



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.Iva 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

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

PROGETTO DEFINITIVO Sito Rochemolles

SITAF SpA
 per approvazione
 Il Direttore Tecnico
 (Dott. Ing. Ernesto MAGRI)

Relazione geologica-geotecnica

Scala -	0377_111_12_D26EG002.1_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	
--	--

Il Responsabile del progetto MUSINET ENGINEERING S.p.A. Dott. Arch. Corrado Giovannetti	N° TAVOLA <h1>2.1</h1>
---	---------------------------

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 GEOTECNICA

SOMMARIO

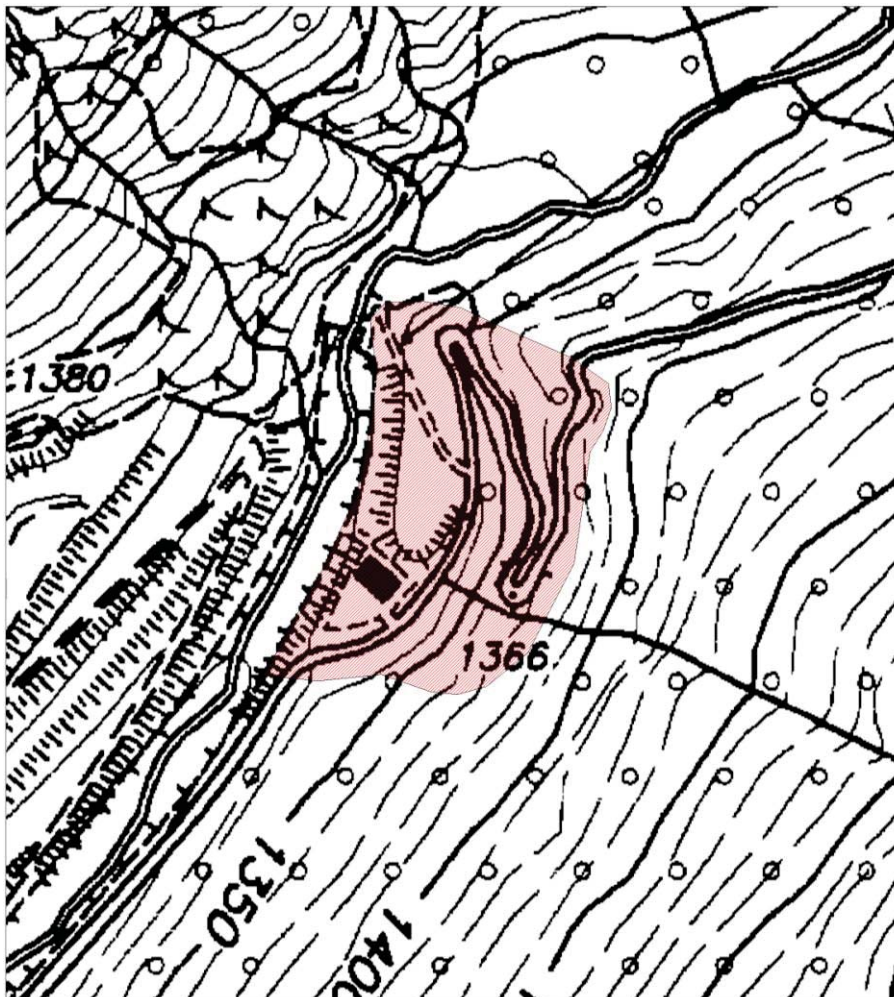
1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	VINCOLI E COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO CON LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA	4
3.1	PIANIFICAZIONE URBANISTICA.....	4
4	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	6
5	CARATTERI GEOLOGICI REGIONALI	6
5.1	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	6
5.2	STRUTTURA GEOTETTONICA REGIONALE.....	7
5.3	ASSETTO GEOLITOLOGICO REGIONALE	8
5.4	TERRENI DI COPERTURA QUATERNARIA	16
6	ASSETTO GEOMORFOLOGICO LOCALE	17
7	FENOMENI DI PERICOLO DA VALANGA	18
8	CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO DI INTERVENTO	18
9	METODOLOGIA E CARATTERISTICHE DELLO STUDIO CONDOTTO	20
9.1	BASI TOPOGRAFICHE UTILIZZATE	20
10	CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE	20
10.1	SONDAGGI GEOGNOSTICI	20
10.1.1	Stratigrafie	21
10.1.2	Prove SPT	22
10.1.3	Assetto idrogeologico.....	25
10.2	POZZETTI ESPLORATIVI.....	26
10.3	INDAGINI GEOFISICHE.....	28
10.4	ANALISI DI LABORATORIO	35
11	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	36
11.1	TERRENO DI FONDAZIONE	36
12	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI UTILIZZATI PER LA COSTRUZIONE DEL NUOVO RIMODELLAMENTO DEL PENDIO.....	39
12.1	DEFINIZIONE VALORI CARATTERISTICI	40
12.2	DEFINIZIONE DEI VALORI DI PROGETTO	40
13	AZIONE SISMICA.....	42
14	VERIFICHE DI STABILITA'	46
14.1	IMPOSTAZIONI CONCETTUALI DEL PROBLEMA E MODELLO DI CALCOLO	46
14.2	VERIFICA DELLE SEZIONI	47
14.3	VERIFICHE DELLE CONDIZIONI DI STABILITÀ CON INSERIMENTO DI OPERE DI CONSOLIDAMENTO	55
15	PRESCRIZIONI IN FASE ESECUTIVA.....	58
16	CONCLUSIONI	60
17	ALLEGATI	62

