

11.00 - 17.00 m: ghiaia eterometrica con sabbia limosa, talora prevalente, da debole a discreta ossidazione ed alterazione dei clasti, colore nocciola grigiastro - interpretazione: deposito addensato di origine alluvionale ?.

17.00 - 21.00 m: substrato alterato e fratturato, costituito da calcescisti grafitici.

quota falda: -11.30 m

### **Sondaggio S04 - Profondità 30 m - Attrezzato con inclinometro**

0.00 - 0.70 m: sottofondo stradale ghiaioso-sabbioso.

0.70 - 9.90 m: clasti in abbondante matrice siltosa debolmente sabbiosa talora concentrata in livelli da addensata a molto addensata, colore nocciola grigiastro - interpretazione: coltre quaternaria di origine colluviale, mista/passante a depositi glaciali (colluviati).

9.90 - 15.60 m: clasti in matrice limosa debolmente sabbiosa, rari blocchi, colore grigio-nocciola, molto addensata - interpretazione: depositi glaciali di fondo.

15.60 - 21.20 m: come sopra ma con segni di umidità, possibilmente per escursione della falda - interpretazione: depositi glaciali di fondo, o substrato estremamente alterato e fratturato ?.

21.20 - 25.70 m: substrato di aspetto cataclastico, costituito da calcescisti grafitici intensamente fogliettati e fratturati, colore da grigio chiaro a scuro.

25.70 - 30.00 m: substrato litoide fratturato, costituito da calcescisti grafitici.

quota falda: non rilevata

### **Sondaggio S05 - Profondità 33.50 m - Attrezzato con inclinometro**

0.00 - 0.50 m: sottofondo stradale ghiaioso-sabbioso.

0.50 - 10.00 m: clasti eterometrici in abbondante matrice siltosa debolmente sabbiosa talora concentrata in livelli da addensata a molto addensata, colore nocciola grigiastro - interpretazione: coltre quaternaria di origine colluviale mista/passante a depositi glaciali (rimaneggiati?).

10.00 - 20.00 m: clasti eterometrici in matrice limosa debolmente sabbiosa, rari blocchi, colore grigio-nocciola, molto addensata - interpretazione: depositi glaciali di fondo.

20.00 - 29.30 m: clasti eterometrici in matrice limosa debolmente sabbiosa, rari blocchi, colore grigio-nocciola, molto addensata - interpretazione: depositi glaciali di fondo ? o substrato estremamente alterato e fratturato ??

29.30 - 33.50 m: substrato litoide fratturato, costituito da calcescisti grafitici.

quota falda: non rilevata

### **Prove SPT**

Le prove SPT effettuate all'interno del foro dei sondaggi, complessivamente nel numero di 22, hanno evidenziato i seguenti valori:

 COMPAGNIA TORINESE MONITORAGGI IAS Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 56 del D.P.R. n. 380/01	<b>PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE</b>			<b>SONDAGGIO</b> <b>n.</b> <b>S01</b>
	<b>SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)</b>			
Mod. 7.5.13 rev. 00				Eseguito il <b>07-10/01/2013</b>
Committente: <u>MUSINET ENGINEERING Spa</u>				
Cantiere: <u>Rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante</u>				
Località: <u>Bardonecchia (TO) - Rochemolles</u>				
Coordinate: <u>N = 45° 05' 29.22"</u> <u>E = 06° 43' 08.48"</u>				
Accettazione n. 12059 - Certificato n. 12059/13 del 11/01/2013 - Commessa n. 12059				

Prova n.	inizio prova prof. [m] da p.c.	N° colpi			note
		15 cm	30 cm	45 cm	
1	3.00	19	23	30	
2	6.00	32	43	R (4 cm)	
3	9.00	45	R (7 cm)	-	
4	12.00	R (5 cm)	-	-	
5	18.00	R (1 cm)	-	-	

 COMPAGNIA TORINESE MONITORAGGI IAS Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 56 del D.P.R. n. 380/01	<b>PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE</b>			<b>SONDAGGIO</b> <b>n.</b> <b>S02</b>
	<b>SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)</b>			
Mod. 7.5.13 rev. 00				Eseguito il <b>07-12/12/2012</b>
Committente: <u>MUSINET ENGINEERING Spa</u>				
Cantiere: <u>Rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante</u>				
Località: <u>Bardonecchia (TO) - Rochemolles</u>				
Coordinate: <u>N = 45° 05' 27.00"</u> <u>E = 06° 43' 06.60"</u>				
Accettazione n. 12059 - Certificato n. 12059/06 del 14/12/2012 - Commessa n. 12059				

Prova n.	inizio prova prof. [m] da p.c.	N° colpi			note
		15 cm	30 cm	45 cm	
1	3.00	18	13	27	
2	6.00	24	10	18	
3	9.00	18	31	11	
4	12.00	15	21	18	
5	15.00	13	13	16	
6	18.00	13	25	22	

 <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/08/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	<b>PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE</b> <b>SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)</b>		<b>SONDAGGIO</b> <b>n.</b> <b>S03</b>
	Mod. 7.5.13 rev. 00 Committente: <u>MUSINET ENGINEERING Spa</u> Cantiere: <u>Rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante</u> Località: <u>Bardonecchia (TO) - Rochemolles</u> Coordinate: <u>N = 45° 05' 24.59"</u> <u>E = 06° 43' 04.65"</u>	Accettazione n. 12059 - Certificato n. 12059/11 del 10/01/2013 - Commessa n. 12059	

Prova n.	inizio prova prof. [m] da p.c.	N° colpi			note
		15 cm	30 cm	45 cm	
1	3.00	10	8	7	
2	6.00	7	5	4	
3	9.00	8	15	23	
4	12.00	15	21	29	
5	15.00	14	25	26	

 <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/08/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	<b>PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE</b> <b>SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)</b>		<b>SONDAGGIO</b> <b>n.</b> <b>S04</b>
	Mod. 7.5.13 rev. 00 Committente: <u>MUSINET ENGINEERING Spa</u> Cantiere: <u>Rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante</u> Località: <u>Bardonecchia (TO) - Rochemolles</u> Coordinate: <u>N = 45° 05' 24.88"</u> <u>E = 06° 43' 08.86"</u>	Accettazione n. 12059 - Certificato n. 12059/09 del 28/12/2012 - Commessa n. 12059	

Prova n.	inizio prova prof. [m] da p.c.	N° colpi			note
		15 cm	30 cm	45 cm	
1	3.00	18	30	38	
2	6.00	25	R (3 cm)	-	
3	9.00	25	39	R (3 cm)	
4	12.00	17	27	35	
5	15.00	18	23	32	
6	18.00	20	32	R (2 cm)	

	<b>PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE</b>	<b>SONDAGGIO</b>
	Mod. 7.5.13 rev. 00 <b>SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)</b>	<b>n.</b>
Committente: <u>MUSINET ENGINEERING Spa</u>		<b>S05</b>
Cantiere: <u>Rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante</u>		Eseguito il
Località: <u>Bardonecchia (TO) - Rochemolles</u>		11-15/01/2013
Coordinate: <u>N = 45° 05' 28.83"</u> <u>E = 06° 43' 10.76"</u>		
Accettazione n. 12059 - Certificato n. 12059/15 del 19/01/2013 - Commessa n. 12059		

Prova n.	inizio prova prof. [m] da p.c.	N° colpi			note
		15 cm	30 cm	45 cm	
1	3.00	17	25	25	
2	6.00	19	22	28	
3	9.00	R (3 cm)	-	-	
4	12.00	13	17	18	
5	15.00	16	20	21	
6	18.00	R (2 cm)	-	-	

Come si può osservare le prove effettuate, sia che si tratti di materiali detritici di riporto sia di terreni quaternari di copertura, presentano solitamente elevati valori di n. colpi/piede, presumibilmente anche perchè si tratta in entrambi i casi di materiali contenenti clasti di significative dimensioni, fatto questo che, come noto, inficia la validità ed il significato di tali risultati, tendendo a sovrastimarne il comportamento geotecnico. Anche nel sondaggio S02 le prove indicano valori minimi intorno a 28-30 colpi/piede.

Fa unica eccezione il comportamento del materiale di riporto posto nei primi 6/7 metri in corrispondenza del sondaggio S03, dove le prove Spt hanno dato valori molto bassi, suggerendo una composizione anomala e comunque non riconducibile a materiale di smarino della vecchia galleria.

### Assetto idrogeologico

I sondaggi effettuati in corrispondenza del terrapieno artificiale (S02 e S03) hanno evidenziato la presenza di un livello di falda che si correla quasi perfettamente con la quota di fondo alveo del torrente Rochemolles. Tale falda, in particolare in concomitanza di periodi particolarmente piovosi, si correla in sinistra con una possibile falda contenuta all'interno del versante, andando parzialmente a saturare la base dell'accumulo artificiale esistente.

Nei sondaggi effettuati sul pendio soprastante non è stata riscontrata tale falda, ma solo segni di umidità riconducibili a fenomeni di saturazione stagionale, all'interno dei depositi misti colluviali e glaciali presenti a copertura del substrato alterato.

In concomitanza di eventi di piena o meteorologici intensi e prolungati si deve prevedere un relativo innalzamento del livello piezometrico di questa falda sotterranea, sia nel fondovalle, sia sul pendio.

### 5.5.2 POZZETTI ESPLORATIVI

In data 23 gennaio 2013, al fine di ottenere maggiori informazioni rispetto alla composizione del materiale detritico costituente il terrapieno posto al piede del pendio, sono stati eseguiti due pozzetti esplorativi tramite escavatore meccanico.

Il pozzetto P01 è stato effettuato nell'ambito del piazzale inferiore, sul lato rivolto verso la strada provinciale essendo stata riscontrata la presenza di una soletta in calcestruzzo ricoprente la restante parte accessibile. Lo scavo ha evidenziato la presenza di materiale di smarino, rappresentato da frammenti lapidei eterometrici angolosi di calcescisto amatrice ghiaioso sabbiosa, poggiante a circa 2 metri di profondità su terreno costituente l'originaria scarpata stradale. Questo materiale risulta possedere buone caratteristiche geotecniche, derivando peraltro da metodologia di scavo tradizionale della galleria del Frejus.

Il secondo pozzetto è stato invece effettuato sul piazzale superiore all'incirca in posizione centrale. In questo scavo sono emersi materiali detritici eterogei, contenenti anche plastiche, tubi, frammenti di calcestruzzo e laterizi, in una matrice terrosa, per i quali si esclude si tratti di materiale di smarino, ma piuttosto scarti edilizi; a circa 2 mt è stata rinvenuta una soletta in cls che ha impedito la prosecuzione dello scavo.

Anche da queste prove emerge pertanto che l'accumulo posto alla base del pendio è costituito da materiali eterogenei, anche di tipologia geotecnicamente scadente, per cui in sede di verifiche di stabilità, nonostante i discreti valori di Spt riscontrati dei sondaggi, appare cautelativo assumere parametri prudenziali.

#### *Pozzetto P01*





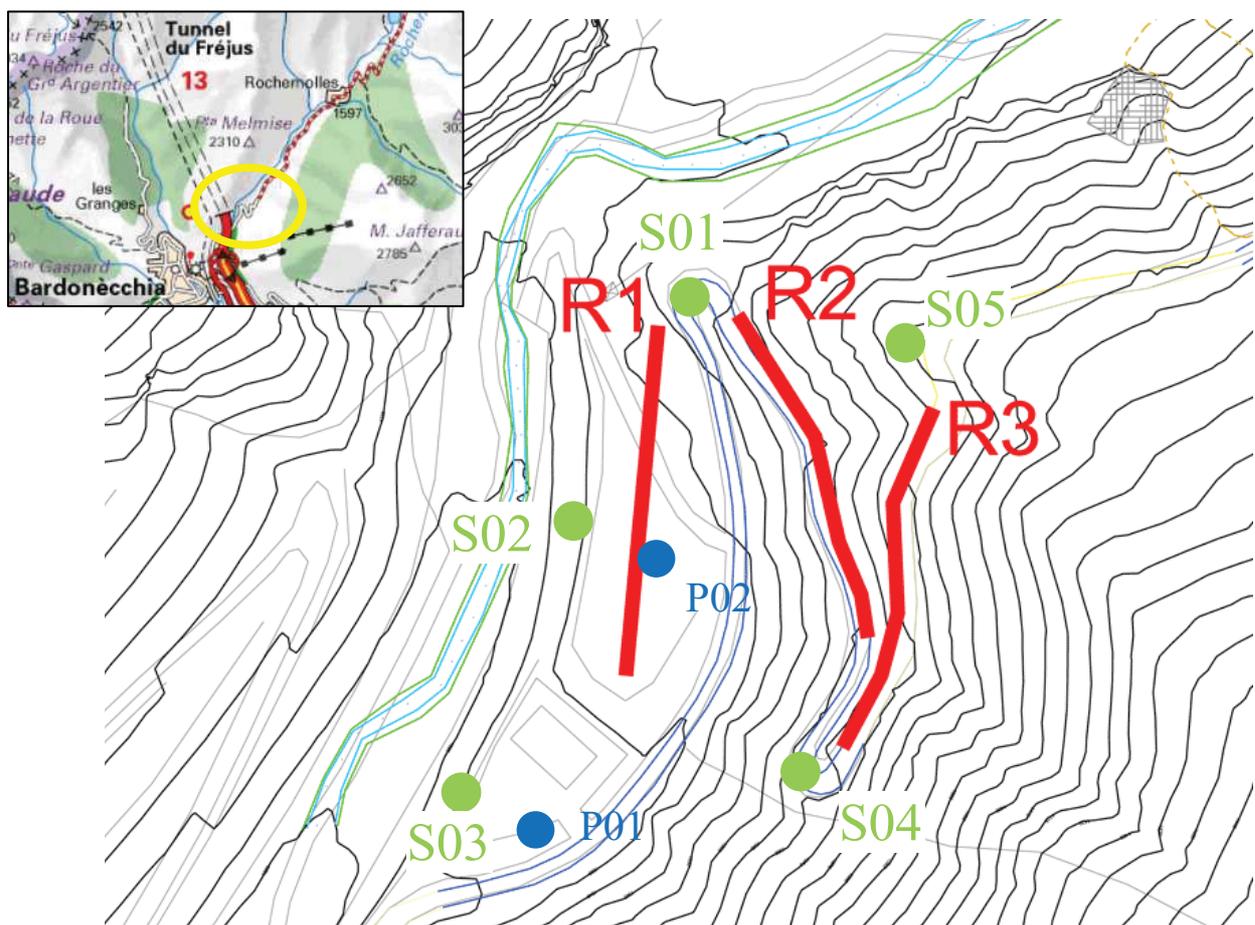
*Pozzetto P02*

### 5.5.3 INDAGINI GEOFISICHE

La presente sezione intende sintetizzare le risultanze delle prove geofisiche di caratterizzazione sismica di sito, realizzate per verificare il comportamento dei terreni dal punto di vista meccanico e sismico, oltre a cercare di individuare la presenza e soggiacenza del substrato al di fuori delle indagini di tipo puntuale.

La relativa relazione tecnica di dettaglio, allegata alla presente, è da considerarsi parte integrante del documento in oggetto.

La seguente analisi tiene in considerazione i risultati di alcune delle prove SPT realizzate nel medesimo sito durante l'esecuzione di cinque sondaggi a carotaggio continuo.



Ubicazione degli stendimenti geofisici eseguiti (R1, R2, R3), dei sondaggi geognostici (S01, S02, S03, S04, S05), e dei pozzetti esplorativi (P01 e P02). Il sito è inquadrato geograficamente nel riquadro in alto a sinistra.

Di seguito, verranno analizzati i tre stendimenti realizzati, distinguendo i risultati geofisici ottenuti e le relative interpretazioni secondo i differenti metodi impiegati, concludendo l'analisi con la conseguente interpretazione geologica dei dati presentati, che tengono conto anche delle informazioni derivanti dai sondaggi eseguiti (stratigrafie e prove SPT).

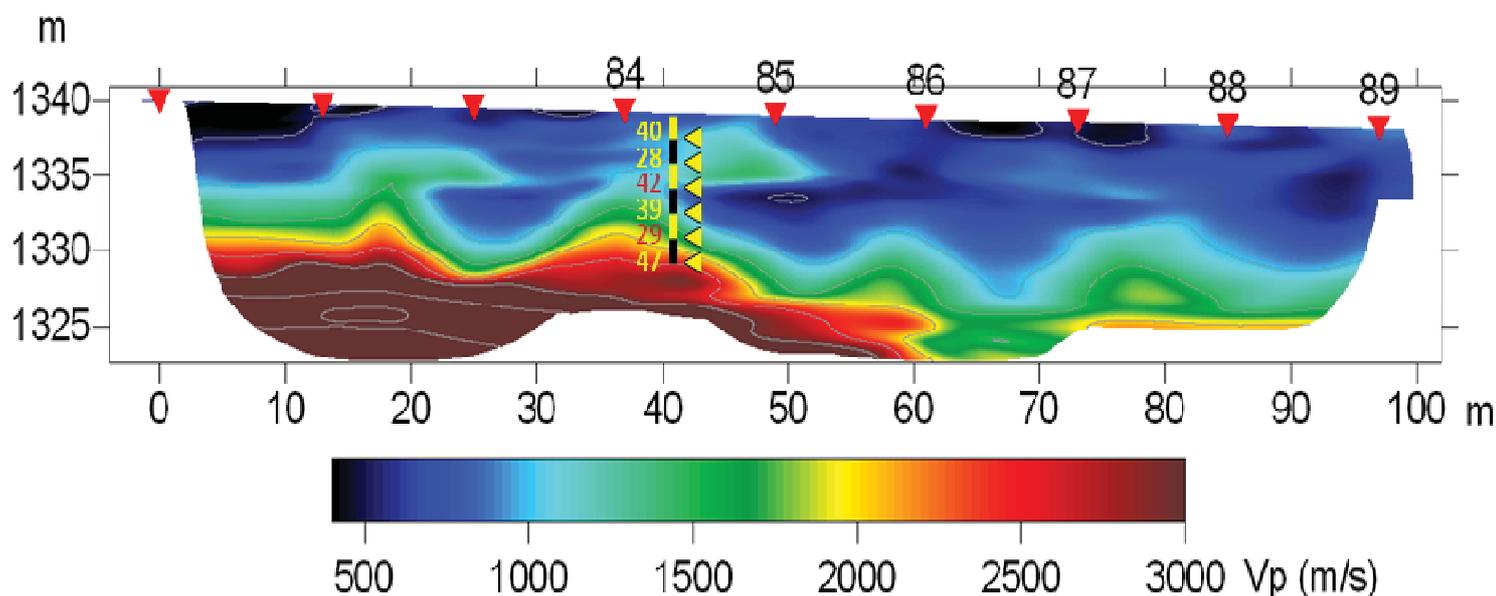
I valori ricavati grazie a quest'ultima prova (SPT) sono riportati in sovrapposizione alle sezioni tomografiche realizzate, al fine di visualizzare in maniera più immediata gli eventuali collegamenti tra le diverse metodologie di indagine.

Le correlazioni realizzate sono state le seguenti: R1/S02, R2/S01, R3/S04. Negli altri casi (S03 e S05), la distanza tra le tomografie e i sondaggi risulta essere troppo grande per un possibile abbinamento dei risultati.

Il modello interpretativo legato alla prova sulle onde superficiali risulta molto più dettagliato rispetto alla visione di insieme fornita dalla tomografia, la quale permette però di estendere lateralmente, in maniera significativa, le informazioni sito specifiche a disposizione.

### Stendimento R1

L'elaborazione dei dati ottenuti dalla tomografia sismica eseguita durante l'indagine geofisica svolta ha restituito la seguente immagine:



Sezione tomografica di velocità delle onde P con indicazione dei risultati della prova SPT.

Come è possibile notare, dal punto di vista geofisico, le tomografie mostrano come il substrato appaia visibile a inizio linea ( $V_p > 2500$  m/s), alla profondità di circa 10 m. Per progressive maggiori, il substrato si approfondisce, raggiungendo il limite inferiore della sezione (15 m) a progressiva 70 m. A fine sezione non è più distinguibile, probabilmente perchè oltre la massima profondità di indagine.

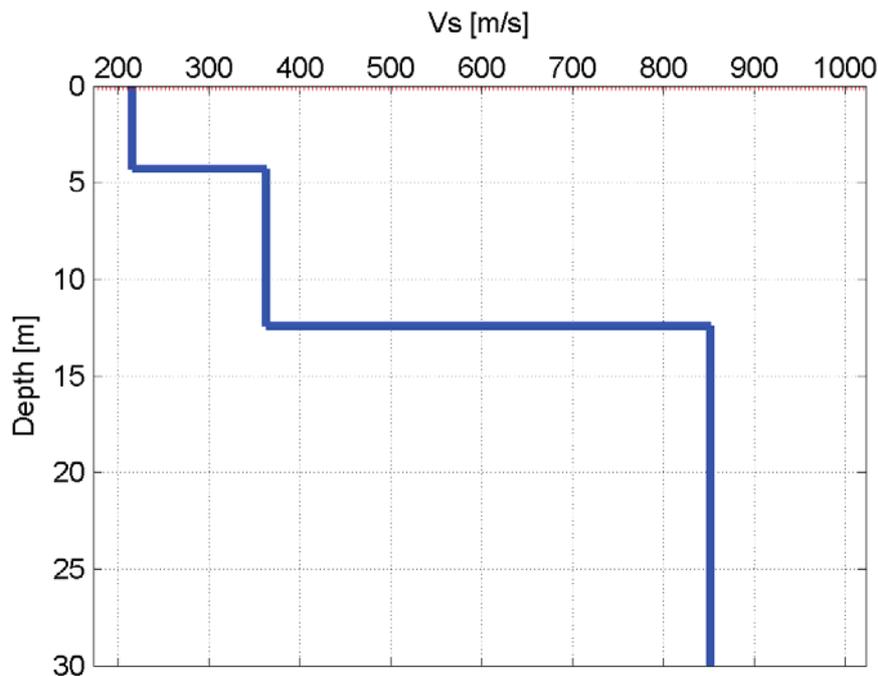
La copertura presenta valori abbastanza omogenei, con  $V_p < 1200$  m/s e non appare possibile distinguere il passaggio da riporto a copertura naturale.

Si constata una forte attenuazione del segnale in onde P, situazione che ha prodotto scarsa profondità di indagine e mappa di copertura dei raggi sismici scadente.

La prova per onde superficiali ha fornito un modello di riferimento composto dalla seguente stratigrafia, rappresentata sia in forma tabellare che in forma grafica.

*Parametri del modello di profilo stratigrafico.*

Strato (n°)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
<b>1</b>	<b>215</b>	<b>4.3</b>	<b>da 0 a 4.3</b>
<b>2</b>	<b>365</b>	<b>8.1</b>	<b>da 4.3 a 12.4</b>
<b>3</b>	<b>850</b>	<b>semispazio</b>	<b>da 12.4</b>



*Profilo stratigrafico di Vs (profondità da piano campagna).*

Sulla base dei rilievi, si individuano due strati superficiali che descrivono il materiale di riporto costituente il piazzale (Vs compresa tra 200 e 350 m/s).

In questo caso è possibile notare che il contatto con il substrato appare a profondità di circa 12 m, con passaggio a  $V_s > 800$  m/s.

La profondità del substrato è un valore medio, che subisce la presenza di variazioni laterali, che non permettono un fitting perfetto delle curve di dispersione con lo spettro sperimentale, specie sui modi superiori.

La copertura risulta potente 10 m a inizio linea, mentre a fine linea lo spessore probabilmente diventa di circa 15-20 metri.

Il valore medio di riferimento del parametro Vs30 è quindi pari a 477 m/s.

### **Interpretazione geologica**

Dalle indagini geofisiche effettuate, è possibile correlare gli strati rintracciati dalle diverse metodologie impiegate con quanto individuato dai sondaggi realizzati e le relative penetrometrie, al fine di caratterizzare geologicamente le informazioni ottenute.

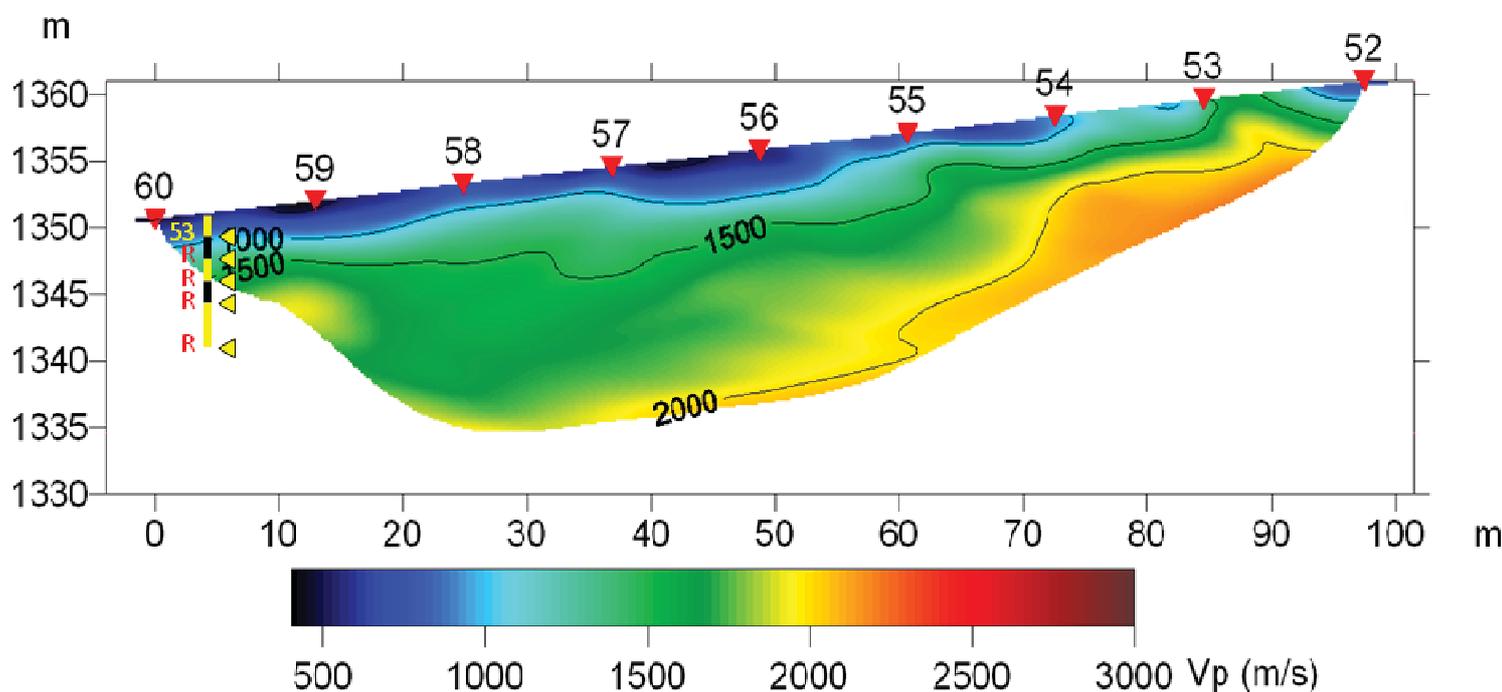
Appare riconoscibile il passaggio dallo strato di riporto superficiale al substrato in entrambe le metodologie di indagine: lo strato di riporto ha uno spessore variabile da un minimo di 10 metri ad oltre 15-20 metri.

La correlazione con i risultati SPT appaiono di difficile soluzione in quanto i valori penetrometrici ricavati nel sondaggio S02 appaiono circa uniformi, con alcuni locali abbassamenti.

Al di sotto dello strato di riporto superficiale, il grado di addensamento crescente verso il basso potrebbe giustificare l'aumento della velocità delle onde analizzate, senza però evidenziare delle evidenti differenziazioni litologiche.

### Stendimento R2

L'elaborazione dei dati ottenuti dalla tomografia sismica eseguita durante l'indagine geofisica svolta ha restituito la seguente immagine:



Sezione tomografica di velocità delle onde P con indicazione dei risultati della prova SPT.

Come è possibile notare, dal punto di vista geofisico, le tomografie presentano un risultato non omogeneo e si osserva un incremento della velocità in profondità all'aumentare delle progressive.

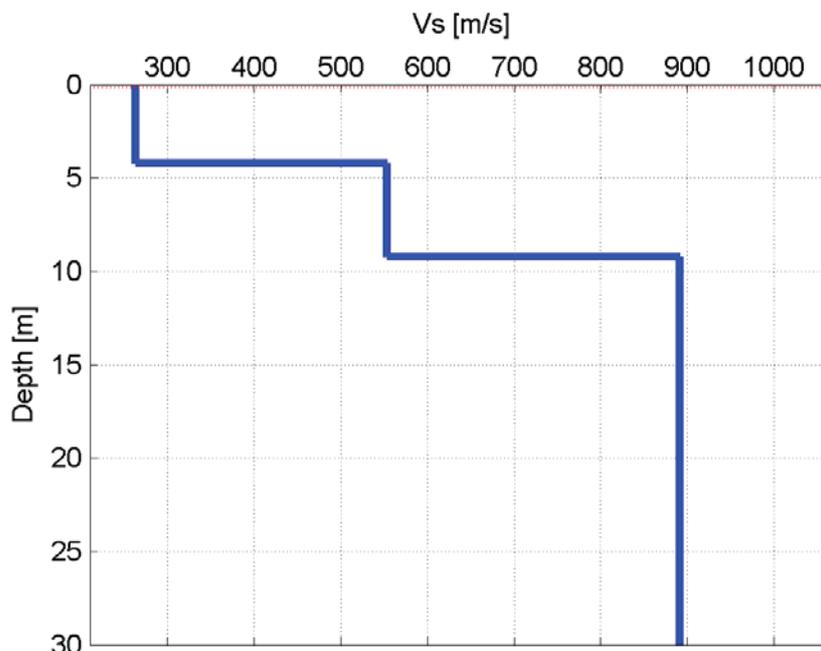
In particolare, tra le progressive 50-100 m, la sezione vede materiale di copertura omogeneo ( $V_p < 1800$  m/s) fino alla profondità di circa 15 m.

Nel primo tratto dello stendimento, il margine inferiore della sezione vede un incremento di velocità, con valori significativi ( $V_p$  massima circa 2300 m/s). Questo ultimo materiale individuato potrebbe essere interpretato come substrato fortemente fratturato o alterato.

La prova per onde superficiali ha fornito un modello di riferimento composto dalla seguente stratigrafia, rappresentata sia in forma tabellare che in forma grafica.

Parametri del modello di profilo stratigrafico.

Strato (n°)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
<b>1</b>	<b>265</b>	<b>4.2</b>	<b>da 0 a 4.2</b>
<b>2</b>	<b>554</b>	<b>5.0</b>	<b>da 4.2 a 9.2</b>
<b>3</b>	<b>891</b>	<b>semispazio</b>	<b>da 9.2</b>



Profilo stratigrafico di Vs (profondità da piano campagna).

Sulla base dei risultati ottenuti, la prova per onde superficiali è di buona qualità con un valore di misfit contenuto.

Infatti, è possibile incontrare un primo incremento di velocità alla progressiva 5 m e uno successivo a 10 metri di distanza, ascrivibile al passaggio in roccia compatta. Le variazioni laterali individuate nella tomografia escludono la presenza del contatto a profondità costante lungo l'intera linea. La copertura appare maggiore di 15 metri nella parte terminale della linea, mentre all'inizio può essere all'incirca di 5 m.

Il valore medio di riferimento del parametro Vs30 è quindi pari a 622 m/s.

### Interpretazione geologica

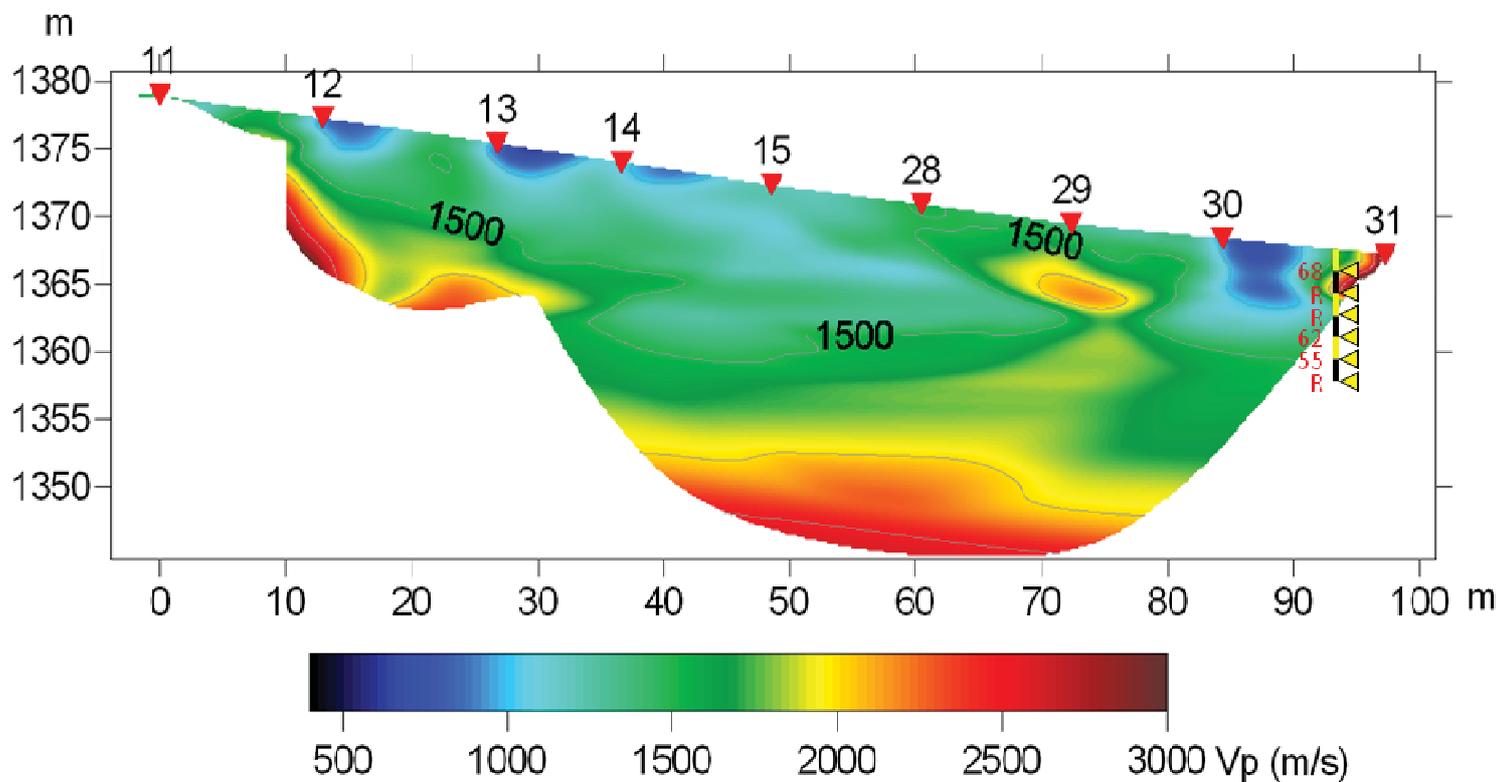
Dalle indagini geofisiche effettuate, in linea teorica è possibile correlare gli strati rintracciati dalle diverse metodologie impiegate con quanto individuato dai sondaggi realizzati e le relative penetrometrie, al fine di caratterizzare geologicamente le informazioni ottenute.

Nel caso in oggetto, l'SPT del S01 ha dato risultati tali da rintracciare, subito al di sotto del rilevato stradale (da 0 a 1,5 m da p.c.) materiali simili a quelli indicati nel primo tratto dello stendimento con velocità delle onde P pari a 2.300 m/s, ovvero substrato fortemente fratturato.

Non è possibile correlare il dato geofisico con il rinvenimento del substrato in S01, in quanto questo appare a profondità superiori al limite di indagine dalle tomografie e dalla prova per onde superficiali.

### Stendimento R3

L'elaborazione dei dati ottenuti dalla tomografia sismica eseguita durante l'indagine geofisica svolta ha restituito la seguente immagine:



Sezione tomografica di velocità delle onde P con indicazione dei risultati della prova SPT.

Come è possibile notare, dal punto di vista geofisico, le tomografie realizzate hanno risentito fortemente della tortuosità della sede stradale, che ha obbligato l'esecuzione di un tracciato di misura non rettilineo; inoltre la presenza del muro di valle tra le progressive 48 e 88 m è probabilmente causa dell'artefatto di progressiva 70-75 m con  $V_p$  di circa 2200 m/s.

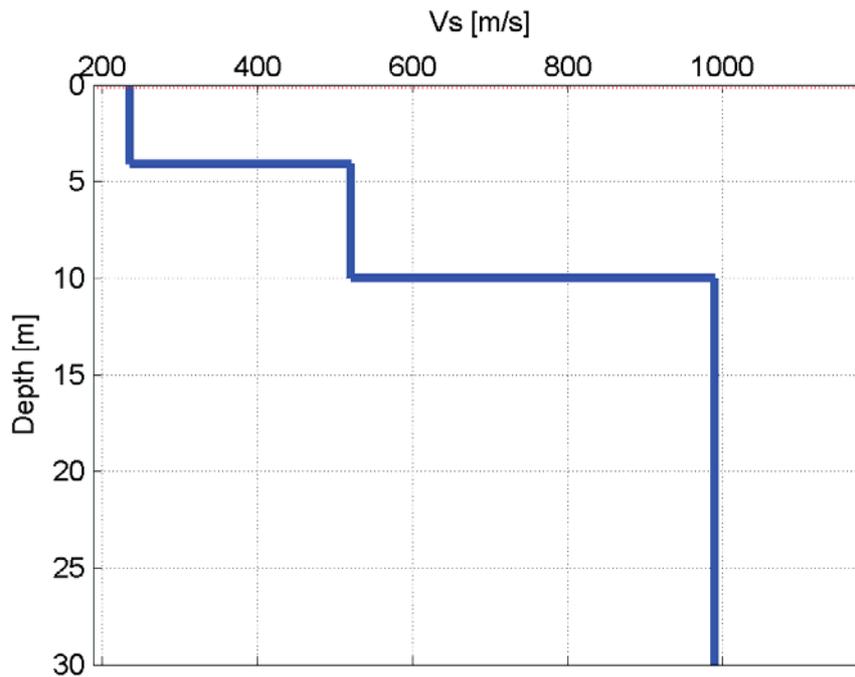
La mappa di copertura dei raggi sismici mostra raggi diretti o limitati ai primi 10 m di profondità.

In questo primo strato le velocità sono abbastanza omogenee e non superano i 1500 m/s, escludendo la presenza di substrato.

La prova per onde superficiali ha fornito un modello di riferimento composto dalla seguente stratigrafia, rappresentata sia in forma tabellare che in forma grafica.

Parametri del modello di profilo stratigrafico.

Strato (n°)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	235	4.1	da 0 a 4.1
2	520	5.9	da 4.1 a 10.0
3	990	semispazio	da 10.0



Profilo stratigrafico di Vs (profondità da piano campagna).

Analogamente alle tomografie, la prova appare di scarsa qualità, con forti variazioni laterali e misfit abbastanza elevato.

La curva di dispersione sperimentale contiene pochi punti, situazione che rende ampio il fascio delle possibili soluzioni statisticamente equivalenti.

Per limitare l'incertezza, il problema diretto è stato risolto per tutti i modelli estratti dal medesimo spazio dei parametri di modello di R2, ipotizzando un modello geologico simile.

Il modello prescelto presenta un substrato posto a circa 10 m, ipotesi che non trova conferma nella tomografia per onde P.

Il valore medio di riferimento del parametro Vs30 è quindi pari a 612 m/s.