1 PREMESSA

La presente relazione geologica e geotecnica 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 di 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).

Per verificare le condizioni di stabilità degli interventi in progetto in relazione al terreno di appoggio sono state condotte indagini geognostiche specifiche in situ, sulla base delle quali sono poi state eseguite le necessarie analisi di tipo geotecnico così come prescritto dalla normativa vigente.



2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Circolare 02/02/2009 “ Istruzione C.S.LL.PP. per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 Gennaio 2008;

- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.29 –Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008);
- D.M. 14/09/2005 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.222 del 23 settembre 2005);
- EC7_UNI-ENV-1997 : “Progettazione geotecnica”;
- D.M. LL.PP. 11/03/1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Circ. Min. LL.PP 24/09/88 n.30483. Legge 02/02/74, n.64 art.1. D.M. 11/03/1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l’applicazione”.
- D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)".
- Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici “Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”.
- Eurocodice 8 (1998) Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003).

3 VINCOLI E COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO CON LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA

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).

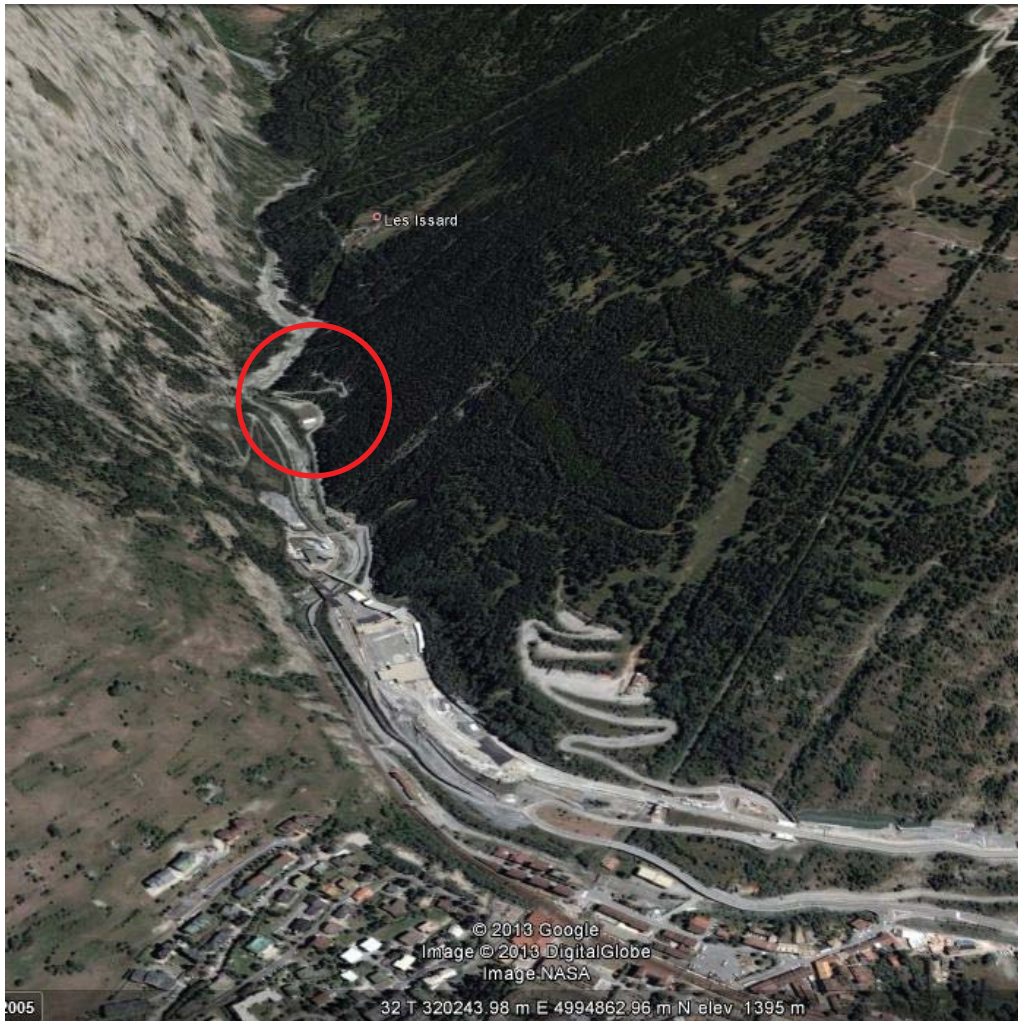
3.1 PIANIFICAZIONE URBANISTICA

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 azionamenti:

- *area classificata come AGRICOLA area Agricola E” normata dall’art. 22 e dall’art. 13 delle NTA*
- *area soggetta a vincolo FR “aree e fasce di rispetto” normate dagli artt. 36 e 39 delle NTA*

Sotto il profilo della classificazione della pericolosità idrogeologica le aree 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.*



Estratti fotografici da Google Earth

4 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.

5 CARATTERI GEOLOGICI REGIONALI

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*;

5.2 STRUTTURA GEOTETTONICA REGIONALE

L'Alta Valle Susa si sviluppa all'interno di un settore della catena alpina interessato da una lunga e complessa storia deformativa, non ancora completamente esaurita, caratterizzata da fasi antiche con stili deformativi di tipo duttile e fasi più recenti (periodo tardo-orogenico alpino) di tipo fragile.

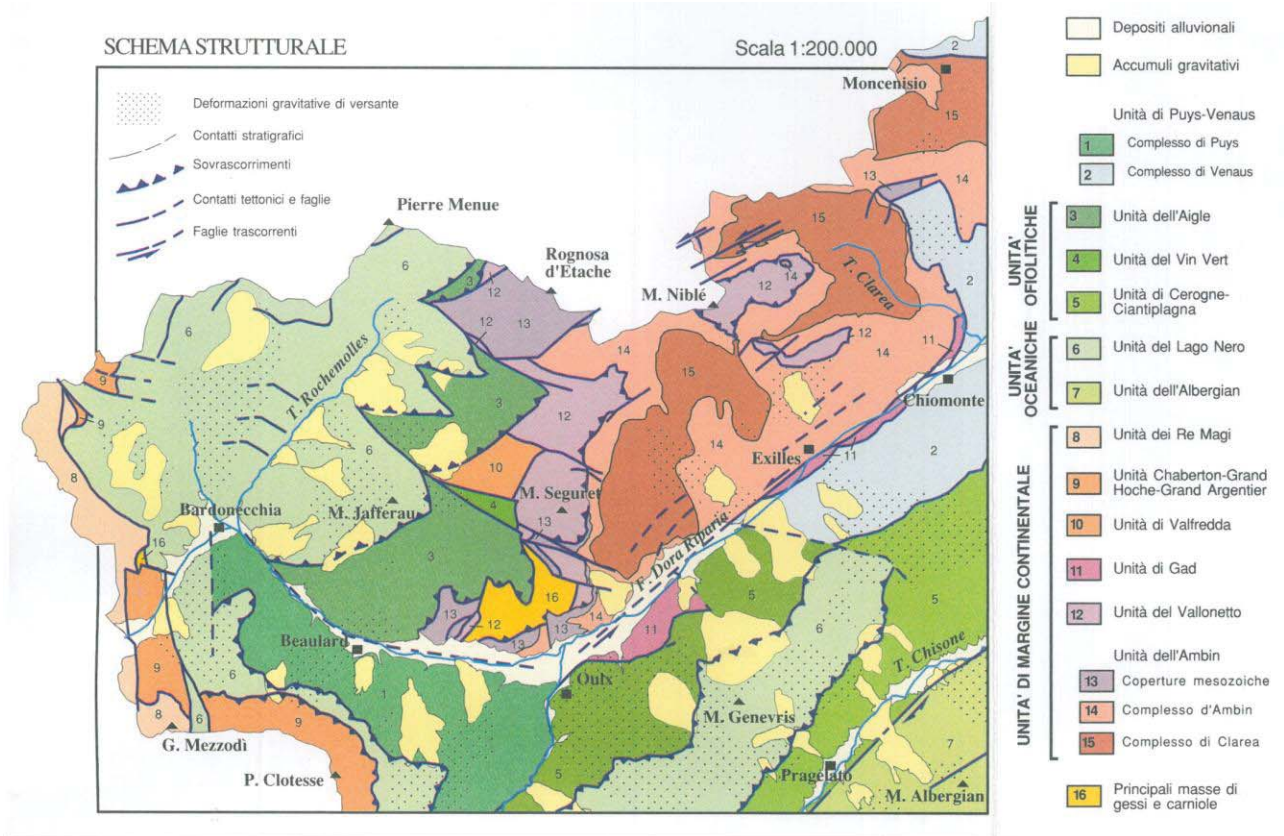
L'evoluzione strutturale recente della catena è caratterizzata da una intensa deformazione di tipo fragile, che si manifesta con una serie di discontinuità meccaniche che condizionano i principali tratti morfologici del territorio e il comportamento geomeccanico dell'ammasso roccioso. Più precisamente sono individuati alcuni sistemi principali di faglie, la cui orientazione media è N60° e N100°/N140°. Il sistema diretto N60°, con distribuzione dei valori di direzione tra N40° e N70°, presenta sistemi coniugati di tipo distensivo con piani immergenti a NW e SE e marcate evidenze di movimenti trascorrenti sinistri. Il sistema diretto N100°/N140° mostra un debole carattere trascorrente destro ed evidenze di distensione con prevalente ribassamento dei lati meridionali.