### Interpretazione geologica

Dalle indagini geofisiche effettuate, è possibile correlare gli strati rintracciati dalle diverse metodologie impiegate con quanto individuato dai sondaggi realizzati e le relative penetrometrie, al fine di caratterizzare geologicamente le informazioni ottenute.

Grazie alla prova per onde superficiali, è possibile individuare il passaggio tra i depositi a clasti prevalentemente minuti in abbondante matrice fine e il deposito a clasti e ciottoli di dimensione maggiore in matrice limoso-debolmente sabbiosa, così come indicati nel sondaggio S04.

Il substrato, invece, anche se ancora fratturato sulla base di quanto evidenziato dal sondaggio, appare invece collocato a profondità di circa 20 metri, come messo ben in evidenza dalla tomografia sismica.

#### 5.5.4 ANALISI DI LABORATORIO

Per ipotizzare le caratteristiche geotecniche del materiale che sarà utilizzato per il rimodellamento morfologico, rappresentato dallo smarino derivante dallo scavo della prevista galleria di sicurezza del Traforo del Frejus, che sarà realizzata mediante TBM, sono state effettuate analisi di laboratorio, a cura della Ditta Tecno Piemonte di Lenta (VC), su un campione di terreno proveniente dagli analoghi scavi già effettuati sul lato francese della galleria.

Sul materiale sciolto in oggetto sono state eseguite analisi granulometriche e prove di resistenza al taglio diretto con scatola di Casagrande.

La componente grossolana dei terreni è stata vagliata mediante setacciatura, fino al setaccio A.S.T.M. n° 200, corrispondente al diametro di 0,074 mm. Il passante al setaccio n° 200, ovvero la componente fine costituita da limo ed argilla, dopo un'opportuna preparazione, è stata analizzata per sedimentazione, in modo da poter separare la porzione limosa da quella argillosa.

La metodologia utilizzata è quella indicata nella norma UNI CEN ISO/TS 17892 - ASTM D421 - Raccomandazioni AGI.

Nel rapporto in allegato sono esposti i risultati delle prove eseguite.

Dal fuso granulometrico si evince che il terreno analizzato è essenzialmente ghiaioso-sabbioso, la componente fine (limo + argilla) è infatti inferiore al 10%.

La classificazione UNI 10006 di tale campione di terreno risulta essere A1-a., pertanto decisamente soddisfacente. La classificazione U.S.C.S da invece una classe GW-GM.

Le prove di taglio diretto indicano un valore di angolo di resistenza al taglio pari a 38° e una coesione efficace di 2 kPa. Si ritiene che il valore di resistenza al taglio sia da considerare di picco, considerando che si tratta di materiale già rimaneggiato. Sarà cura in corso d'opera procedere ad operazioni di massimo costipamento in modo da garantire che tali condizioni di laboratorio siano effettivamente riprodotte e verificate in sito.

**L'assunzione di tali parametri è alla base delle scelte progettuali relative alla realizzazione dell'intervento di rimodellamento del pendio ed alle stesse verifiche di stabilità; pertanto la caratterizzazione dei materiali di effettivo utilizzo dovrà essere oggetto di verifica al momento della loro disponibilità, ed i parametri non potranno scendere significativamente al di sotto di quelli utilizzati nella presente analisi. In caso contrario le scelte progettuali dovranno essere riconsiderate.**

#### 5.6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

In corrispondenza del settore di intervento i terreni presenti risultano rappresentati da varie tipologie, ognuna avente particolari caratteristiche geotecniche.

Il fondovalle appare costituito da depositi alluvionali connessi alla dinamica torrentizia del T. Rochemolles, costituiti da ciottoli e blocchi in matrice ghiaioso-sabbiosa-limosa; tali sedimenti sono ben classati ma scarsamente addensati, tuttavia presentano requisiti discreti soprattutto perchè formati da elementi poco arrotondati.

Sul fianco sinistro vallivo, nel sito di intervento, i depositi alluvionali appaiono delimitati direttamente da substrato roccioso o da una sottile coltre di depositi colluviali, prima che venisse messo in posto il notevole accumulo artificiale che caratterizza attualmente la morfologia della parte inferiore del pendio.

Sul versante soprastante, al di sopra di alcuni affioramenti di substrato messi alla luce soprattutto al momento della costruzione della strada provinciale, la copertura quaternaria appare continua e con spessori elevati, rappresentata da prodotti colluviali e da sottostanti depositi glaciali di fondo.

Ai fini della caratterizzazione litologico-stratigrafica, geotecnica e idrogeologica dei terreni di appoggio della nuova opera, sono stati effettuati 6 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT, in punti ubicati laddove consentito dalle disponibilità delle aree e dalle possibilità di accesso, vista anche la presenza di neve al momento delle perforazioni.

Sono inoltre state raccolte tutte le informazioni disponibili derivanti dalla bibliografia scientifica sull'argomento o di conoscenze dirette in siti a caratteristiche geologiche analoghe.

L'esame del terreno messo in luce dai sondaggi ha consentito di definire le caratteristiche geotecniche essenziali a fini progettuali, con parametri di riferimento utilizzati per le successive verifiche di stabilità.

La falda acquifera appare posizionata alla base dell'esistente materiale di riporto, in diretta connessione con il T. Rochemolles da un lato, e con probabili venute sotterranee dal pendio. I sondaggi eseguiti sul versante hanno infatti evidenziato tracce di umidità all'interfaccia substrato copertura, ma non una vera e propria falda, almeno al momento delle perforazioni.

Le prove SPT hanno evidenziato valori intorno ai 30/50 colpi/piede, indicando materiali dotati generalmente di discreti-buoni parametri geotecnici e discreto addensamento. Preme ancora ricordare che le prove Spt su terreni granulari grossolani hanno valore indicativo, non essendoci dati bibliografici che individuino una correlazione tra i valori di Spt e l'angolo di attrito.

### 5.6.1 Terreno di fondazione

Sulla base di quanto sopra, per i terreni che svolgeranno una funzione di appoggio dei nuovi materiali di smarino sono stati stimati i relativi parametri geotecnici.

Le differenti unità geologiche che sono state riconosciute nell'area in esame e che saranno interessate dagli interventi in progetto vengono nel seguito definite dal punto di vista del comportamento meccanico seguendo un criterio geotecnico.

- Unità A: depositi di copertura.
- Unità B: ammasso roccioso alterato e degradato;

La definizione dei parametri di resistenza meccanica delle unità A è avvenuta a partire dalla ricerca bibliografica di settore. Il quadro emerso è stato ulteriormente approfondito mediante il confronto con i risultati di alcune prove in sito (penetrometrie dinamiche SPT) effettuate nell'area di studio. I valori proposti rientrano nel campo di variabilità di terreni analoghi per quanto concerne il fuso granulometrico.

Di fatto, le indagini indicano come si tratti di materiali essenzialmente granulari, con  $N_{spt}$  compreso fra 30 e 50 (qualche prova arriva anche al rifiuto) e che quindi possono essere classificati come terreni piuttosto addensati, per i quali è possibile ipotizzare un angolo d'attrito fino intorno a  $40^{\circ}$ - $45^{\circ}$ .

Per le verifiche di stabilità, vista l'incertezza nella reale composizione dei terreni, non sempre indagati direttamente viste le attuali condizioni di inaccessibilità, sono stati assunti valori di progetto più cautelativi, come evidenziato nel seguito.

#### DEPOSITI ALLUVIONALI:

- $\gamma$  = peso di volume naturale =  $22 \text{ kN/m}^3$
- $c'$  = coesione efficace =  $0 \text{ kPa}$ , a favore di sicurezza
- $\phi'_p$  = angolo di resistenza al taglio di picco (da Spt) =  $40^{\circ}/45^{\circ}$

- $\varphi'_{cv}$  = angolo di resistenza al taglio utilizzato (a favore di sicurezza) =  $38^\circ$

#### DEPOSITI COLLUVIALI:

- $\gamma$  = peso di volume naturale =  $20 \text{ kN/m}^3$
- $c'$  = coesione efficace =  $5 \text{ kPa}$ , a favore di sicurezza
- $\varphi'_p$  = angolo di resistenza al taglio di picco (da Spt) =  $40^\circ/42^\circ$
- $\varphi'_{cv}$  = angolo di resistenza al taglio utilizzato (a favore di sicurezza) =  $38^\circ$

#### DEPOSITI GLACIALI:

- $\gamma$  = peso di volume naturale =  $22 \text{ kN/m}^3$
- $c'$  = coesione efficace =  $5 \text{ kPa}$ , a favore di sicurezza
- $\varphi'_p$  = angolo di resistenza al taglio di picco (da Spt) =  $40^\circ/45^\circ$
- $\varphi'_{cv}$  = angolo di resistenza al taglio utilizzato (a favore di sicurezza) =  $40^\circ$

#### MATERIALI DETRITICI TERRAPIENO ESISTENTE 1:

- $\gamma$  = peso di volume naturale =  $19 \text{ kN/m}^3$
- $c'$  = coesione efficace =  $2 \text{ kPa}$ , a favore di sicurezza
- $\varphi'_p$  = angolo di resistenza al taglio di picco (da Spt) =  $32^\circ/35^\circ$
- $\varphi'_{cv}$  = angolo di resistenza al taglio utilizzato (a favore di sicurezza) =  $30^\circ$

#### MATERIALI DETRITICI TERRAPIENO ESISTENTE 2:

- $\gamma$  = peso di volume naturale =  $18 \text{ kN/m}^3$
- $c'$  = coesione efficace =  $2 \text{ kPa}$ , a favore di sicurezza
- $\varphi'_p$  = angolo di resistenza al taglio di picco (da Spt) =  $30^\circ$
- $\varphi'_{cv}$  = angolo di resistenza al taglio utilizzato (a favore di sicurezza) =  $28^\circ$

#### MATERIALI DETRITICI TERRAPIENO ESISTENTE 3:

- $\gamma$  = peso di volume naturale =  $18 \text{ kN/m}^3$
- $c'$  = coesione efficace =  $2 \text{ kPa}$ , a favore di sicurezza
- $\varphi'_p$  = angolo di resistenza al taglio di picco (da Spt) =  $27^\circ$
- $\varphi'_{cv}$  = angolo di resistenza al taglio utilizzato (a favore di sicurezza) =  $27^\circ$

#### SUBSTRATO ALTERATO E FRATTURATO:

- $\gamma$  = peso di volume naturale =  $25 \text{ kN/m}^3$

- Tipo di calcolo di resistenza: Generalised Hoek-Brown
- Resistenza a compressione non confinata (UCS): 75.000 kPa
- mb: 0.574326
- s: 0.000335463
- a: 0.511368

L'assegnazione dei parametri geomeccanici all'unità B è stata effettuata attraverso il criterio di rottura di Hoek e Brown (2002), ricorrendo all'utilizzo del programma Roclab della Rocscience (fig. 1 e 2). Il metodo di calcolo ha fornito i valori di angolo di attrito, coesione e modulo elastico attraverso una classificazione parametrica dell'ammasso roccioso.

Preme evidenziare che a causa dell'estesa copertura e per la conseguente assenza di affioramenti, non è stato possibile effettuare rilievi geostrutturali significativi. Al proposito sono stati utilizzati i risultati bibliografici riportati nei paragrafi precedenti ritenuti significativi del contesto geologico e geotecnico in esame.

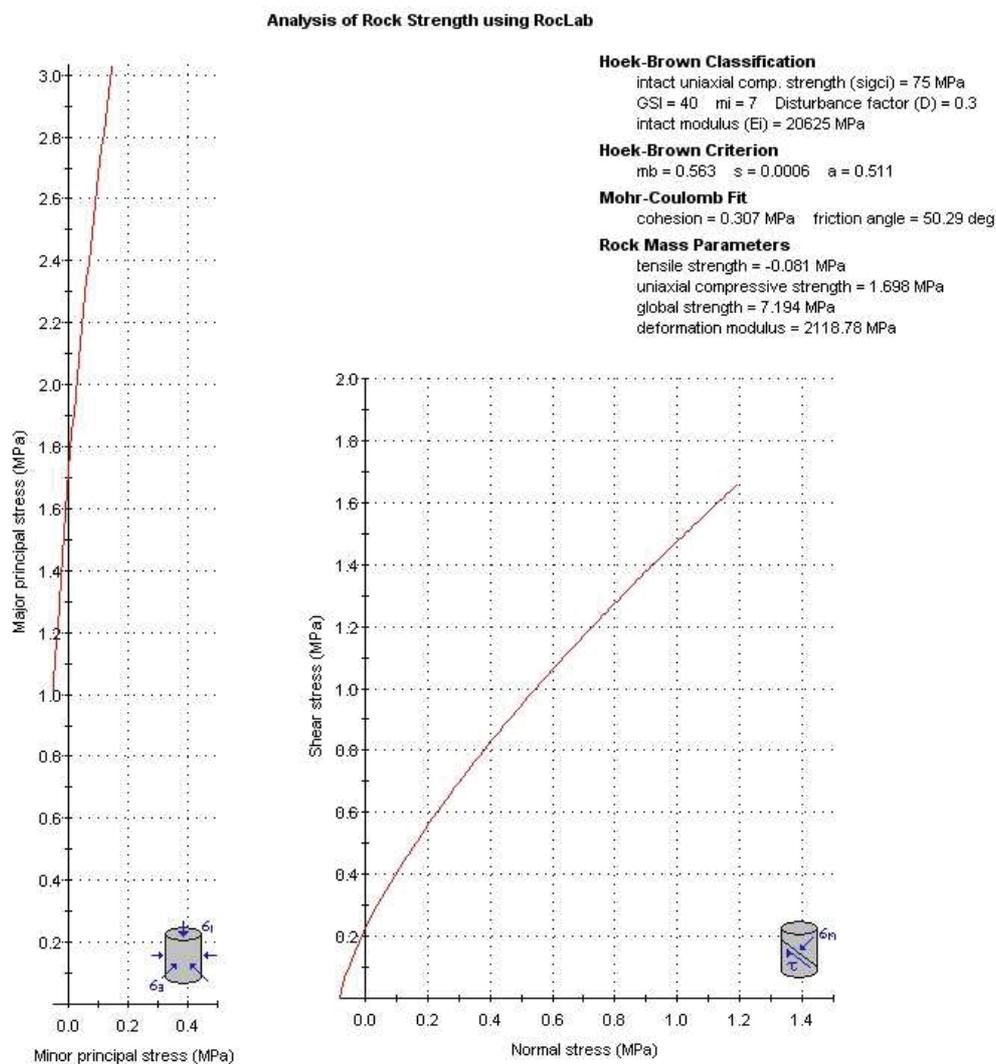


Figura 1. Interfaccia del software RocLab utilizzato per l'applicazione del criterio di Rottura di Hoek & Brown (2002) alle Unità B

### 5.6.2 Caratterizzazione geotecnica dei terreni utilizzati per la costruzione del nuovo rimodellamento del pendio

E' previsto che il rimodellamento sia effettuato mediante utilizzo de materiale di smarino derivante dallo scavo della prevista galleria di sicurezza del tunnel del Frejus.

Si tratta di un materiale di tipo sabbioso-ghiaioso, derivante dalla macinazione dei litotipi incontrati dalla macchina perforatrice di tipo TBM.

Per caratterizzare preliminarmente tali materiali, in assenza del materiale finale non ancora disponibile, è stato analizzato in laboratorio un campione di terreno proveniente dagli analoghi scavi già effettuati sul lato francese della galleria.

Le analisi di laboratorio, riportate negli allegati a fine testo, hanno indicato le seguenti caratteristiche:

- $\gamma$  = peso di volume naturale = 18 kN/m<sup>3</sup>
- $c'$  = coesione non drenata = 2 kPa
- $\phi'_p$  = angolo di resistenza al taglio di picco (da prova di laboratorio) = 38°

### 5.6.3 Definizione valori caratteristici

L'Eurocodice 7 e le NTC08 introducono il concetto di valore caratteristico  $X_k$  che corrisponde ad una stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite. Il riferimento normativo per la scelta dei valori caratteristici è illustrata nel par. C6.2.2.4 della Circolare Esplicativa alle NTC08. In particolare si legge

*(...Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei terreni; basti pensare, ad esempio, all'effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata. Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato...)*

Nel caso in esame è possibile affermare che il meccanismo di rottura sia tale da permettere la compensazione delle eterogeneità. Ne consegue che i parametri medi possono essere considerati caratteristici e, coerentemente alle indicazioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, essere utilizzati per le verifiche di stabilità.

### 5.6.4 Definizione dei valori di progetto

A partire dai valori caratteristici è possibile ottenere i valori di progetto applicando i coefficienti parziali M2.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tabella 1 - Coefficienti parziali

Parametro	Depositi alluvionali	Depositi colluviali	Depositi glaciali	Terrapieno 1	Terrapieno 2	Terrapieno 3	Substrato alterato e fratturato
$\varphi$	38	38	40	30	28	27	50
c (kPa)	0	5	5	2	2	2	0,3
$\gamma$ (KNm-3)	22	20	22	19	18	18	25

Tabella 2. Parametri di progetto da utilizzare nelle verifiche di stabilità.

## 5.7 AZIONE SISMICA

Un quadro sufficientemente completo delle massime intensità macrosismiche raggiunte nell'area di indagine viene fornito dalla mappatura elaborata da Molin et al. (1996) per il Dipartimento della Protezione Civile e ottenuta a partire banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA. La prima banca dati è stata realizzata dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) che a partire dal 1988 ha raccolto, verificato e ricompilato la grande maggioranza dei dati macrosismici disponibili per terremoti relativi al periodo 1000-1980.

Per il Comune di Bardonecchia viene indicata un'intensità massima  $\leq 6$ . La distribuzione delle massime intensità macrosismiche ricalca abbastanza fedelmente la classificazione dell'intero territorio nazionale operata con Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 che colloca il territorio di interesse in Zona Sismica 3. Tale classificazione è stata mantenuta anche nella D.G.R. 19/01/2010, n. 11-13058 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche".

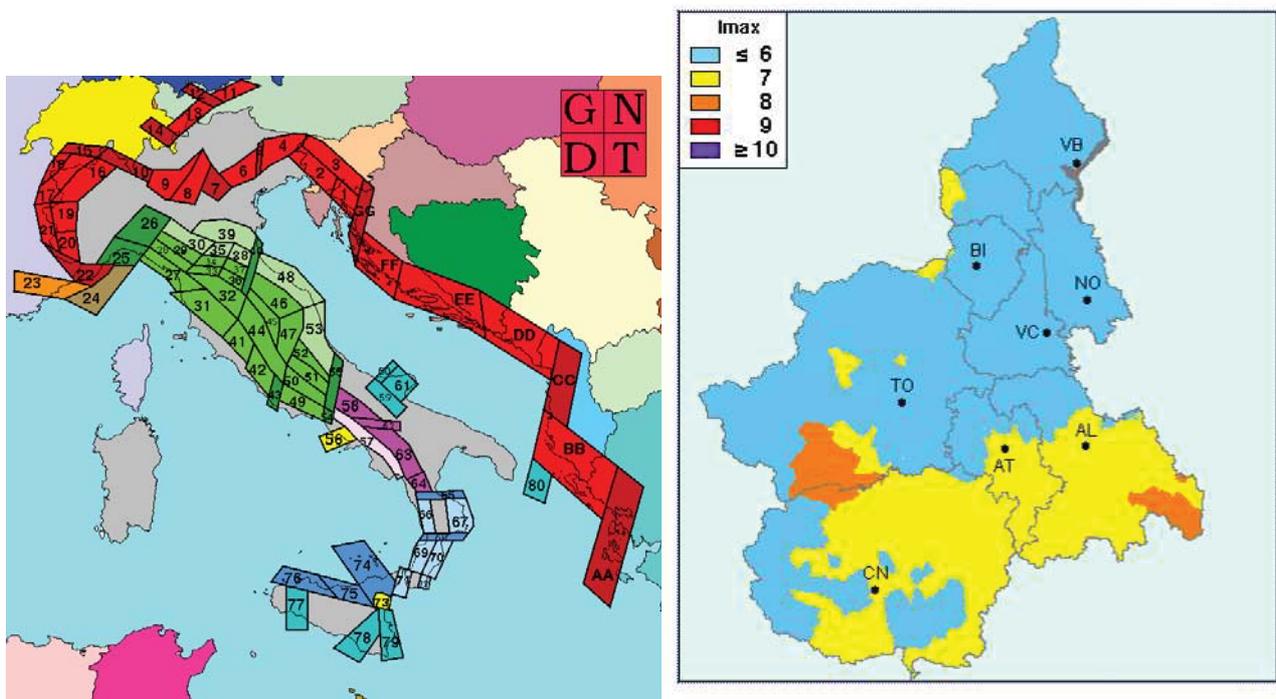


Figure 2e3: Mappa della Zonazione Sismogenetica (sinistra) e mappa delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (destra).

Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ag, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g/g$ ]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 3 - Zone sismiche

L'approccio introdotto dall'OPCM è "zona dipendente" e il valore di  $a_g/g$ , ossia l'accelerazione massima orizzontale su un "substrato di riferimento" ( $V_{s30} < 800$  m/s), sarebbe pari a 0.15.

Con l'introduzione del DM 14.01.2008, viene superata questa procedura. Le Norme Tecniche per le Costruzioni, infatti, prevedono che la pericolosità sismica venga definita mediante un approccio "sito dipendente". In sostanza l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

I valori dei parametri spettrali  $a_g$  (accelerazione espressa in  $g/10$ , dove  $g$  è l'accelerazione di gravità),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T^*C$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), propri del sito in esame vengono calcolati mediante la media pesata con quattro punti della griglia di accelerazioni delimitanti l'area.

Per poter effettuare questo tipo di analisi, sono disponibili fogli di calcolo messi a disposizione gratuitamente da software house o dallo stesso Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Nel presente lavoro è stato utilizzato il software di calcolo on-line messo a disposizione dalla GEOSTRU Software.

Il calcolo dei coefficienti sismici del sito in esame (Bardonecchia, Loc. Rochemolles) è stato eseguito per la seguente coppia di coordinate:

latitudine: 45,090957

longitudine: 6,717871

Altri parametri necessari per definire l'azione sismica sono:

Classe d'uso dell'edificio: definita coerentemente alle definizioni del paragrafo 2.4.2 delle NTC08. In particolare l'intervento in progetto rientra nella seguente categoria di opere: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Ne consegue una classe d'uso II e un coefficiente d'uso pari a 1,0 (Tab. 2.4.II delle NTC08);

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

Tabella 4 - Classe d'uso

Vita nominale numero di anni di uso della struttura che, sulla base della tabella 2.4.I delle NTC, può essere maggiore o uguale a 50 anni;

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Tabella 5 - Vita nominale

**Categorie di sottosuolo:** per definire l'azione sismica di progetto, si valuta l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. Per il sito in esame è stata individuata una velocità del substrato di poco inferiore a 800 m/s ed è possibile collocare, a titolo prudenziale, il sottosuolo in esame all'interno della Categoria B.

Suolo	Descrizione geotecnica	$V_{s30}$ (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	>800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	360-800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	180-360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	<180
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).	-
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.	-

Tabella 6 - Categorie di sottosuolo

**Coefficiente topografico St:** introdotto per tener conto delle amplificazioni indotte dall'e caratteristiche morfologiche dell'area di analisi. Nei casi in esame si considera una tipologia morfologica T2 cui corrisponde un valore St pari a 1,2.

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

Tabella 7 - Coefficiente topografico

Si evidenzia che partendo dal valore nominale di  $a_g$  (espresso in g), accelerazione orizzontale massima attesa al sito, si passa ad  $a_g$  (espresso in  $m/s^2$ ) moltiplicando detto valore per 9.81. L'accelerazione massima attesa al sito si ottiene poi moltiplicando il valore in  $m/sec^2$  ottenuto per il coefficiente di amplificazione topografica  $St$ .

In tab. 8 sono definiti i parametri per la definizione degli stati limite riferiti all'opera in progetto, mentre in tab. 9 sono stati effettivamente calcolati in base alle caratteristiche specifiche di sito. Tali parametri saranno quelli utilizzati per le verifiche di stabilità del pendio e dell'opera nel suo complesso.

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0,030	2,441	0,197
Danno (SLD)	50	0,038	2,513	0,211
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,103	2,459	0,268
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,136	2,450	0,277
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Tab. 8 - Parametri per la scelta degli stati limite

	SLO	SLD	SLV	SLC
<b>Ss*</b> Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
<b>Cc*</b> Coeff. funz categoria	1,52	1,50	1,43	1,42
<b>St*</b> Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20
<input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [ $m/s^2$ ]				0.6
<b>Coefficienti</b>	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,009	0,011	0,036	0,047
kv	0,004	0,006	0,018	0,023
Amax [ $m/s^2$ ]	0,428	0,542	1,453	1,914
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Tab. 9 – Calcolo dei coefficienti agli stati limite

## 5.8 VERIFICHE DI STABILITA'

### 5.8.1 Impostazioni concettuali del problema e modello di calcolo

Il modello di calcolo è stato messo a punto in riferimento alla Teoria dell'Equilibrio Limite in campo bidimensionale, trascurando pertanto gli effetti tridimensionali.

Definito il grado di saturazione limite, cui corrisponde l'Equilibrio Limite del versante, ovvero l'instabilità incipiente, si è proceduto a dimensionare e verificare gli interventi di consolidamento.

In accordo alle disposizioni Normative, il livello di sicurezza di un versante è espresso, in generale, come rapporto tra resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale.

Per pendii naturali come quello in esame le NTC08 e le relative Istruzioni, non fanno riferimento ad alcun approccio, contraddicendo le indicazioni postulate dalla medesima normativa per quanto riguarda le verifiche globali e dei fronti di scavo. A fronte di tale situazione normativa, si è scelto di far riferimento ai principi dell'EC7 ed eseguire la verifica secondo l'Approccio Progettuale 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2).

I parametri utilizzati per la quantificazione dell'azione sismica sono già stati introdotti nel paragrafo dedicato. Le analisi sono state condotte con il codice di calcolo Slide. Nel calcolo del fattore di sicurezza (FS) sono stati adottati tre differenti metodi: Bishop e Janbu completo e Morgenster-Price.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite su tre sezioni-tipo del progetto presentato, rispettivamente n. 7, n. 10 e n. 12, tracciate in maniera tale da intercettare anche i sondaggi realizzati. tali sezioni di verifica sono state schematicamente ricavate da profili geologici di dettaglio derivanti da cartografia geologica su rilievo e dall'insieme dei dati desunti dalle indagini di terreno eseguite.

Per quanto concerne la falda acquifera sotterranea, sulla base dei dati geognostici disponibili, è stata posizionata alla base del materiale artificiale costituente il terrapieno esistente e sul pendio ad una soggiacenza tale da saturare parzialmente la copertura glaciale quaternaria.

Sulla prima (n. 7, posta in posizione più meridionale), l'analisi si è concentrata principalmente sulla definizione realistica dei parametri da utilizzare in tutte le simulazioni. data l'impostazione cautelativa del lavoro presentato, il rinvenimento di materiali di peggiore qualità nei sondaggi realizzati lungo questa sezione ha suggerito di utilizzare i medesimi dati geotecnici ricavati dalla sezione n. 7 anche per le altre due sezioni, rispettivamente n. 10 (centrale rispetto all'intervento) e n. 12 (quella più a nord).

In generale, lo stato attuale delle differenti sezioni appare stabile, con alcune limitate situazioni superficiali che presentano un fattore di sicurezza prossimo all'unità.

## 5.8.2 Verifica delle sezioni

### Sezione 7 - Stato Attuale

Data la difficoltà di caratterizzare i materiali coinvolti nel progetto, si è proceduto a verifiche in back analysis per individuare le condizioni limite e quindi assegnare ai litotipi le possibili caratteristiche più cautelative, cercando, in ogni caso, di restare all'interno dei valori di riferimento proposti in letteratura. I dati di input sono riportati in calce. In fig. 1 si riporta il modello geologico, così costituito:

- substrato costituito da calcescisti;
- depositi glaciali sul versante a cui si sovrappongono coltri detritico-colluviali recenti;
- depositi alluvionali sul fondovalle;
- materiale di riporto, costituito da una porzione di fondo a migliori caratteristiche geotecniche, formata presumibilmente da smarino proveniente dalla vecchia galleria del Frejus, ed una, più superficiale, in cui si osservano caratteristiche geotecniche decisamente inferiori con detriti derivanti da attività edili.

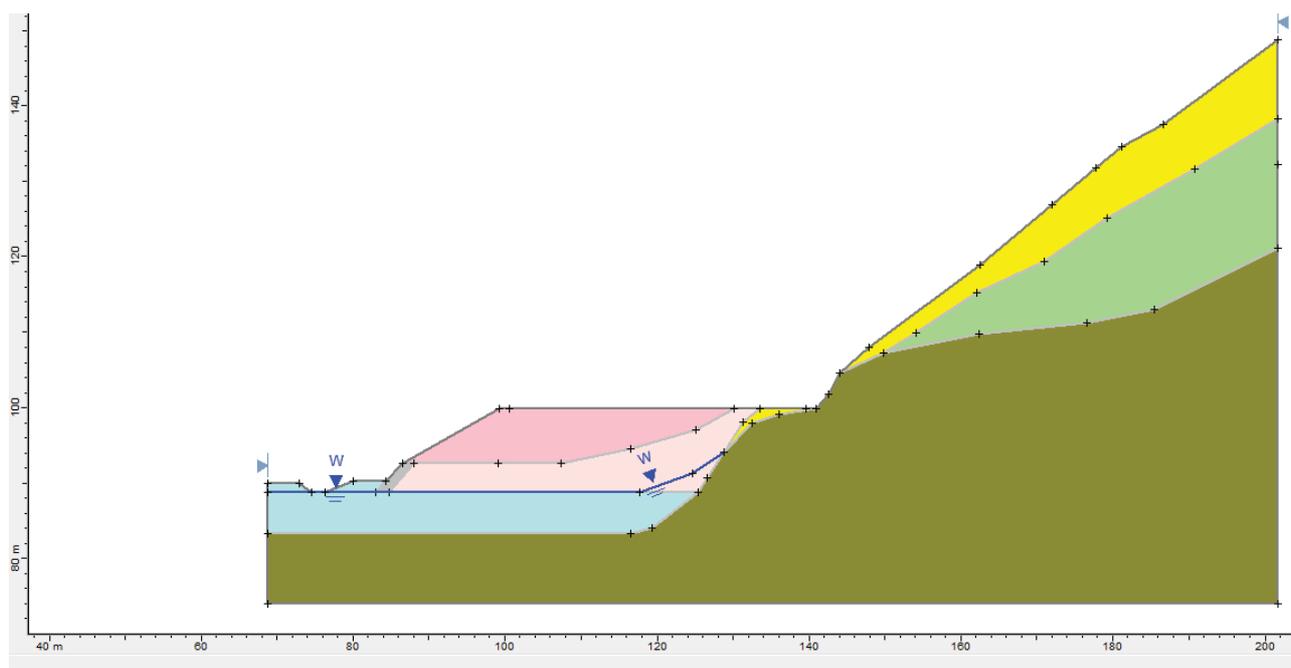


Fig.1 - Modello geologico della situazione attuale sez. 7

Sulla base di questo modello è stata eseguita una verifica di stabilità, al fine di individuare essenzialmente la situazione di equilibrio limite. In questa simulazione, si è tenuto debitamente in conto della spinta sismica, come previsto dalla normativa, e della presenza di una falda così come osservata nelle indagini messe a disposizione. A seguito di un processo “trial and error”, sono stati definiti i parametri riportati in fig.2 ed utilizzati per le successive verifiche sullo stato di progetto.

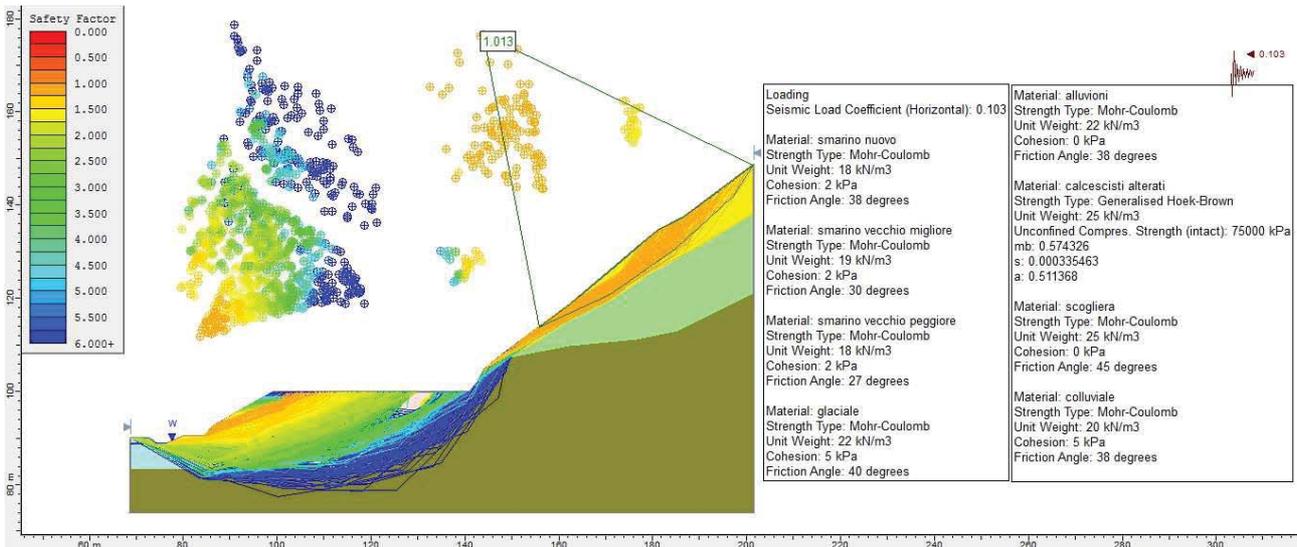


Fig. 2 – Situazione all’equilibrio limite sez. 7

### Sezione 7 - Stato di progetto

Sulla base del modello geologico-tecnico precedente, si è ipotizzata la realizzazione di un deposito di terreno lungo il versante presente, costituito da un materiale con caratteristiche geotecniche dedotte da prove di laboratorio eseguite sul materiale di smarino. Il modello geologico è riportato in fig. 3.

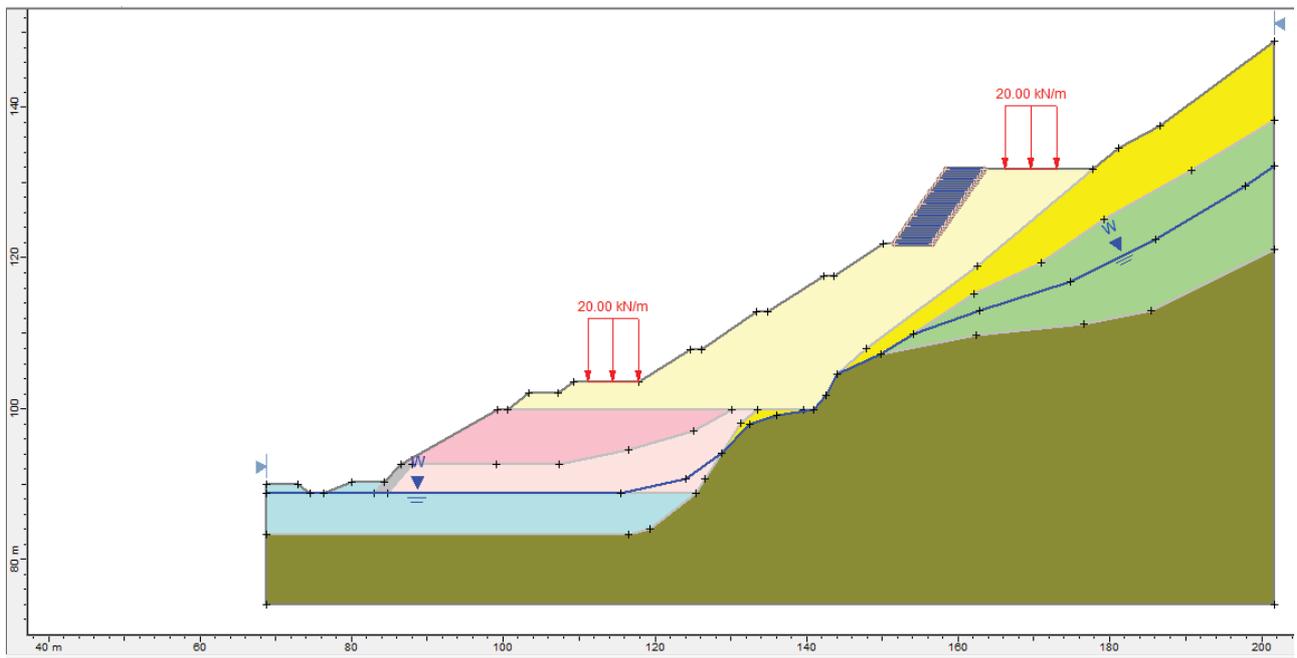


Fig. 3 - Modello geologico di progetto sez. 7

Rispetto alla precedente simulazione è stato aggiunto un sovraccarico dovuto alla nuova strada ed un rinforzo realizzato sul ciglio del gradone più alto mediante un sistema di terre rinforzate. A seguito dell’impostazione sopra presentata, è stata realizzata una simulazione per la valutazione della stabilità del pendio. In fig. 4 sono riportati i risultati ottenuti.

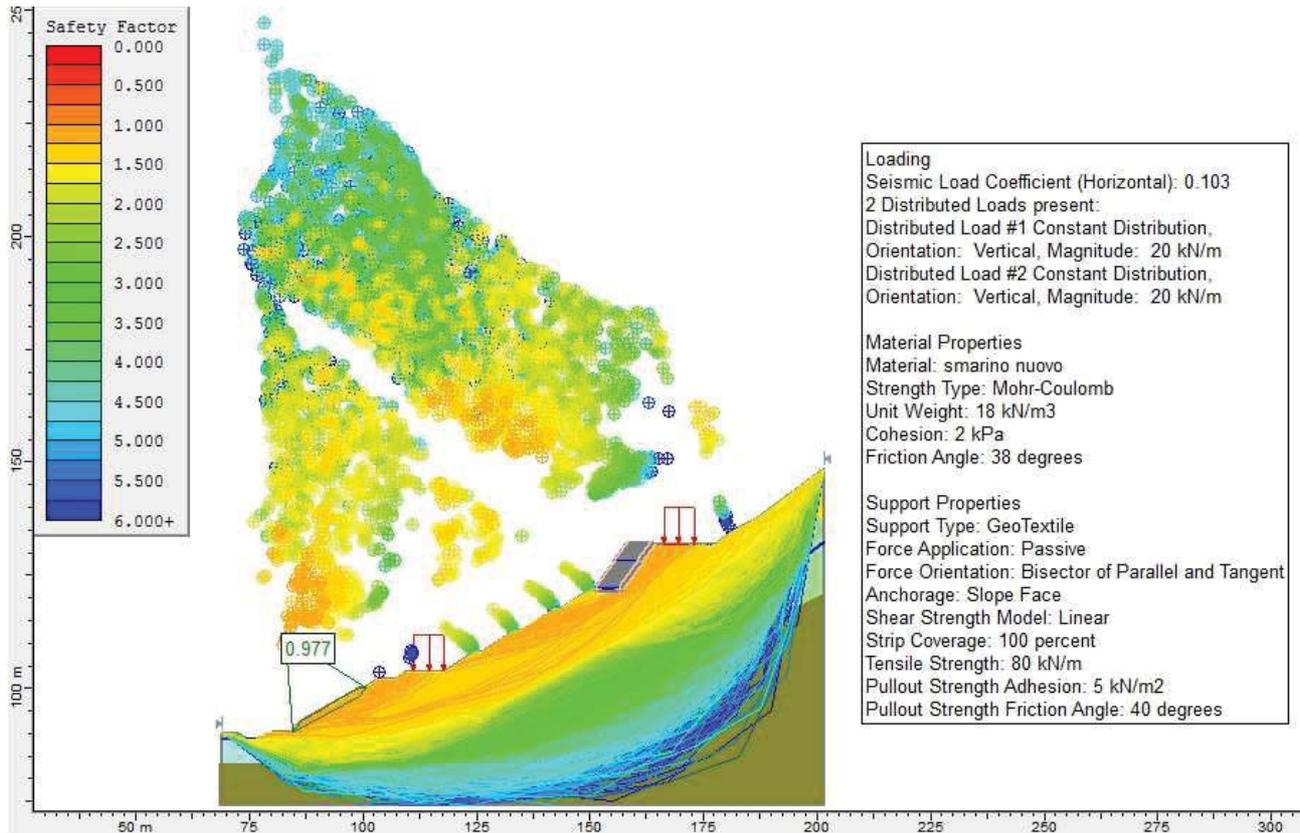


Fig. 4 - Verifica di stabilità di progetto solo con terra rinforzata sez. 7

È possibile desumere come la parte bassa del pendio, corrispondente al vecchio rilevato, vada in crisi, raggiungendo valori – seppur di poco – inferiori all'unità e per superfici di scivolamento relativamente superficiali.

Questa situazione porta a ritenere l'opera in condizioni molto prossime all'equilibrio limite. Vista l'indeterminatezza legata alla presenza di materiali di difficile caratterizzazione (a causa della granulometria e dell'eterogeneità del materiale utilizzato per il terrapieno), il risultato ottenuto fa propendere per la proposta di messa in opera di un'ulteriore opera di consolidamento e rinforzo, mirata ad assicurare la stabilità a lungo termine del manufatto.

## Sezione 10 – Stato Attuale

Come nel caso precedente, data la difficoltà di caratterizzare i materiali coinvolti nel progetto, si è proceduto ad una verifica in back analysis per individuare le condizioni limite e quindi assegnare ai litotipi le possibili caratteristiche più cautelative, cercando, in ogni caso, di restare all'interno dei valori di riferimento proposti in letteratura. I dati di input sono riportati in calce. In fig. 5 si riporta il modello geologico, così costituito:

- substrato costituito da calcescisti;
- depositi glaciali sul versante a cui si sovrappongono coltri detritico-colluviali recenti;
- depositi alluvionali sul fondovalle;
- materiale di riporto eterogeneo, costituito sia da smarino proveniente dalla vecchia galleria del Frejus, ma anche da detriti derivanti da attività edili; alla base è presente uno strato, sempre costituito da materiale artificiale, con caratteristiche leggermente più scadenti e intersecante la falda acquifera;
- scogliera a blocchi alla base del materiale di riporto in corrispondenza del corso d'acqua.

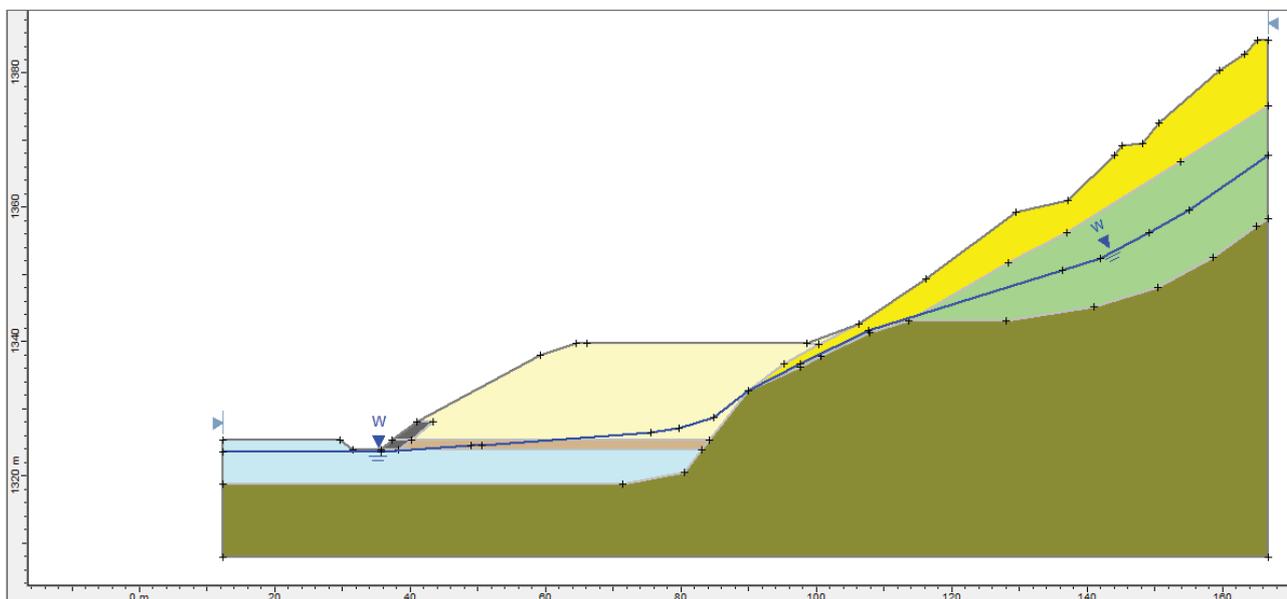


Fig.5 - Modello geologico della situazione attuale sez. 10

Sulla base di questo modello è stata eseguita una verifica di stabilità, al fine di individuare la situazione di equilibrio limite. In questa simulazione, si è tenuto debitamente in conto della spinta sismica, come previsto dalla normativa, e della presenza di una falda così come osservata nelle indagini messe a disposizione. A seguito di un processo “trial and error”, sono stati definiti i parametri riportati in fig. 6 ed utilizzati per le successive verifiche sullo stato di progetto.

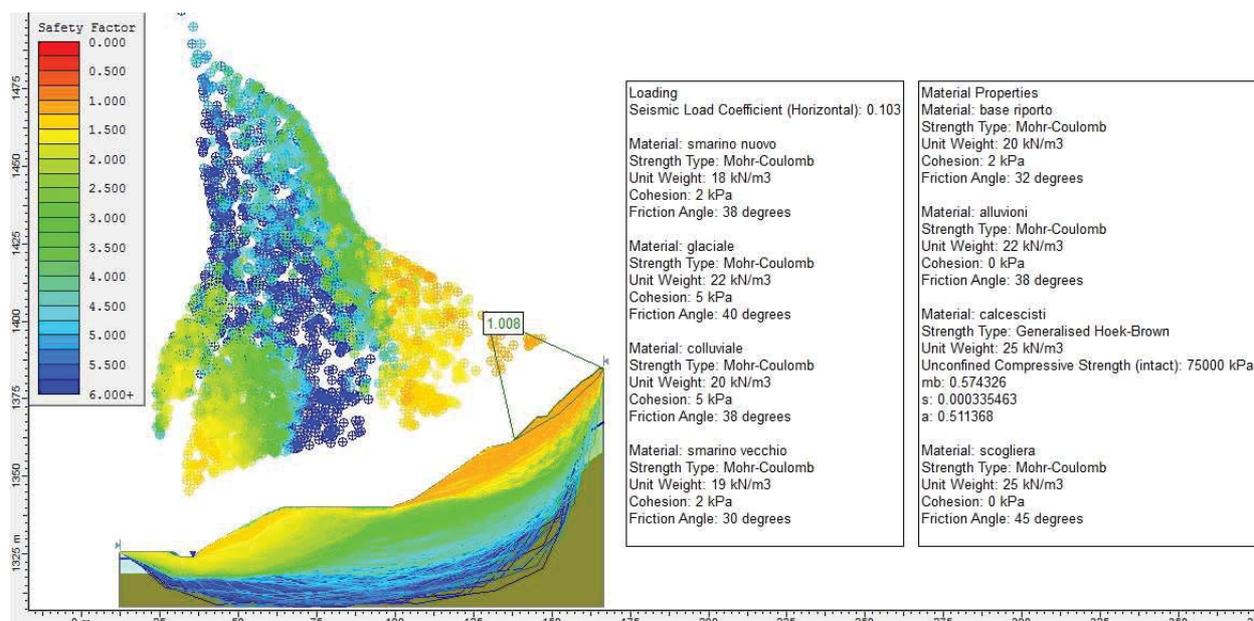


Fig. 6 – Situazione all'equilibrio limite sez. 10

## Sezione 10 – Stato di progetto

Sulla base del modello geologico-tecnico precedente, si è ipotizzata la realizzazione di un deposito di terreno (colore giallo acceso) lungo il versante presente, costituito da un materiale con caratteristiche geotecniche dedotte da prove di laboratorio eseguite sul materiale di smarino. Il modello geologico è riportato in fig. 7.

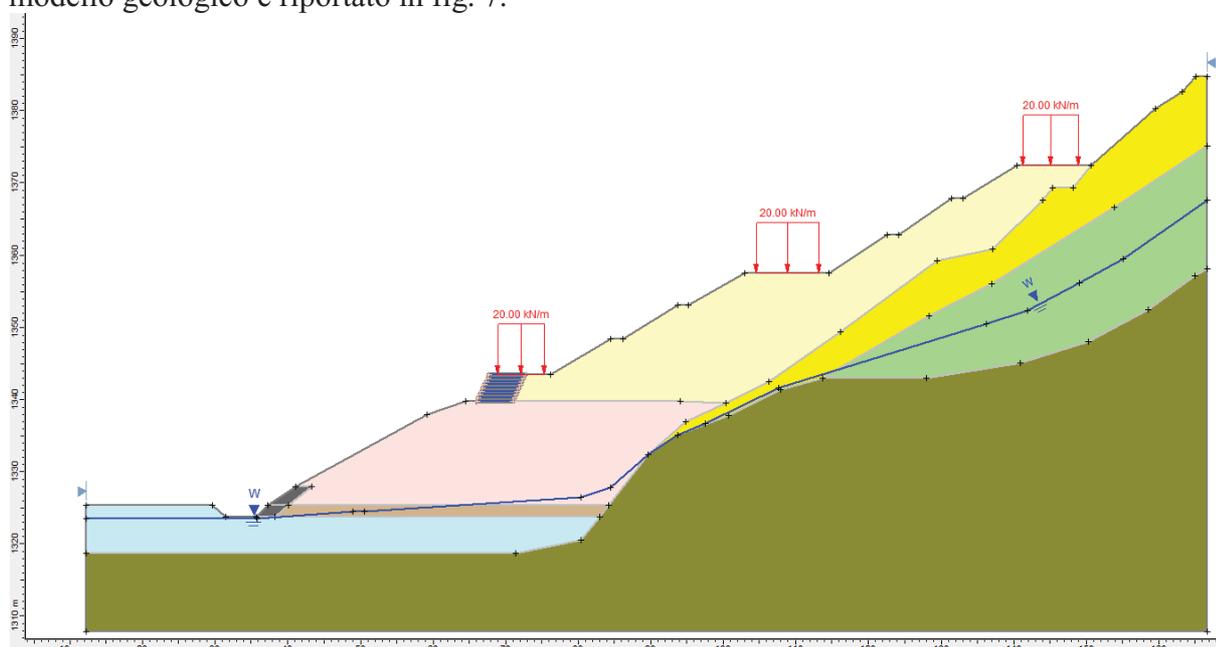


Fig. 7 - Modello geologico di progetto sez. 10

Rispetto alla precedente simulazione, è stato aggiunto un sovraccarico dovuto alla nuova strada ed un rinforzo realizzato sul ciglio del gradone più alto mediante un sistema di terre rinforzate. A seguito dell'impostazione sopra presentata, è stata realizzata una simulazione per la valutazione della stabilità del pendio. In fig. 8 sono riportati i risultati ottenuti.

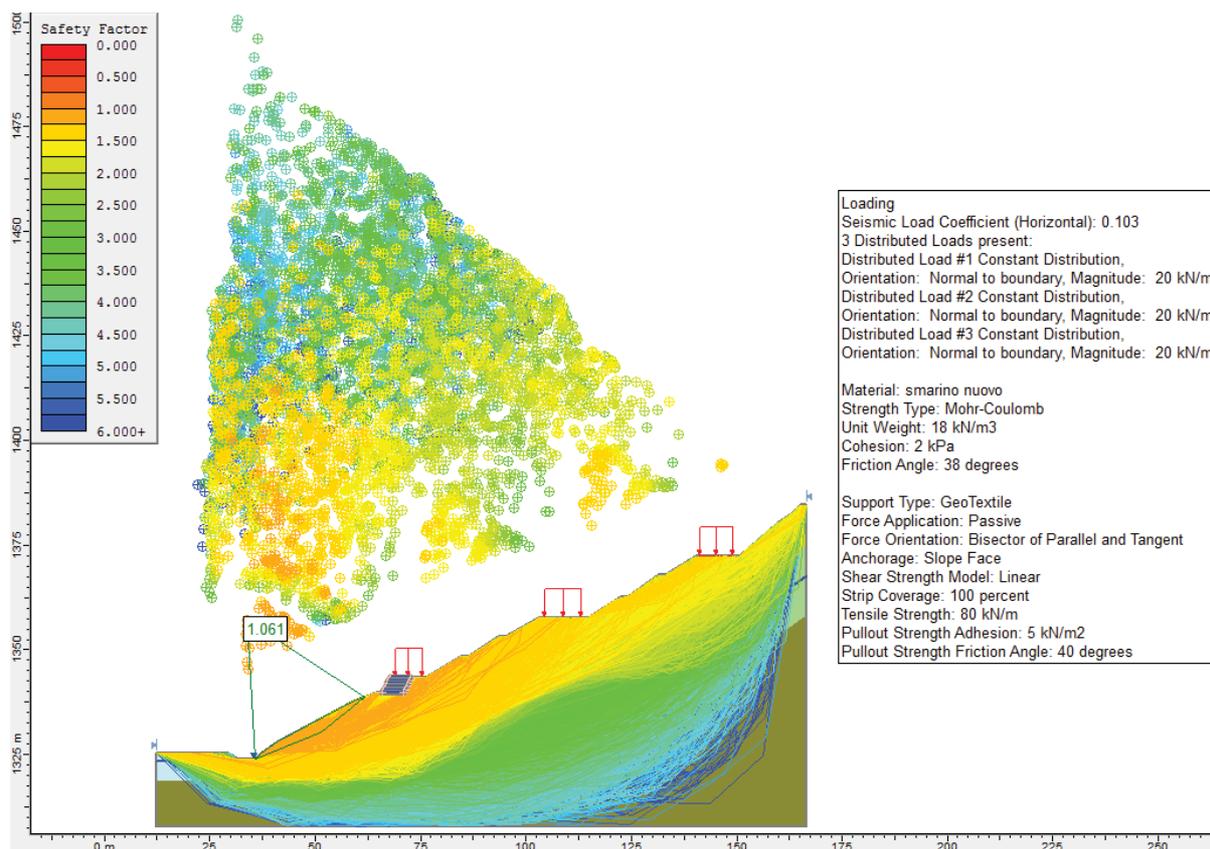


Fig. 8 - Verifica di stabilità di progetto solo con terra rinforzata sez. 10

In questo caso, a differenza di quanto verificato per la sez. 7, il risultato più evidente è legato alla parte bassa del pendio, sempre corrispondente al vecchio rilevato, dove è presente la superficie di scivolamento con il fattore di sicurezza più basso di tutta la sezione 10, che comunque resta – seppur di poco – superiore all'unità e a ridotta profondità.

In analogia con quanto visto per la sez. 7, la situazione indagata porta a ritenere, comunque, l'opera in condizioni prossime all'equilibrio limite, condizione che presume di essere il più cautelativi possibile. Vista l'indeterminatezza legata alla presenza di materiali di difficile caratterizzazione (a causa della granulometria e dell'eterogeneità del materiale utilizzato per il terrapieno), il risultato ottenuto fa propendere anche in questo caso per la proposta di messa in opera di un'ulteriore opera di consolidamento all'altezza del terrapieno esistente, mirata ad assicurare la stabilità a lungo termine della sistemazione morfologica di progetto.

## Sezione 12 – Stato Attuale

Sulla base della medesima metodologia di indagine, stante la difficoltà di caratterizzare i materiali coinvolti nel progetto, si è proceduto a verifiche in back analysis per individuare le condizioni limite e quindi assegnare ai litotipi le possibili caratteristiche più cautelative, cercando di restare all'interno dei valori di riferimento proposti in letteratura. I dati di input sono riportati in calce. In fig. 9 si riporta il modello geologico, così costituito:

- un substrato costituito da calcescisti;
- dei depositi glaciali sul versante a cui si sovrappongono coltri detritico-colluviali recenti;
- depositi alluvionali sul fondovalle;
- materiale di riporto eterogeneo, costituito sia da smarino proveniente dalla vecchia galleria del Frejus, ma anche da detriti derivanti da attività edili; alla base è presente uno strato, sempre costituito da materiale artificiale, con caratteristiche leggermente più scadenti e intersecante la falda acquifera;
- scogliera a blocchi alla base del materiale di riporto in corrispondenza del corso d'acqua.

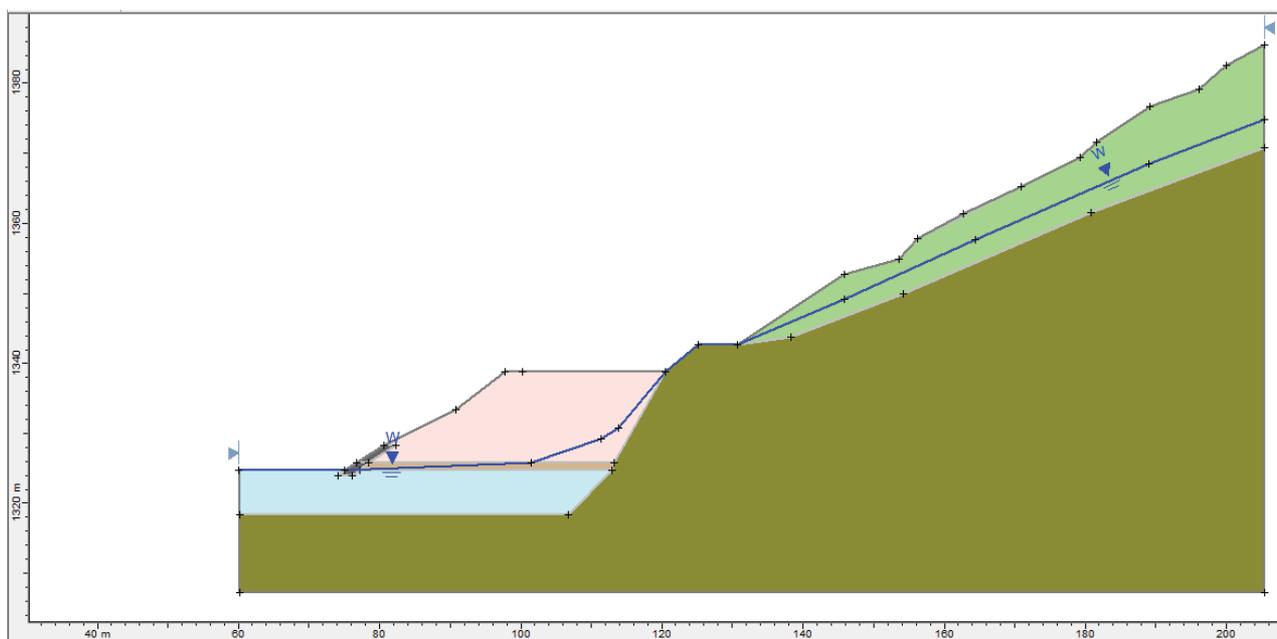


Fig. 9 – Situazione all'equilibrio limite sez. 12

Sulla base di questo modello è stata eseguita una verifica di stabilità, al fine di individuare la situazione di equilibrio limite. In questa simulazione, si è tenuto debitamente in conto della spinta sismica, come previsto dalla normativa, e della presenza di una falda così come osservata nelle indagini messe a disposizione. A seguito di un processo “trial and error”, sono stati definiti i parametri riportati in fig. 10 ed utilizzati per le successive verifiche sullo stato di progetto.