Nell'area in esame ricopre un ruolo fondamentale la "neotettonica", ovvero lo studio dell'evoluzione geodinamica recente estesa ad un intervallo di tempo sufficiente per inquadrare correttamente la tettonica in atto, e, permettere valutazioni sugli attuali tassi di deformazione crostale. L'evoluzione tettonica delle alpi occidentali, nonostante la lunga e complessa storia deformativa, non risulta esaurita ed i movimenti di origine tettonica, sebbene di intensità molto minore, sono ancora in grado di determinare effetti rilevanti, come ad esempio l'attività sismica della bassa Val di Susa e del Pinerolese, e l'impostazione delle grandi deformazioni gravitative presenti sui versanti dell'alta Valle Susa.

Lo studio dell'attività neotettonica svolto nell'ambito della elaborazione del Foglio geologico 153 - Bardonecchia, si è basato sull'analisi strutturale delle deformazioni tettoniche che interessano le formazioni superficiali o che presentano indicatori cinematici a carattere superficiale. Evidenze strutturali, stratigrafiche e morfologiche relative all'evoluzione neotettonica sono state rilevate lungo una fascia ad ampiezza chilometrica, a direzione N60°E, che comprende i settori delle Valli Susa e Chisone e del relativo spartiacque. All'interno di questa fascia sono presenti deformazioni superficiali e faglie subverticali con direzioni prevalenti N60°E e N120°E.

Nel substrato roccioso queste faglie tagliano tutte le discontinuità strutturali rilevabili, interessando a volte anche le coperture superficiali. Gli stessi sistemi di discontinuità fragili più frequenti definiscono le aree di maggiore concentrazione dei depositi quaternari e delimitano molti accumuli gravitativi.

In particolare, l'incisione percorsa dalla Dora corrisponde ad una successione di faglie trascorrenti individuate tra Susa ed Oulx, Oulx e Beaulard, Beaulard e Bardonecchia. Il settore in sinistra della valle è inoltre dislocato da importanti elementi distensivi con andamento N120°E. queste evidenze lasciano supporre che questo settore alpino abbia registrato recenti episodi di deformazione. La concentrazione di frane e deformazioni gravitative profonde che caratterizzano il settore Susa-Chisone potrebbe testimoniare anche che il principale campo di sforzi individuato, la zona di taglio in transtensione orientata N60°E, interagisce con la morfogenesi attuale (GIARDINO & POLINO, 1997). Sulla base di questi elementi si può ipotizzare che lo stesso campo di sforzi condizioni in misura fondamentale il comportamento geomeccanico dell'ammasso roccioso sia in superficie che in profondità.



5.3 ASSETTO GEOLITOLOGICO REGIONALE

La porzione di territorio alpino sottesa dal bacino idrografico della Dora Riparia - Dora di Bardonecchia e dai suoi rami minori affluenti, al cui interno è localizzata l'area oggetto del presente studio, può rappresentarsi secondo uno schema geologico-strutturale relativamente semplice, che tuttavia può apparire estremamente complicato alla scala locale da disturbi tettonici sovente mascherati dalla copertura quaternaria.