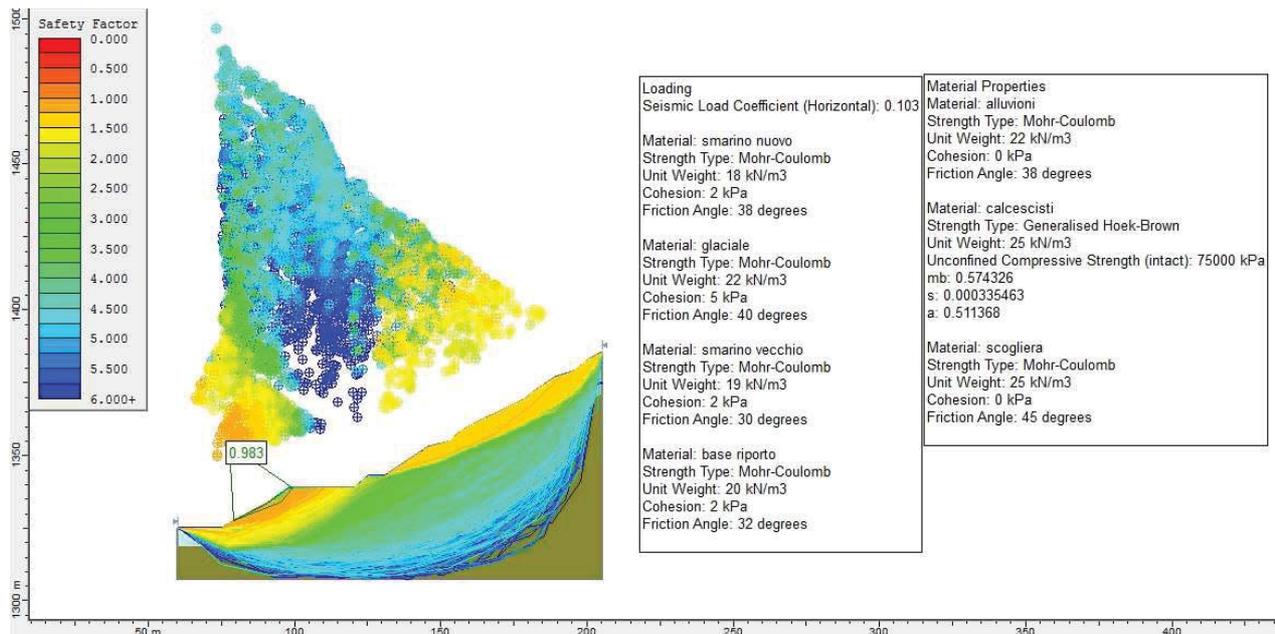


Fig. 10 - Modello geologico della situazione attuale sez. 12

### Sezione 12 – Stato di progetto

Sulla base del modello geologico-tecnico precedente, si è ipotizzata la realizzazione di un deposito di terreno lungo il versante presente, costituito da un materiale con caratteristiche geotecniche dedotte da prove di laboratorio eseguite sul materiale di smarino. Il modello geologico è riportato in fig. 11.

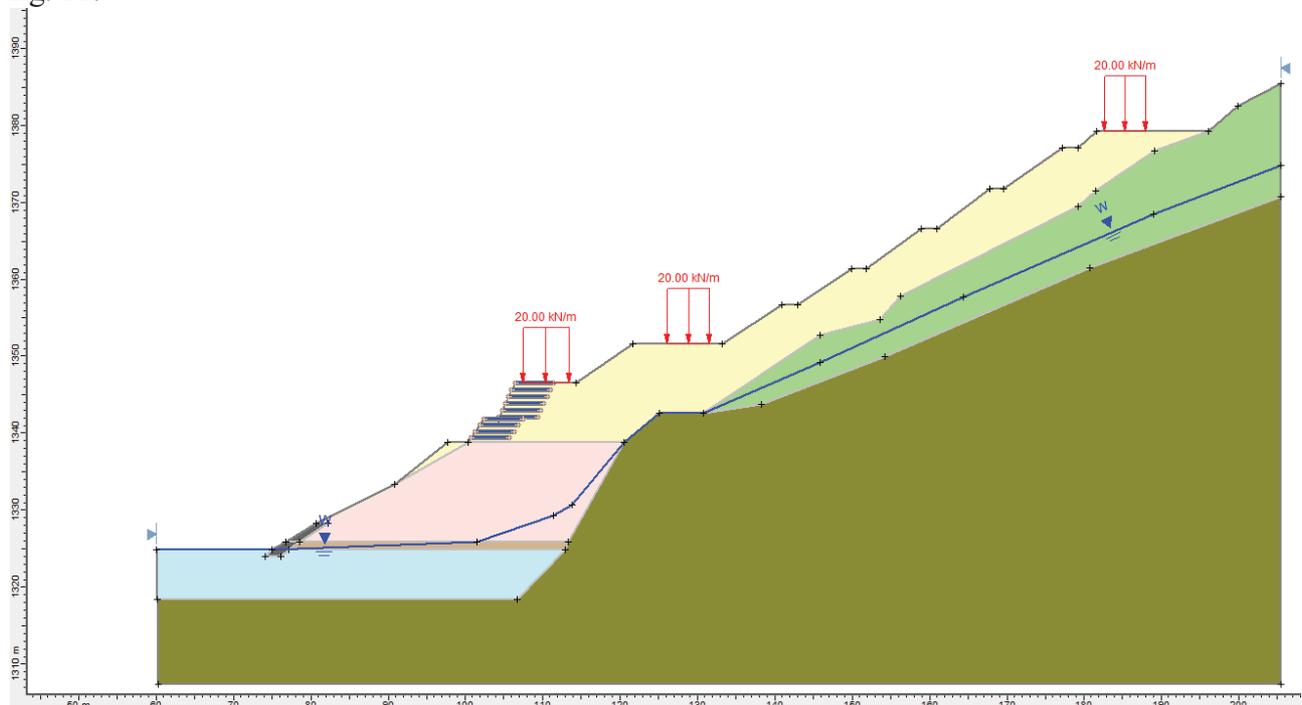


Fig. 11 - Modello geologico di progetto sez. 12

Anche in questo caso, rispetto alla precedente simulazione, è stato aggiunto un sovraccarico dovuto alla nuova strada ed un rinforzo realizzato sul ciglio del gradone più alto mediante un sistema di terre rinforzate.

A seguito dell'impostazione sopra presentata, è stata realizzata una simulazione per la valutazione della stabilità del pendio. In fig. 12 sono riportati i risultati ottenuti.

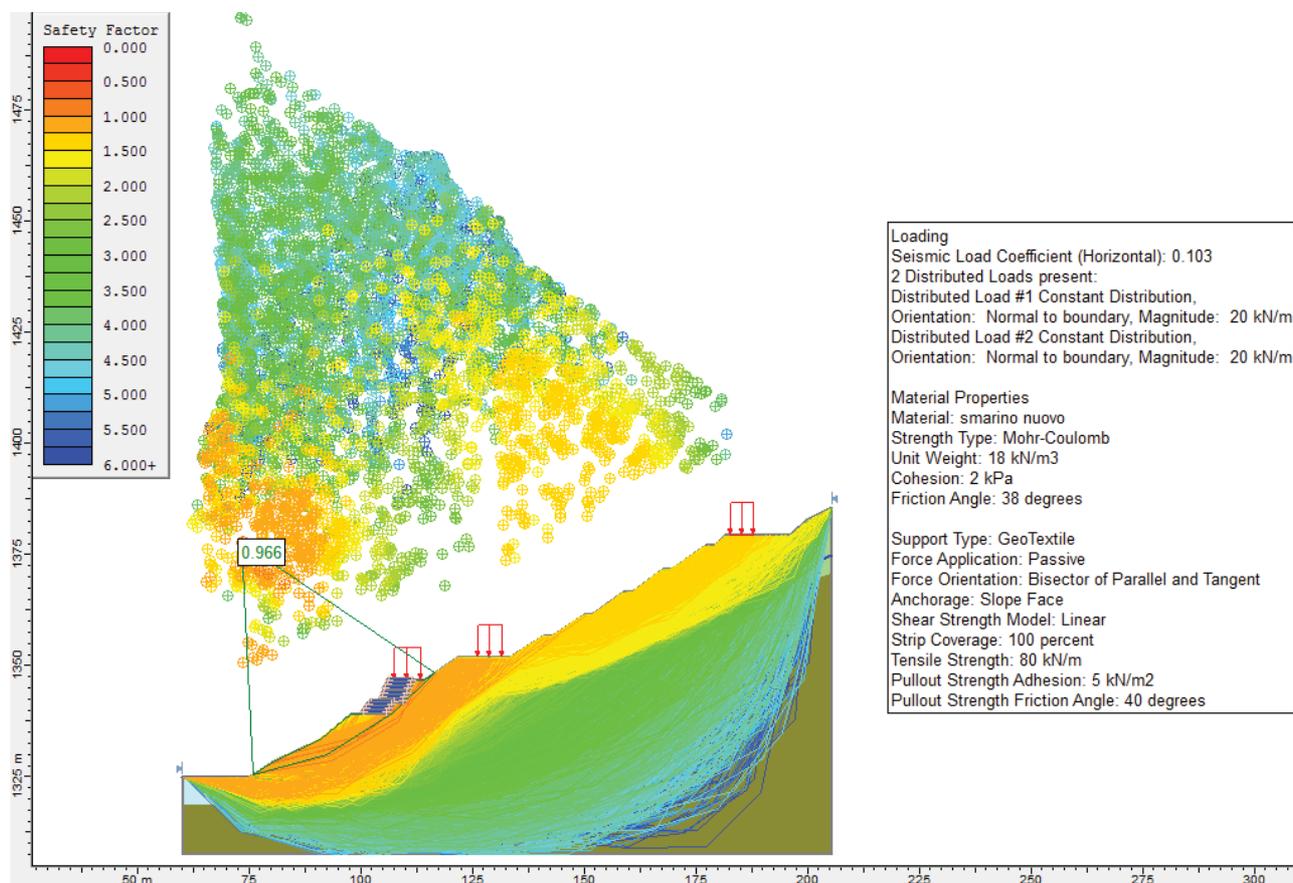


Fig. 12 - Verifica di stabilità di progetto solo con terra rinforzata sez. 12

Analogamente a quanto visto per la sez. 7, è possibile desumere come la parte bassa del pendio, corrispondente al vecchio rilevato, vada in crisi, raggiungendo valori – seppur di poco – inferiori all'unità e per superfici di scivolamento relativamente superficiali.

Anche per quanto riguarda questa sezione, la situazione porta a ritenere l'opera in condizioni molto prossime all'equilibrio limite. Addirittura la scarpata dell'attuale terrapieno risulta andare in crisi a causa del sovraccarico, con fattore di sicurezza inferiore ad 1.

Vista l'indeterminatezza legata alla presenza di materiali di difficile caratterizzazione (a causa della granulometria e dell'eterogeneità del materiale utilizzato per il terrapieno), il risultato ottenuto in questo caso comporta necessariamente il ricorso alla messa in opera di un'opera di contenimento e consolidamento, mirata ad assicurare la stabilità del nuovo riporto e della stessa strada provinciale SP235.

### 5.8.3 Verifiche delle condizioni di stabilità con inserimento di opere di consolidamento

A seguito dell'analisi dei risultati ottenuti, è stata fatta una ulteriore verifica utilizzando la sezione 10 a titolo esemplificativo, con la finalità di migliorare le attuali condizioni di stabilità del versante, che permangono molto prossime a quello che viene definito come stato di equilibrio limite (Fattore di Sicurezza pari all'unità) con i lavori di rimodellamento eseguiti (fig. 13).

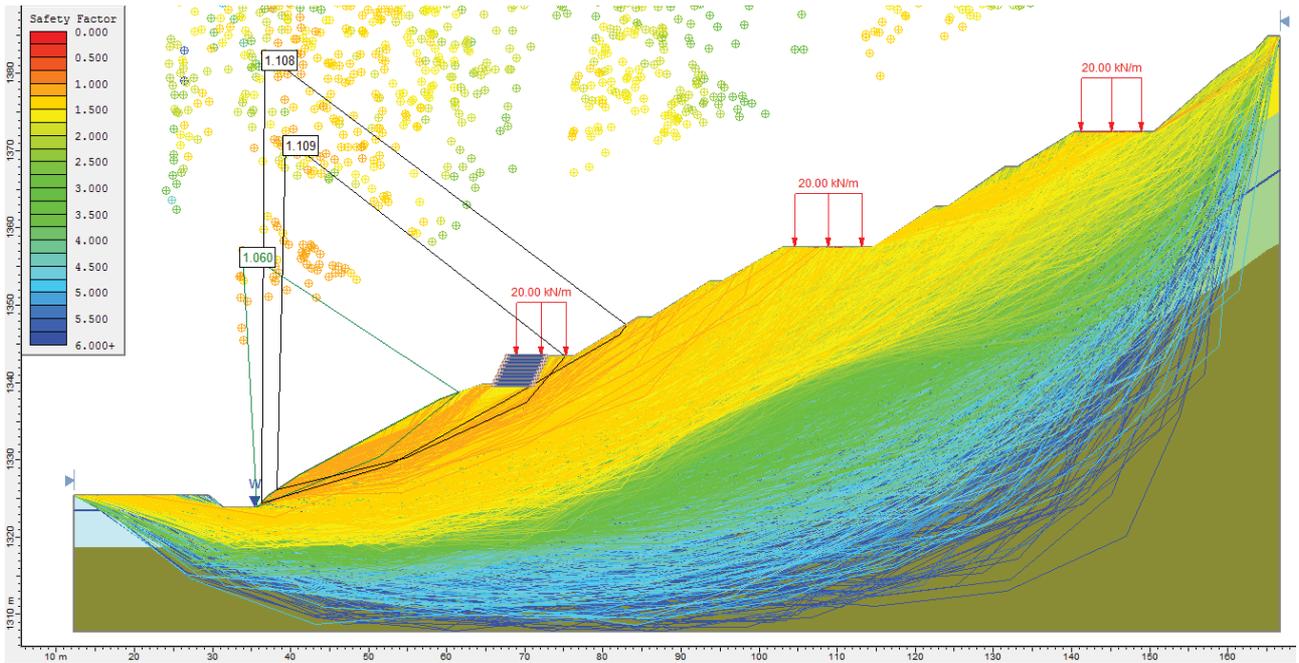


Fig. 13 – Individuazione di alcune delle superfici di scivolamento più critiche che interessano il terrapieno in progetto lungo la sez. 10.

A tal riguardo è stata realizzato un pre-dimensionamento ipotetico di un'opera di consolidamento del terrapieno esistente, sviluppata ingegneristicamente in modo sicuramente più completo nel progetto, da realizzare in maniera tale da garantire un migliore supporto al nuovo deposito di smarino, senza che il carico conseguente comprometta la stabilità globale del versante a rimodellamento eseguito (fig. 14).

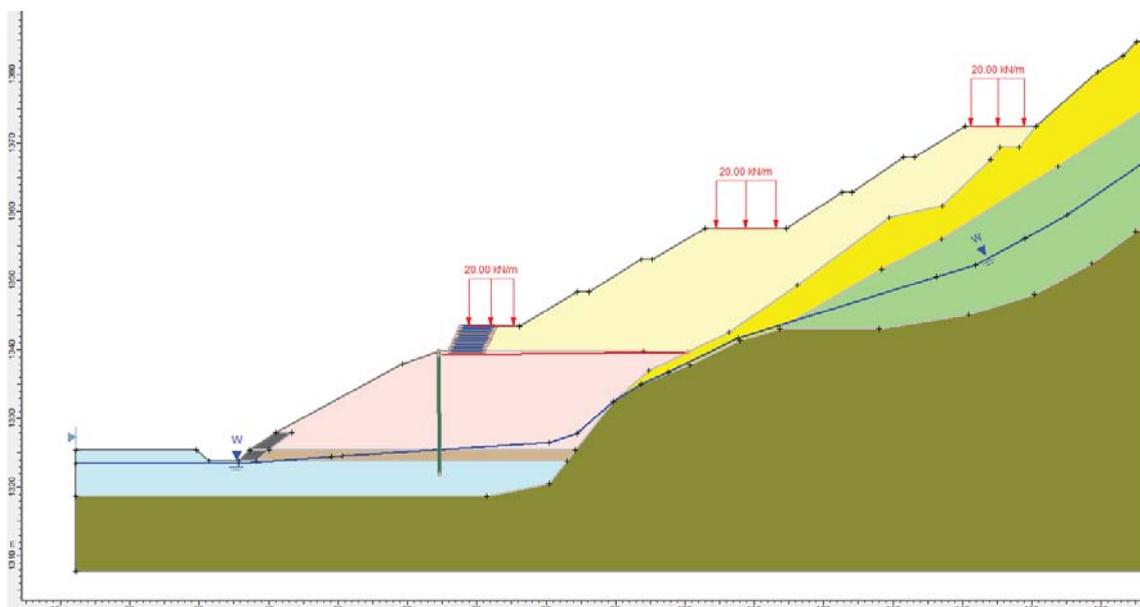


Fig. 14 – Posizionamento dell'opera di consolidamento all'interno del versante oggetto di studio lungo la sez. 10.

La struttura schematica di questa opera potrà essere composta da una paratia di pali di grande diametro (colore verde) con travi di ancoraggio in profondità (colore rosso), come dimensionate da progetto. L'opera di consolidamento dovrà essere realizzata prima delle operazioni di reinterro.

A seguito dell'inserimento di questo tipo di consolidamento, è stato possibile ripetere la verifica di stabilità, la quale ha messo in luce, sulle medesime superfici di scivolamento evidenziate in fig. 13, un sostanziale miglioramento delle condizioni di stabilità del versante, incrementando il fattore di sicurezza di circa il 20% ( $F= 1,35$ ) (fig. 15).

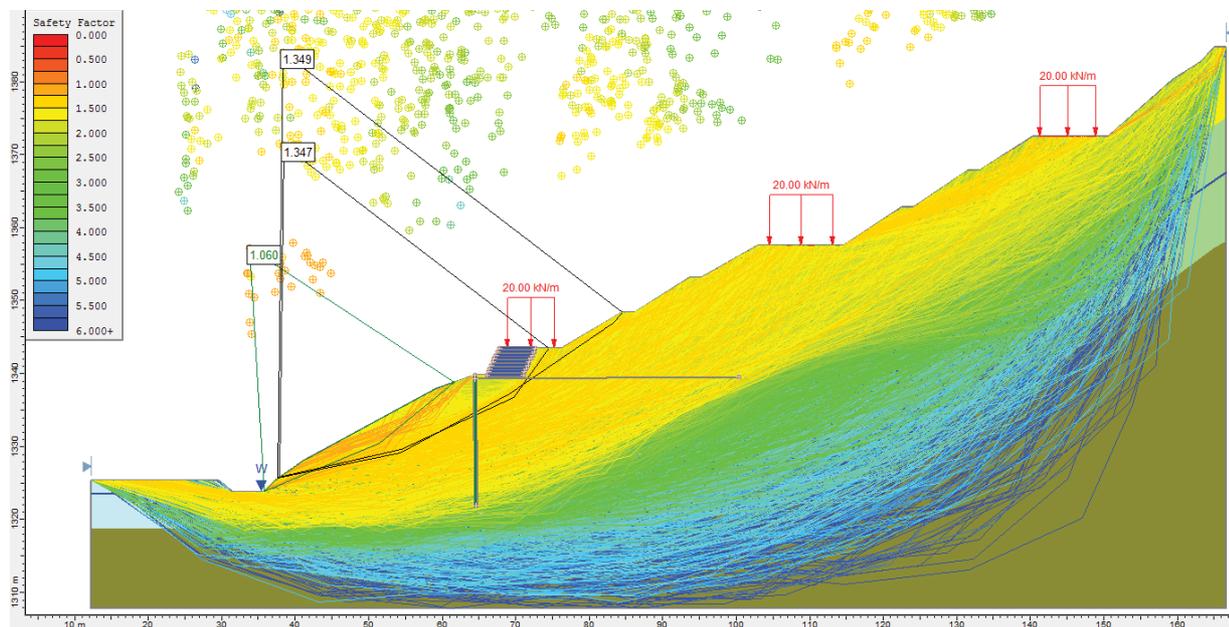


Fig. 15 – Verifica di stabilità del versante a seguito dell'inserimento di un'opera di consolidamento al piede lungo la sez. 10.

Pertanto l'opera di consolidamento appare sicuramente necessaria per garantire maggiori condizioni di stabilità globale; si segnalano, comunque, numerose superfici di scivolamento prossime all'unità nelle porzioni più corticali del pendio, per la quali appare cruciale il rispetto dei parametri geotecnici assunti, oltre che la predisposizione di sistemi di rinverdimento e di drenaggio delle acque superficiali perfettamente funzionanti, senza generare situazioni di sovraccarico.

Oltre a ciò, si ritiene necessario procedere in ogni caso alla riparazione della scogliera in massi posta alla base del pendio, avente comunque una funzione principale anti-erosiva.

## 5.9 PRESCRIZIONI GEOTECNICHE IN FASE ESECUTIVA

I parametri geotecnici utilizzati nel presente studio dovranno essere oggetto di verifica in fase esecutiva ed a cantiere aperto. A questo scopo nelle fasi iniziali di preparazione delle superfici di appoggio del materiale di smarino sarà possibile investigare più agevolmente e adeguatamente il terreno naturale e artificiale in posto.

In particolare in corrispondenza del terrapieno artificiale esistente si ritiene opportuno procedere all'esecuzione di indagini ulteriori al fine di individuare masse non compatibili con le caratteristiche di portanza richieste dal progetto di rimodellamento mediante posa di materiale aggiuntivo. Nel caso di individuazione e rinvenimento di tali materiali scadenti o comunque non compatibili, essi dovranno essere rimossi e portati a discarica.

Tutti gli strumenti, inclinometri e piezometri, installati in questa fase di progetto definitivo dovranno essere oggetto di regolare controllo nel tempo, sia in questo periodo di conclusione dell'iter progettuale sia successivamente all'inizio lavori, per il monitoraggio dei livelli della falda e di eventuali cedimenti che dovessero nel contempo manifestarsi; a questo proposito gli strumenti già posizionati risultano localizzati in modo da poter essere conservati nel tempo anche durante le fasi di lavorazione, ed altri potranno essere installati in un secondo momento.

Azione assolutamente indispensabile sarà volta ad accertare nel modo più accurato le effettive caratteristiche geotecniche del materiale di smarino che sarà utilizzato per la realizzazione del rimodellamento, al momento solo ipotizzate sulla base di una sola analisi di laboratorio effettuata su campione di terreno prelevato sul lato francese del tunnel già in corso di realizzazione, derivante dalla stessa metodologia di scavo tramite TBM. I parametri non potranno scendere significativamente al di sotto di quelli utilizzati nella presente analisi.

Allo scopo dovrà essere implementato un sistema di caratterizzazione e controllo iniziale e periodico, da effettuarsi sul materiale progressivamente scavato e temporaneamente stoccato nell'area di cantiere, al fine di verificare in itinere la permanenza delle condizioni di accettabilità dello stesso, sotto la supervisione della D.L. Tutti i monitoraggi avverranno in conformità a quanto previsto dal progetto esecutivo approvato.

La caratterizzazione geotecnica in corso d'opera del materiale già disponibile e di quello successivamente proveniente dallo scavo della galleria sarà effettuato al fine di accertare:

- la litologia onde evitare la messa in rilevato di litotipi non idonei (es. caratterizzati da curve granulometriche significativamente differenti e percentuale di fino superiore a quella caratteristica del campione di laboratorio preventivo analizzato);
- la presenza delle condizioni di accettabilità secondo la normativa vigente.

Si ricorda che questo materiale andrà classificato come terre e rocce da scavo e come tale dovrà essere trattato. In caso di presenza di serpentiniti potenzialmente asbestifere si dovrà procedere al campionamento e rilevamento dei parametri sul campo, alla preparazione dei campioni per i laboratori, alla analisi secondo la vigente normativa, al monitoraggio delle fibre aerodisperse.

I parametri geotecnici derivanti dai controlli (il prelievo sarà effettuato su accumuli di circa 5000mc separati ed utilizzabili solo dopo gli accertamenti) permetteranno di effettuare in continuo un controllo delle verifiche di stabilità effettuate inizialmente sul progetto esecutivo del rilevato.

I rilevati saranno oggetto di monitoraggio strumentale periodico sia durante la loro realizzazione sia successivamente attraverso la messa in opera di caposaldi per misure topografiche di precisione, ed esecuzione di verticali inclinometriche nonché la posa in opera di estensimetri e forme di monitoraggio dei rilevati che consentiranno di verificare:

- il normale assestamento per compattazione del materiale riportato in rapporto al progressivo accrescimento del rilevato;
- il suo esaurirsi nel tempo a lavori ultimati;

- la eventuale deformazione del rilevato rispetto alla geometria iniziale.

Prima dell'inizio della preparazione del piano di appoggio si prescrive innanzitutto di procedere ad una scoticatura del terreno superficiale, in particolare laddove costituito da terreno di tipo vegetale poco consistente (quest'ultimo da accantonare ed utilizzare per il rinverdimento finale). A tale operazione seguirà una gradonatura della superficie di appoggio, con pedate in leggera contropendenza (almeno 1/2 gradi) ed alzate non superiori a 1.5/2 m.

Lo stendimento del materiale di riporto dovrà avvenire in strati di spessore massimo 40/50 cm, con idonea rullatura al fine di ottenere la massima compattazione ottenibile; si dovrà comunque porre la massima attenzione nel non eccedere con la rullatura per non peggiorare le caratteristiche del materiale detritico disponibile, a composizione prevalente di tipo calcareo, conseguente a frantumazione dello scheletro in elementi più minuti.

Al fine di verificare la ottimale compattazione del materiale, sia quello di appoggio iniziale sia quello di riporto, sarà necessario prevedere prove di tipo Proctor; tali prove serviranno per caratterizzare il materiale iniziale, per valutare in particolare le condizioni di umidità ideali ed il numero di rullate ottimale necessario, e dovranno essere ripetute, secondo le indicazioni della Direzione Lavori, ogni qualvolta venga osservata una variazione significativa delle caratteristiche fisiche del materiale di smarino, attraverso le necessarie periodiche prove di tipo granulometrico.

Nella preparazione della gradonatura di appoggio, ma anche nella disposizione degli strati di materiale di smarino successivi si prescrive l'esecuzione di prove su piastra. Queste analisi andranno effettuate a campione sull'intera impronta dell'intervento di rimodellamento in progetto, concentrando in particolare l'azione di prova nelle fasi iniziali della messa in posto; esse dovranno essere effettuate ogni 4 passate di materiale di riporto, e non potranno essere in numero inferiore a 6 ogni ciclo di 4 strati, sull'intera superficie. I valori di prova minimi accettabili per queste prove dovranno fare riferimento alla normativa vigente.

Al piede del terrapieno esistente si dovrà ripristinare la scogliera in massi esistente, sia con funzione antiersiva da parte delle acque, sia per fornire un certo sostegno al piede della scarpata. Tale opera in ogni caso non potrà da sola svolgere quest'ultima funzione, che viene demandata principalmente ad una opera ben più consistente, tipo paratia con pali di grande diametro e tiranti, che il progetto prevede posizionata sul ciglio del terrapieno.

Un completo sistema di raccolta e di drenaggio delle acque superficiali meteoriche impedirà che le stesse possano infiltrarsi e peggiorare il comportamento geotecnico dei terreni naturali di appoggio e degli stessi di riporto. Il progetto prevede la realizzazione di un completo sistema di canalette e fossi di guardia su tutta la superficie di rimodellamento, in grado di raccogliere le acque meteoriche e di scorrimento superficiale, sia sotto forma diffusa che incanalata. Il sistema impedirà in particolare che le acque incanalate degli impluvi sottesi possano andare a disperdersi in modo incontrollato sulla superficie di rimodellamento e s andando ad innalzare il livello piezometrico della falda. Tutti gli scarichi saranno condotti fino all'alveo del T. Rochemolles evitando fenomeni di erosione incanalata.

Per tutte le opere eseguite dovrà essere garantita nel tempo un'azione di manutenzione continua.

Alla fine delle operazioni di rimodellamento del vallo sarà effettuato il rivestimento dell'opera per garantire idonea rivegetazione e protezione nei confronti dei fenomeni erosivi superficiali connessi agli agenti meteorici.

## 6 CONCLUSIONI

Riassumendo quanto sopra esposto, alla luce delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area in esame e delle considerazioni esposte nella presente relazione, la realizzazione dell'intervento di rimodellamento in progetto, pur presentando non trascurabili criticità, appare fattibile previo rispetto delle assunzioni geotecniche contenute nel presente progetto definitivo e previa realizzazione di adeguate opere di sostegno e consolidamento del terrapieno esistente.

La presunta eterogenea e scadente qualità dei materiali detritici costituenti l'esistente accumulo artificiale, che rappresenterà la superficie di appoggio dell'intervento di rimodellamento ma che non risulta completamente costituito da materiale di smarino dotato di buone caratteristiche fisiche, appare essere l'elemento più critico rispetto alla fattibilità dell'intervento; i dati geognostici e le stesse valutazioni di stabilità contenute nel presente rapporto hanno portato a proporre la realizzazione di una struttura di sostegno e rinforzo, consistente, come da progetto, in una paratia formata da pali di grande diametro con travi di ancoraggio e tiranti, in grado di fornire maggiore solidità ed omogeneità di comportamento.

Si dovrà comunque preventivare che l'intervento, nel suo complesso, potrà subire, in particolare nei primi tempi, fenomeni di progressiva compattazione ed assestamento dei terreni, mantenendo tuttavia intatta la sua funzionalità. Per materiali granulari del tipo di quelli riscontrati nei sondaggi, non si preventivano normalmente cedimenti elevati; tuttavia l'indeterminatezza nella reale composizione potrebbe rappresentare un'incognita che dovrà essere considerata ed affrontata adeguatamente con ulteriori approfondimenti in fase esecutiva.

La falda acquifera è stata rinvenuta nei sondaggi inferiori (S02 e S03) ad una profondità correlabile con quella del pelo libero del corso d'acqua, almeno al momento dei rilievi effettuati nel mese di dicembre. Sul versante, invece, la presenza di acqua di scorrimento sotterraneo appare più discontinua e meno consistente, anche se i sondaggi hanno individuato segni di umidità all'interfaccia substrato-copertura quaternaria, a profondità intorno ai 15-20 m dalla superficie.

A monte del sito di intervento il pendio è interessato dalla presenza di alcuni impluvi che raccolgono ed incanalano le acque di ruscellamento superficiale, mentre almeno al momento del sopralluogo non è stata rilevata la presenza di venute d'acqua dal sottosuolo.

Il contenimento massimo della quantità d'acqua di infiltrazione nel terreno di appoggio, così come nello stesso terreno di rimodellamento, appare comunque cruciale per il mantenimento delle ottimali condizioni di stabilità dei riporti di terreno e delle scarpate.

Il sistema di raccolta e di drenaggio delle acque superficiali meteoriche previsto nel progetto, acque la cui presenza è prevedibile in particolare in concomitanza del periodo primaverile ed autunnale, risulta idoneo ad impedire che le stesse possano infiltrarsi e peggiorare il comportamento geotecnico dei terreni naturali di appoggio e degli stessi di riporto.

Le verifiche di stabilità, eseguite ai sensi della recente normativa sismica, restituiscono dei valori del fattore di sicurezza appena superiori all'unità, valori che migliorano tuttavia in maniera significativa con l'adozione dell'intervento di consolidamento sopradescritto del rilevato artificiale esistente, e pertanto possono essere definite come verificate, così come avviene per le opere in terra rinforzata.

Particolare cura dovrà essere posta alla compattazione del materiale utilizzato proveniente dalla smarino della galleria del Frejus. Le verifiche effettuate con il presente studio geotecnico fanno riferimento a parametri relativi ad un'unica analisi geotecnica di laboratorio di materiali assimilabili provenienti dal lato francese dello scavo del tunnel.

L'assunzione di tali parametri è alla base delle scelte progettuali; pertanto la caratterizzazione dei materiali di utilizzo e la loro corrispondenza con quelli assunti nel presente studio dovrà essere verificata al momento in cui sarà effettivamente disponibile il materiale proveniente dallo scavo della galleria lato Italia; le sue caratteristiche dovranno essere certificate tramite prelievo ed analisi di laboratorio su campioni di terreno da effettuare ogni 5.000 mc (come minimo) di smarino trasportato nel sito di cantiere. In particolare, il valore di resistenza al taglio non potrà essere inferiore a quello utilizzato per le presenti verifiche. Il valore di coesione dovrà essere a sua volta garantito con le operazioni di messa in posto e compattazione.

## 7 INQUADRAMENTO VEGETAZIONALE E USO DEL SUOLO

A livello di inquadramento geografico l'intervento interessa il versante sinistro della parte terminale della valle di Rochemolles, a monte del concentrico di Bardonecchia. Dal punto di vista vegetazionale, a livello di area vasta, è stato analizzato il tratto di valle compreso tra lo sbocco, in corrispondenza dell'imbocco sud del traforo, a quota 1300 m circa e la frazione di Les Issard, posta a circa 1450 m.

Risulta evidente una netta differenza tra i due versanti:

- il versante sinistro, esposto a nord ovest, è caratterizzato fino a circa 1500 m di quota, da una formazione pressoché continua di pino silvestre, in parte naturale ed in parte originata da rimboschimenti; a monte sono presenti abetine fino a circa 1800 m, quota oltre la quale si sviluppa il lariceto. Nella porzione di versante più a sud i popolamenti forestali sono inframmezzati alle piste da sci ed agli impianti di risalita.
- Il versante destro, esposto a sud est, è caratterizzato dall'alternanza di pareti rocciose e macereti con prato pascoli e praterie montane; fa eccezione il tratto iniziale, a monte dell'imbocco sud del tunnel, ove sono presenti alcuni rimboschimenti su materiale di riporto.

Dal punto di vista delle funzioni del bosco, i popolamenti che si sviluppano lungo la parte basale del versante, in questo caso in sinistra, hanno funzione protettiva, mentre oltre quota 1400 m circa la funzione risulta essere produttiva o mista protettiva-produttiva.

Le opere in progetto interessano, oltre ad un'area di incolto, una superficie boscata ascrivibile alla pineta di pino silvestre, presente sia a monte della strada che nel tratto compreso tra la provinciale e le difese spondali lungo il torrente.

Viste le caratteristiche del popolamento si tratta presumibilmente di un rimboschimento di pino silvestre, la cui età, in base alle vicende dell'area ed alle caratteristiche del popolamento, risulta stimabile in 25-30 anni.

Il popolamento risulta essere una perticaia coetaneiforme, con elevata densità e copertura colma, struttura monopiana e tessitura omogenea.

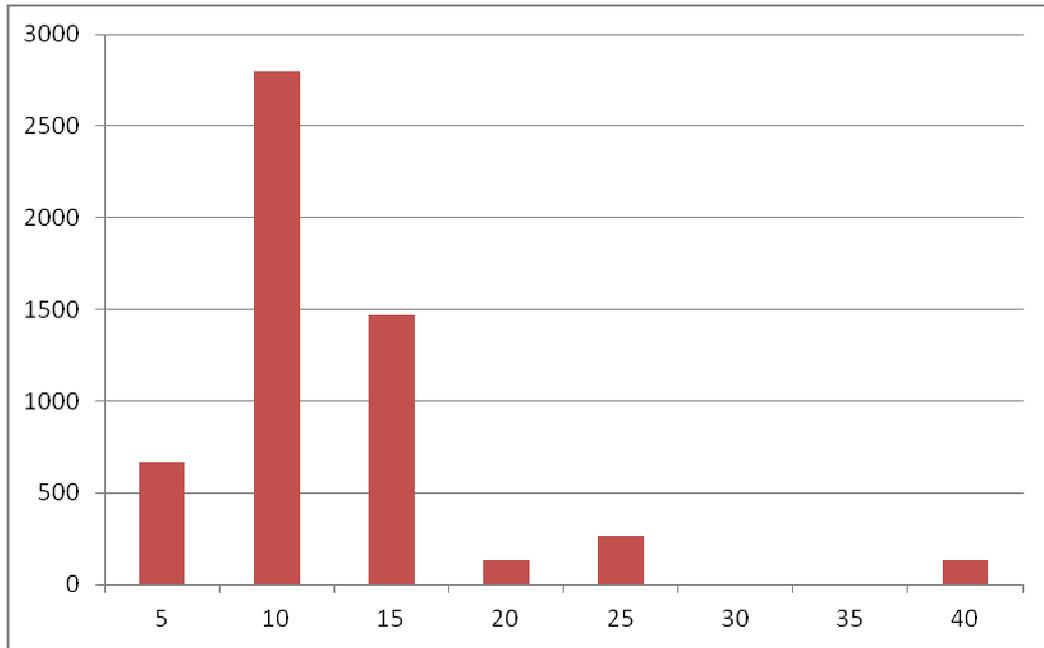
Risulta assente un sottobosco propriamente detto, il piano dominato, infatti, è costituito da esemplari dominati o rinnovazione di pino silvestre, talora abbondante.

Al fine di caratterizzare il popolamento è stata condotta un'area di saggio, posta a monte della SP235 a quota 1340m circa di quota, da cui risultano i seguenti parametri fisici e dendrometrici:

superficie dell'area di saggio	100 mq
pendenza media della stazione	90%
superficie ragguagliata	75 mq

Densità (piante/ha)	5470
area basimetrica (mq/ha)	79,5
area basimetrica media (mq)	0,0145
diametro medio (cm)	14
altezza dell'albero di area basimetrica media (m)	8,7
altezza dominante (m)	10,6
Volume corno metrico (mc/ha)	335

Nel grafico è riportata la distribuzione diametrica per classi della fustaia di pino silvestre per ettaro di superficie.



## 8 INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

Dal punto di vista pedologico l'area di intervento risulta caratterizzata dalla presenza di entisuoli di montagna, afferenti all'unità 00431 della carta dei suoli a scala 1:250.000 della Regione Piemonte, di cui si riporta una sintesi.

### Descrizione del paesaggio e della genesi dei suoli

*Versanti relativamente uniformi e mediamente pendenti, caratterizzati da una discreta stabilità superficiale che comunque pare non essere stata sufficiente per consentire l'evoluzione pedogenetica dei suoli. Per ciò che concerne le litologie di partenza i calcescisti sono prevalenti ma sono anche da segnalare micascisti.*

*L'uso del suolo è per lo più costituito da boschi di conifere (pino silvestre, abete rosso e larice), nelle aree più elevate in quota si alternano aree pascolive ad aree invase da vegetazione arbustiva e/o forestale. Da segnalare nelle delineazioni più basse in quota ed esposte a sud la presenza di boschi di roverella.*

In dettaglio, si tratta di entisuoli, classificabili come Typic Udorthent, grossolani e calcarei, dei versanti montani.