Gran parte del territorio corrisponde all'areale di affioramento d'una potente pila di rocce metamorfiche di età Mesozoica, appartenenti al gruppo litologico del cosiddetto "Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi" (recentemente distinta localmente in Unità tettonostratigrafica del Lago Nero), avente un assetto strutturale locale grossomodo monoclinale, ma in realtà rappresentato da una struttura costituita da una sinclinale coricata, con piano assiale immergente verso WNW.

Ad est, la formazione dei calcescisti si sovrappone a bancate d'altre rocce "cristalline" (dolomie e quarzoscisti) del Mesozoico inferiore (Trias), che a loro volta avviluppano l'ellissoide gneissico di età pre-secondaria del gruppo montuoso dell'Ambin, affiorante alla testata del bacino del T. Rochemolles.

Verso ovest i calcescisti s'immergono sotto un fascio di pieghe fagliate ad assi orientati NNW-SSE, costituite da litotipi triassici prevalentemente calcareo-dolomitici con al nucleo delle strutture anticlinali terreni filladico-arenaceo-conglomeratici del Paleozoico Superiore, attraverso contatti di tipo tettonico.

Nel settore di interesse, al di sotto di una copertura quaternaria di tipo eluvio-colluviale, glaciale/morenica e alluvionale di consistente spessore, il substrato roccioso costituito dalla formazione dei calcescisti presenta un assetto strutturale piuttosto omogeneo e regolare, con

giacitura della scistosità principale inclinata a basso angolo verso ovest ($10^{\circ}/30^{\circ} \rightarrow 250^{\circ}/290^{\circ}$). Localmente si osservano comunque disturbi alla scala locale con deboli variazioni rispetto a tali valori.

Il substrato appare in ogni caso fortemente fratturato, in particolare in corrispondenza di disturbi tettonici, e molto alterato per vari metri al contatto con le formazioni quaternarie che lo ricoprono.

Nel settore di interesse i sondaggi effettuati hanno evidenziato la presenza di una potente coltre quaternaria di probabile origine glaciale di fondo nella porzione di pendio appena sopra al fondovalle, dove invece sono presenti diffusi affioramenti rocciosi, il che suggerisce l'azione di approfondimento erosivo recente del fondovalle da parte del corso d'acqua, che ha scavato non solo i depositi glaciali di fondo ma anche il substrato, depositando una coltre modesta di sedimenti alluvionali attuali.

Osservazioni tratte dal lavoro di R. Polino (1978) - OSSERVAZIONI GEOLOGICHE NEL TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS SINO ALLA PROGRESSIVA 4000 (Nota preliminare)

Informazioni utili per la comprensione geologica del settore di maggiore interesse sono state rinvenute nel lavoro sopra citato, che marginalmente copre anche il settore di intervento, e sono di seguito riassunte.

"Il traforo autostradale del Frejus si sviluppa interamente, per quanto riguarda la parte italiana, nel Complesso piemontese dei calcescisti con pietre verdi, unità tettonica che si estende per tutto l'arco delle Alpi occidentali e si trova in ricoprimento sopra i «massicci» cristallini interni (Monte Rosa, Gran Paradiso, Dora Maira) e sulla Zona Brianzonese.

Nella conca di Bardonecchia il Complesso dei calcescisti è compreso tra il massiccio d'Ambin (costituito da un basamento cristallino pretriassico su cui poggiano sequenze sedimentarie mesozoiche ad affinità brianzonese interna) (ELLENBERGER, 1958; LORENZONI, 1965; GAY, 1971) a SE e le sequenze brianzonesi affioranti nella valle Stretta a SW. È disposto a formare una grande sinclinale di falda, caratterizzata dalla retroflessione delle sequenze brianzonesi della Valle Stretta che sovrastano quelle piemontesi con una grande piega coricata ben visibile lungo la dorsale Punta Quattro Sorelle- Punta Gran Bagna.

Lungo l'asse del traforo i calcescisti presentano, in grande, una giacitura monoclinale debolmente inclinata verso NW. A piccola scala si osservano invece numerose pieghe, che permettono di distinguere almeno 3 fasi di deformazione e che testimoniano della intensa deformazione di questo complesso.

Nell'area in esame (versante sinistro del Vallone del Frejus e parte del Vallone di Rochemolles, conca di Bardonecchia) affiora una sequenza di calcescisti carbonatici, caratterizzata da una grande prevalenza dei metasedimenti sui termini ofiolitiferi. I metasedimenti sono rappresentati da prevalenti calcescisti, cui sono associate sia facies prevalentemente carbonatiche sino a veri e propri marmi, sia facies più micacee, che danno origine a calcescisti filladici. In questa serie carbonatica, peraltro molto omogenea e monotona a grande scala, sono intercalati subordinati livelli di micascisti, filladi e quarziti \pm carbonatiche. Questi ultimi litotipi affiorano più estesamente lungo la dorsale che dall'abitato di Bardonecchia sale alla Punta Melmise, e formano un complesso ben evidenziato rispetto alla massa di calcescisti circostanti. Esso, pur presentando una potenza relativamente scarsa (10-30 metri), affiora su di un'area abbastanza estesa poiché è ripetuto ed appilato numerose volte da un sistema di pieghe ad esse debolmente immergente verso N120°W (10°). Anche se tale complesso si trova topograficamente al tetto di una potente sequenza di

calcescisti, nulla si può dire al momento circa la sua età e la sua posizione stratigrafica in rapporto ai calcescisti stessi.

I termini ofiolitiferi, rappresentati da serpentiniti, oficalciti, metagabbri e prasiniti \pm anfiboliche, affiorano solo sporadicamente nella regione esaminata, sotto forma di corpi lenticolari più o meno allungati. Verosimilmente rappresentano il prodotto di frane sottomarine (olistoliti e/o olistostromi), anche se non si può escludere una loro presa di posizione di origine tettonica. Mancano invece metaofioliti di tipo stratoide (prasiniti).

Il metamorfismo di tutto il complesso dei calcescisti in quest'area è di basso grado, con formazione di mica bianca, clorite, scarsa albite e ricristallizzazione del quarzo. Si deve notare tuttavia come la composizione mineralogica dei sedimenti originari abbia impedito la formazione di minerali metamorfici caratteristici nei calcescisti. Si osservano talora pseudomorfo di calcite e mica bianca con fini inclusioni di opachi e sostanze carboniose su lawsonite; quest'ultima può presentarsi anche non trasformata, come alle Gorges du Chateùard (CABY, 1964) o al Colle del Frejus. I minerali metamorfici delle ofioliti sono rappresentati da abbondante albite, epidoti, clorite ed anfibolo sodico (crossite?).

I depositi quaternari, molto diffusi sulla perpendicolare della galleria, mascherano abbondantemente la roccia in posto e rappresentano un problema per la corretta interpretazione strutturale della dorsale attraversata dal traforo del Frejus.

Sono costituiti da diffuse coltri detritiche eluvio-colluviali, estesamente sviluppate sul versante sinistro del Vallone del Frejus. Verso la parte bassa del vallone, ed al suo sbocco nella conca di Bardonecchia si osservano alcune spalle glaciali coperte da depositi morenici. Sia la composizione monogenica di tutti i depositi quaternari del bacino, sia la rapida evoluzione morfologica di quest'area rendono difficoltoso porre un limite netto tra i depositi morenici e le coltri eluvio-colluviali.

Discorso a parte meritano invece i depositi quaternari del basso Vallone di Rochemolles, nelle immediate vicinanze del cantiere e dell'imbocco della galleria.

Essi sono caratterizzati da una notevole disarmonia compositiva e genetica sui due versanti: il versante sinistro è costituito da un potente deposito di morenico di fondo, coperto da una sottile coltre (5-10 metri) di depositi colluviali provenienti dalle pendici del M. Jafferou. Nella morena, ben visibile negli sbancamenti effettuati per la costruzione del piazzale dei servizi, sono riconoscibili, oltre ai litotipi caratteristici del complesso dei calcescisti (calcescisti prevalenti e subordinate prasiniti), nettamente predominanti, anche rocce provenienti dal massiccio d'Ambin, che affiora alla testata della valle. Si riconoscono infatti micascisti gneissici, quarziti e carnirole. Le dimensioni dei ciottoli, discretamente arrotondati ed immersi in abbondante matrice fine, variano da medie a grosse. Questo morenico di fondo costituisce il substrato impermeabile di una falda acquifera, contenuta nel deposito colluviale soprastante, che si manifesta con una serie di sorgenti allineate alla stessa quota lungo il margine della scarpata.

Il versante destro della valle è invece caratterizzato da una serie di pendii detritici costituiti esclusivamente da materiali provenienti dal versante soprastante.

Purtroppo non si è potuto seguire direttamente lo scavo del tronco iniziale della galleria, che nei suoi primi 135 metri attraversa questo deposito; da informazioni raccolte presso il cantiere risulta che all'interno della falda detritica si sono rinvenuti livelli di sedimenti alluvionali a grana fine. Essi possono essere interpretati come relitti di alluvioni deposte dal T. Rochemolles ricoperte da materiale detritico. Non si può escludere inoltre che la massa detritica comprenda nel suo interno placche residue di materiale morenico.