### Descrizione sintetica

*Morfologia: suoli posti su versanti da mediamente a fortemente acclivi, situati a quota inferiore ai 2000 m s.l.m., su aree nelle quali è molto evidente l'effetto dell'azione di erosione e deposizione da parte delle acque. Sono infatti spesso frequenti, accanto a suoli riferibili a questa tipologia, ampie ed estese pietraie non colonizzate dalla vegetazione. Sono suoli non evoluti che non mostrano alcun orizzonte di alterazione proprio in conseguenza del continuo apporto ed asporto di materiali. Le litologie di partenza sono calcaree. L'uso del suolo è in parte lasciato ai pascoli rupicoli che di frequente, a causa dell'eccessiva pendenza, sono soprattutto sfruttati dagli animali selvatici e in parte al bosco di latifoglie (roverella soprattutto) e conifere (larice, pino silvestre e pino uncinato).*

*Suolo: suoli relativamente profondi (il contatto litico si situa oltre i 50 cm di profondità) ma con una profondità utile ridotta a circa 20-60 cm per l'abbondanza di scheletro. L'elevata percentuale di pietre, le tessiture relativamente grossolane e la pendenza rilevante sulla quale questa tipologia è posta, sono le premesse per una buona disponibilità di ossigeno; il drenaggio è moderatamente rapido o rapido e la permeabilità alta o moderatamente alta. L'orizzonte superficiale è nella maggior parte dei casi sottile, ha colori scuri per l'accumulo di sostanza organica (da bruno a bruno scuro), la tessitura varia da franca, a franco-limosa, a franco-sabbiosa, lo scheletro è presente con percentuali mediamente inferiori al 10%, la reazione è neutra o subalcalina ed il carbonato di calcio da assente a presente sino al 10%. Gli orizzonti sottostanti hanno colori tendenti al grigiastro o al bruno oliva (tipicamente litocromici), tessitura franco-sabbiosa, franca o sabbiosofranca, scheletro abbondante (solitamente maggiore del 35%), reazione subalcalina o alcalina e carbonato di calcio presente (spesso abbondante). Il substrato è formato da depositi pietrosi di origine colluviale, appartenenti in prevalenza a calcari, dolomie o calcescisti.*

### Note

*Nelle aree meno piovose può essere a volte descritto un orizzonte calcico in profondità. Questi suoli, nelle esposizioni più calde, possono ospitare specie tipiche del clima submediterraneo.*

### Cenni gestionali

*Suoli con limitazioni molto importanti che derivano dalla pendenza eccessiva delle superfici sulle quali si situano, dall'eccesso di scheletro e dalle condizioni climatiche sfavorevoli. Possono esclusivamente essere utilizzati per il bosco naturaliforme o il pascolo, anche se, in alcuni casi, la pendenza e la frequenza delle pietre in superficie, rendono difficile anche l'utilizzo pascolivo. Sono suoli dove trovano il loro optimum le specie che si avvantaggiano dell'abbondanza di calcio nel complesso di scambio.*

Si tratta di suoli afferenti alla VI classe di capacità d'uso, ovvero suoli adatti al pascolo ed alla forestazione, che presentano limitazioni severe, tali da renderli inadatti alla coltivazione e da restringere l'uso, seppur con qualche ostacolo, al pascolo, alla forestazione o come habitat naturale. Il principale fattore stazionale limitante è la pendenza (e1).

## 9 ANALISI DELLE INTERFERENZE

### 9.1 TAGLIO PIANTE ED INTERFERENZE CON LA VEGETAZIONE ED IL SUOLO

Nel presente paragrafo si è provveduto a quantificare le superfici oggetto di trasformazione d'uso ed il taglio piante necessario per la realizzazione dell'opera, si a livello di numero di esemplari abbattuti che di volume di legname ritraibile.

L'intervento ricade interamente in area soggetta a vincolo idrogeologico, si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle superfici interessate dai lavori, suddivisa per tipologia di uso del suolo.

	sup (ha)
<b>uso del suolo</b>	
incolto	0,39
pineta di pino silvestre	1,24
urbanizzato/sterile	0,52
<b>totale</b>	<b>2,15</b>

Applicando i parametri dendrometrici calcolati o stimati si ottengono i seguenti valori relativi al taglio piante:

	taglio piante		
	esemplari	area basimetrica (mq)	volume (mc)
pineta di pino silvestre	6000,0	87,0	370,0

Dal punto di vista pedologico, all'interno dell'area di intervento, gli unici suoli propriamente detti sono gli entisuoli presenti in corrispondenza della pineta di pino silvestre. Le restanti superfici sono in parte occupate dalla strada e dal magazzino comunale e, per la restante parte, da un piazzale incolto, realizzato su di un riporto di materiale inerte su cui non si è, al momento, evoluto uno strato di suolo.

I suoli in oggetto si presentano relativamente profondi, ma con una profondità utile ridotta per l'abbondanza di scheletro. L'elevata percentuale di pietre, le tessiture relativamente grossolane, soprattutto, la pendenza rilevante sono la causa principale del limitato sviluppo degli orizzonti superficiali.

La realizzazione degli interventi comporterà l'eliminazione degli strati di suolo propriamente detti, che saranno interessati dal riporto di materiale. Si ritiene che l'impiego di compost e terra agraria per la messa a dimora degli esemplari arborei, il rimboschimento stesso e l'idrosemina delle superfici potranno consentire, sul nuovo rilevato, la ripresa della pedogenesi e la ricostituzione di un nuovo strato di suolo.

### 9.2 VOLUMI DI SCAVO E RIPORTO

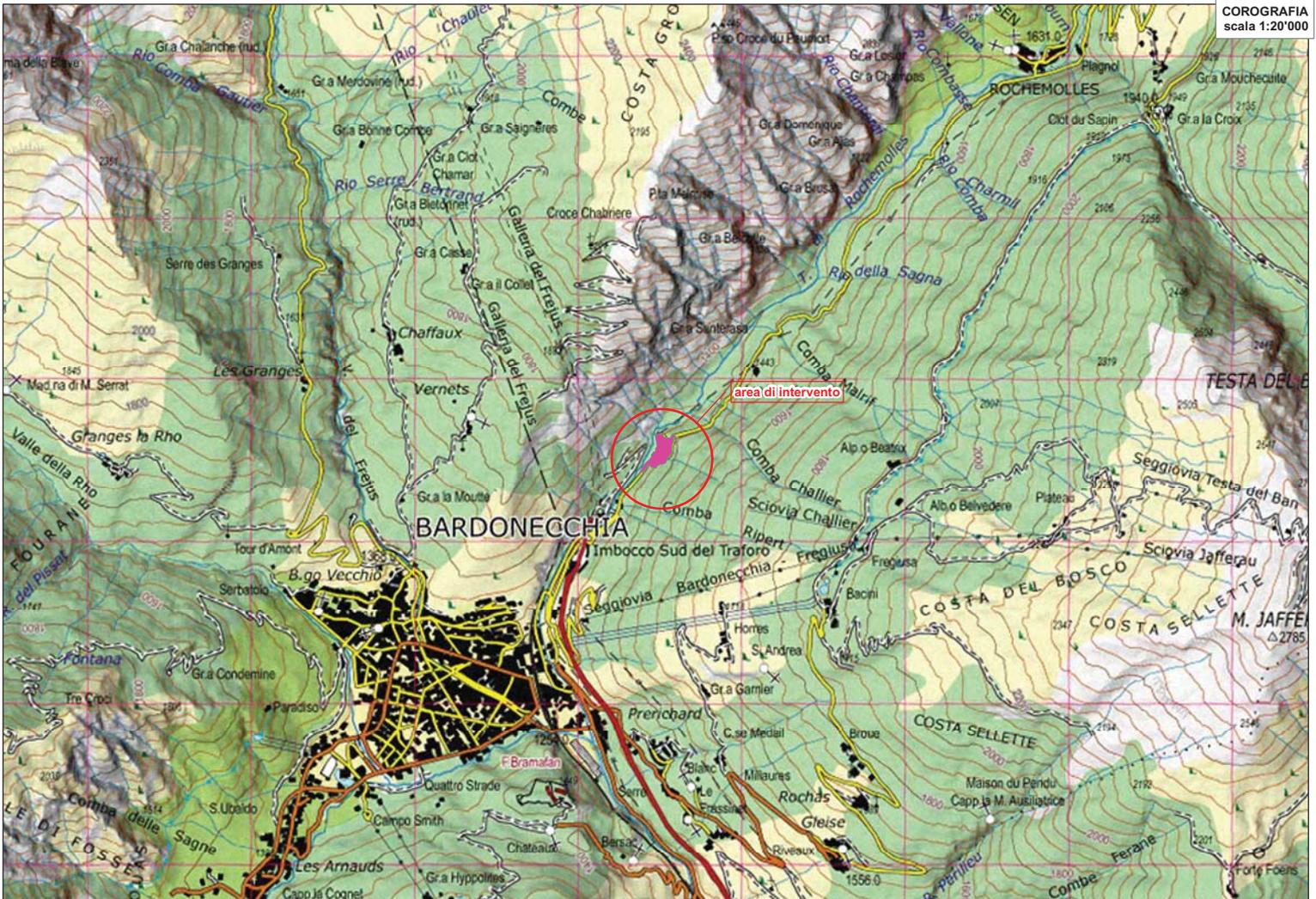
Si riporta la tabella di calcolo dei volumi.

COMPUTO DEI VOLUMI				
RILEVATO				
Sezione	Distanze	Area	Distanze	VOLUMI
	Progressive	Media	Parziali	Parziale
1	0.000	0,11		
			6	20
				127,22
2	20 000	13		

2	20 000	13			
			17	20	345,06
3	40 000	22			
3	40 000	22			
			18	20	356,97
4	60 000	14			
4	60 000	14			
			169	20	3387,49
5	80 000	325			
5	80 000	325			
			387	20	7743,48
6	100 000	449			
6	100 000	449			
			601	20	12012,48
7	120 000	752			
7	120 000	752			
			752	10	7647,777512
8	140 000	717			
8	140 000	717			
			1 029	20	20583,19
9	160 000	1 341			
9	160 000	1 341			
			1 090	20	21808,88
10	180 000	840			
10	180 000	840			
			719	20	14380,34
11	200 000	598			
11	200 000	598			
			675	20	13507,29
12	220 000	753			
12	220 000	753			
			484	20	9684,48
13	240 000	216			
13	240 000	216			
			108	21	2266,2465
0	250 000	0			
					volumi totali di riporto
			totali		113 850,90

## 10 ALLEGATI

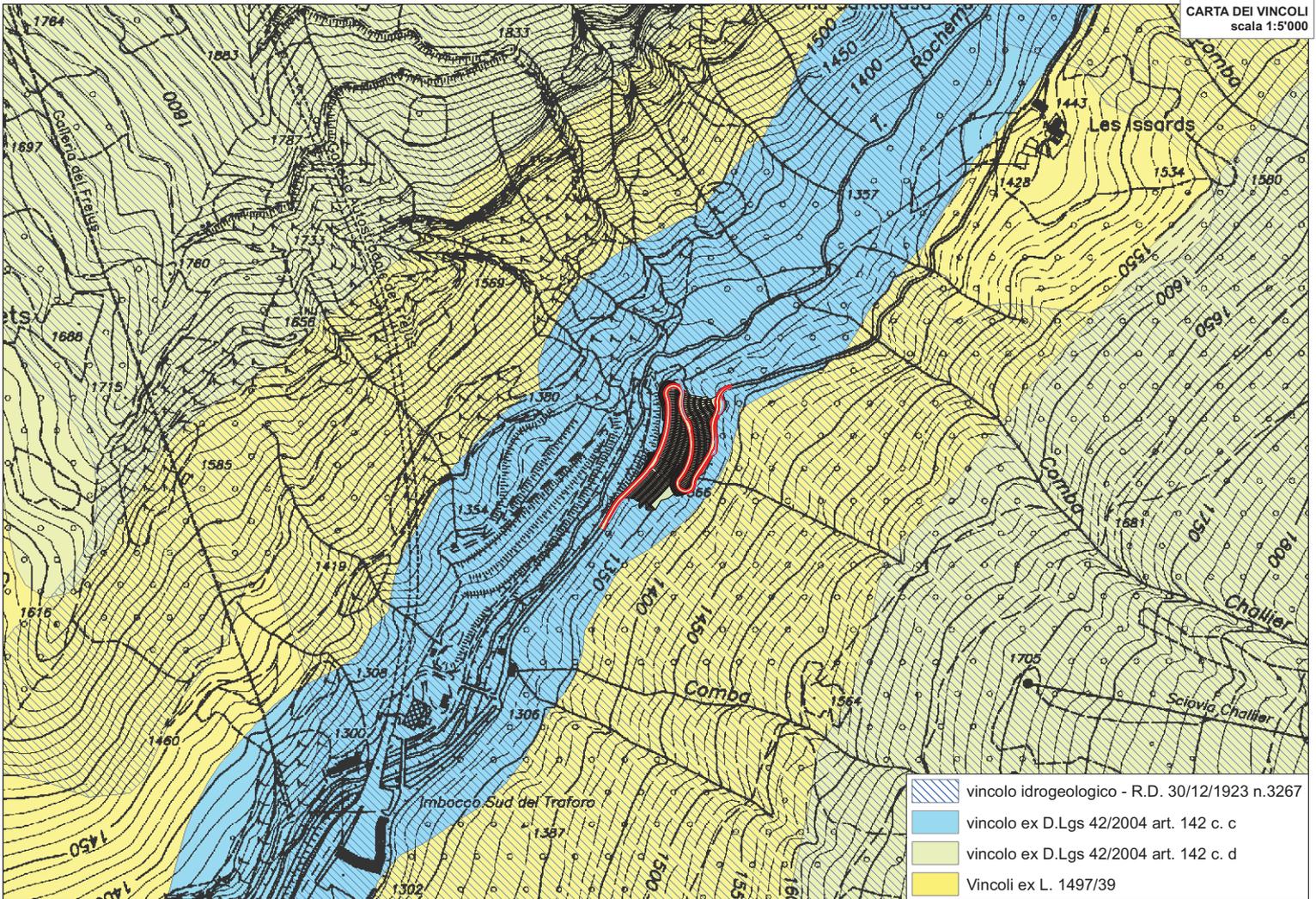
- COROGRAFIA
- INQUADRAMENTO SU CARTA TECNICA REGIONALE
- INQUADRAMENTO SU ORTOFOTO
- CARTA DEI VINCOLI
- INQUADRAMENTO SU PRGC (AZZONAMENTI)
- CARTA DELL'USO DEL SUOLO E DEI TIPI FORESTALI
- CARTA DELLA VEGETAZIONE RILEVATA
- CARTA DELLA VEGETAZIONE RILEVATA NELL'AREA DI INTERVENTO
- CARTA DELLE DESTINAZIONI ED OBIETTIVI SELVICOLTURALI
- CARTA DEI SUOLI E DELLA CAPACITA' D'USO

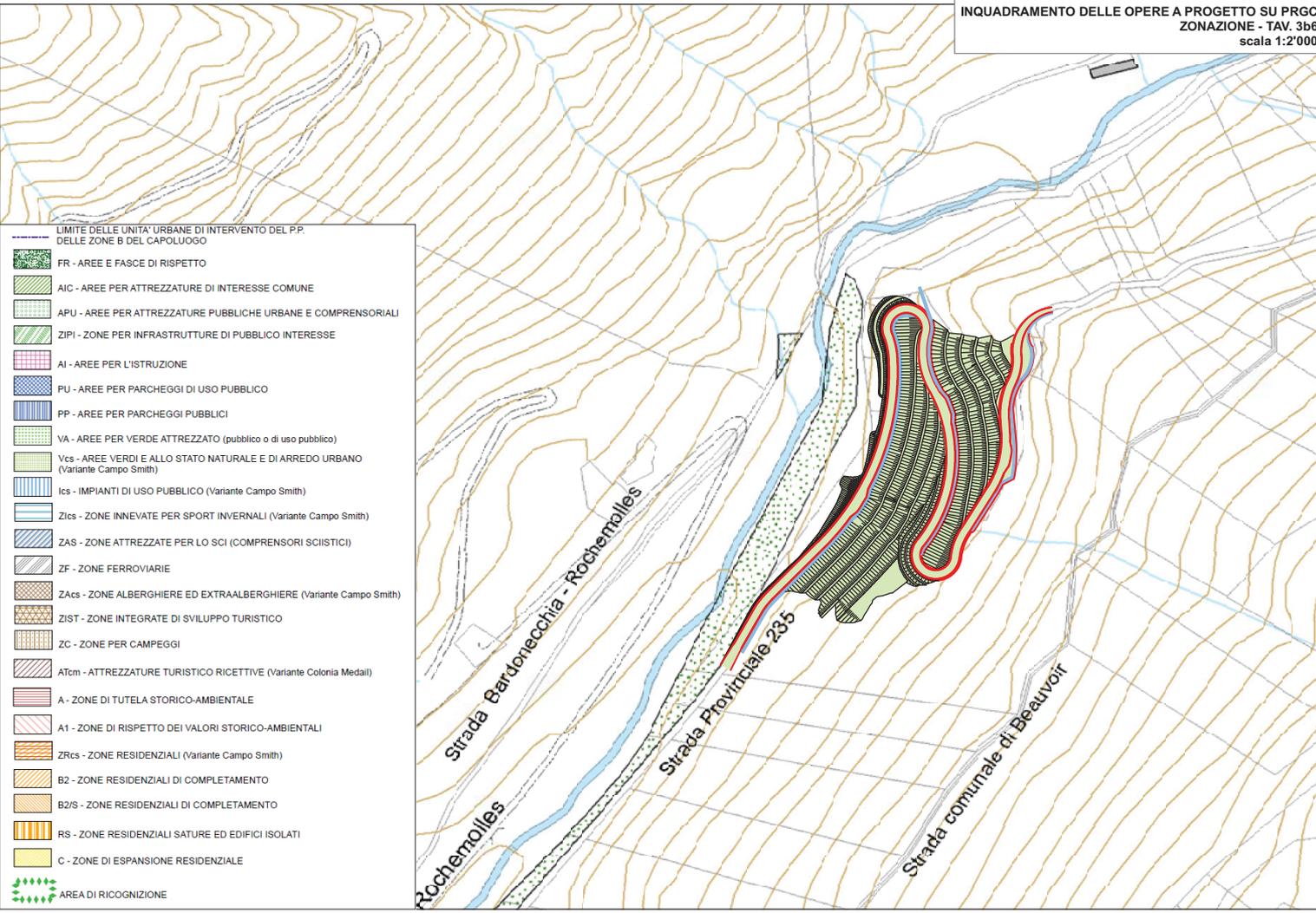




INQUADRAMENTO SU ORTOFOTO  
scala 1:2'000







- LIMITE DELLE UNITA' URBANE DI INTERVENTO DEL P.P. DELLE ZONE B DEL CAPOLUOGO
- FR - AREE E FASCE DI RISPETTO
  - AIC - AREE PER ATTREZZATURE DI INTERESSE COMUNE
  - APU - AREE PER ATTREZZATURE PUBBLICHE URBANE E COMPENSORIALI
  - ZIPI - ZONE PER INFRASTRUTTURE DI PUBBLICO INTERESSE
  - AI - AREE PER L'ISTRUZIONE
  - PU - AREE PER PARCHEGGI DI USO PUBBLICO
  - PP - AREE PER PARCHEGGI PUBBLICI
  - VA - AREE PER VERDE ATTREZZATO (pubblico o di uso pubblico)
  - Ves - AREE VERDI E ALLO STATO NATURALE E DI ARREDO URBANO (Variante Campo Smith)
  - Ics - IMPIANTI DI USO PUBBLICO (Variante Campo Smith)
  - Zics - ZONE INNEVATE PER SPORT INVERNALI (Variante Campo Smith)
  - ZAS - ZONE ATTREZZATE PER LO SCI (COMPENSORI SCIISTICI)
  - ZF - ZONE FERROVIARIE
  - ZAcS - ZONE ALBERGHIERE ED EXTRAALBERGHIERE (Variante Campo Smith)
  - ZIST - ZONE INTEGRATE DI SVILUPPO TURISTICO
  - ZC - ZONE PER CAMPEGGI
  - ATcm - ATTREZZATURE TURISTICO RICETTIVE (Variante Colonia Medail)
  - A - ZONE DI TUTELA STORICO-AMBIENTALE
  - A1 - ZONE DI RISPETTO DEI VALORI STORICO-AMBIENTALI
  - ZRes - ZONE RESIDENZIALI (Variante Campo Smith)
  - B2 - ZONE RESIDENZIALI DI COMPLETAMENTO
  - B2IS - ZONE RESIDENZIALI DI COMPLETAMENTO
  - RS - ZONE RESIDENZIALI SATURE ED EDIFICI ISOLATI
  - C - ZONE DI ESPANSIONE RESIDENZIALE
  - AREA DI RICOGNIZIONE