La spiccata diversità dei depositi quaternari sui due versanti della valle è legata ad una marcata erosione postglaciale ad opera del T. Rochemolles (probabilmente dovuta all'incisione della soglia di Millaures-Bramafam). Il torrente, con tendenza ad erodere verso destra, anche a causa della giacitura monoclinale delle formazioni rocciose, ha completamente asportato i depositi morenici del versante destro della valle, mettendo a nudo la parete e favorendo la formazione di una serie di coni detritici.

Osservazioni geologiche in sottterraneo

Come già detto in precedenza, le condizioni geologiche all'interno della galleria si presentano monotone: dopo aver superato 135 metri in depositi quaternari (descritti nel capitolo precedente), lo scavo ha incontrato, sino alla progressiva 4000, esclusivamente litotipi del complesso dei calcescisti. Questi ultimi tuttavia, pur mostrando a grande scala un certo grado di omogeneità, denunciano nel dettaglio una notevole variabilità litologica: si va infatti da calcescisti molto carbonatici (marmi) in banchi da decimetrici a metrici, immersi in una massa di calcescisti s.s., calcescisti micacei e rare filladi.

I tipi più scistosi sono preponderanti, presentano una tessitura piano-scistosa e sono facilmente divisibili secondo piani paralleli in banchi da centimetrici a decimetrici. Tale fissilità tuttavia non è del tutto originaria, ma viene fortemente esaltata dalle sollecitazioni che si trasmettono alla roccia durante il brillamento delle volate, che provocano l'apertura di soluzioni di continuità presenti allo stato latente.

È evidente una intensa deformazione plicativa, con diffusi fenomeni di boudinage dei livelli più competenti e delle cerniere di pieghe, e con scorrimenti letto a letto sui fianchi delle stesse.

La scistosità principale è caratterizzata da una riorientazione delle miche in piano assiale.

La fratturazione è irregolarmente distribuita: si va da zone scarsamente fratturate a zone intensamente fratturate. Dove essa è particolarmente accentuata, la massa rocciosa è ridotta ad una cataclasi formata da un insieme di scaglie lenticolari immerse in una matrice fine di aspetto milonitico. Tali zone di cataclasi non sono mai molto estese, ed in nessun caso hanno dato origine a gravi problemi di stabilità, permettendo sempre l'avanzamento a piena sezione.

Lo scavo ha messo in evidenza come la massa rocciosa sia interessata da numerosi filoni, che sono sempre presenti in quantità variabile e localmente raggiungono percentuali del 20-30 %. Essi sono costituiti generalmente da calcite, cui si associano spesso quarzo e, in quantità minori, mica bianca, clorite ± sostanze carboniose e pirite.

Strutture fragili (litoclasti e faglie) rilevate in superficie e loro riscontro in sottterraneo

L'estesa copertura quaternaria dell'area soprastante il tracciato del traforo e, di conseguenza, la scarsità di affioramenti rocciosi, rendevano di difficile esecuzione uno studio strutturale di dettaglio in superficie.

Questa situazione ha consigliato di avvalersi della fotointerpretazione quale metodo ausiliario alla osservazione diretta per rilevare gli effetti di una tettonica fragile, alla quale è legata in gran parte l'esistenza di eventuali difficoltà di ordine statico ed idrogeologico (v. Rapporto CNR-OCSE).

Sono state analizzate alcune strisciate in bianco e nero, nel complesso di buona esecuzione, eseguite in fase di progetto. In esse sono stati messi in evidenza i lineamenti più significativi, corrispondenti ad indicatori morfologici (scarpate) ed idrogeologici (incisioni rettilinee ed anomale rispetto al locale pattern del drenaggio).

La verifica condotta sul terreno ha confermato come tali lineamenti corrispondessero a fratture e/o piani di movimento. Tali discontinuità sono state riscontrate in galleria sia singolarmente, nel caso di fratture di dimensioni maggiori e con scarsa copertura, sia come fasce fratturate.

Nella Fig. 1 sono rappresentati, relativamente ai primi 4000 metri del tracciato del traforo, i diagrammi orientazione-lunghezza media e direzione-distribuzione percentuale delle lineazioni. Essi mettono in evidenza due principali gruppi, dispersi in ampi settori; il primo compreso tra N 20°W e N 60°W, con un massimo a N 35°W, il secondo compreso tra N 70°W e S 70°W (N 70°E in Fig. 1), con un massimo attorno a N 80°W (Fig. 1 a e b).

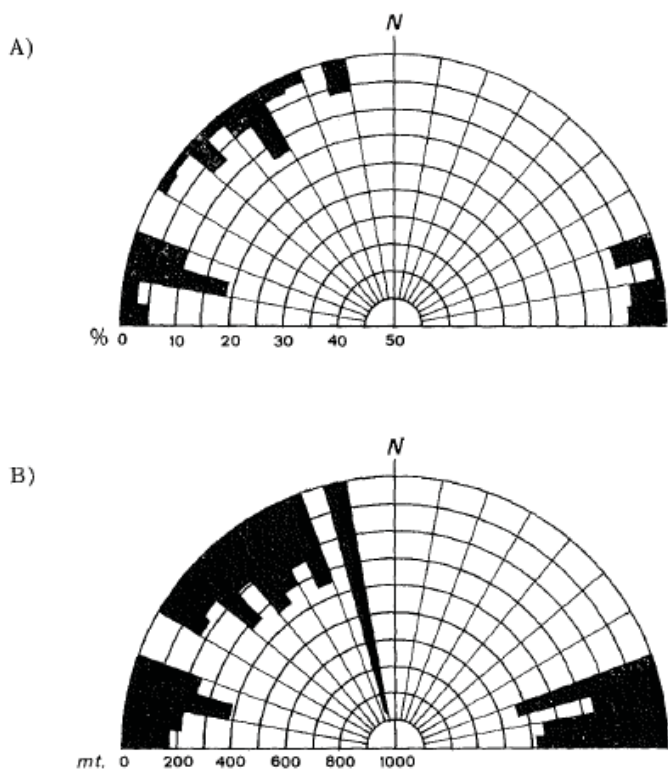


FIG. 1 - Diagrammi della distribuzione percentuale (A) e della orientazione e lunghezza media (B) delle lineazioni desunte dalla fotointerpretazione tra l'imbocco della galleria e la progr. 4000 circa.

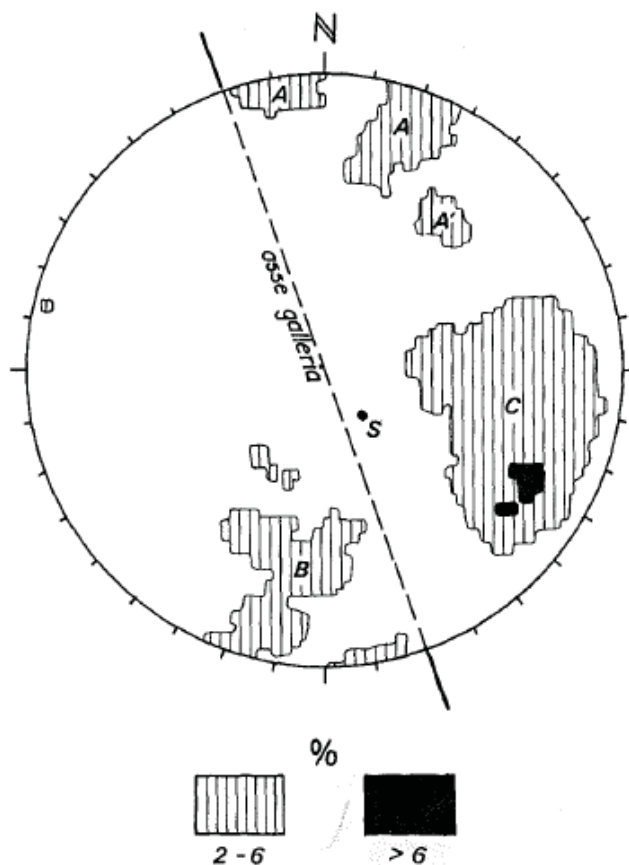
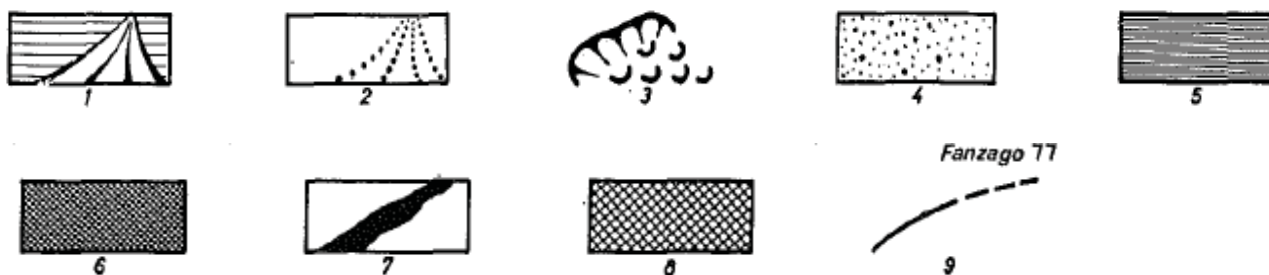
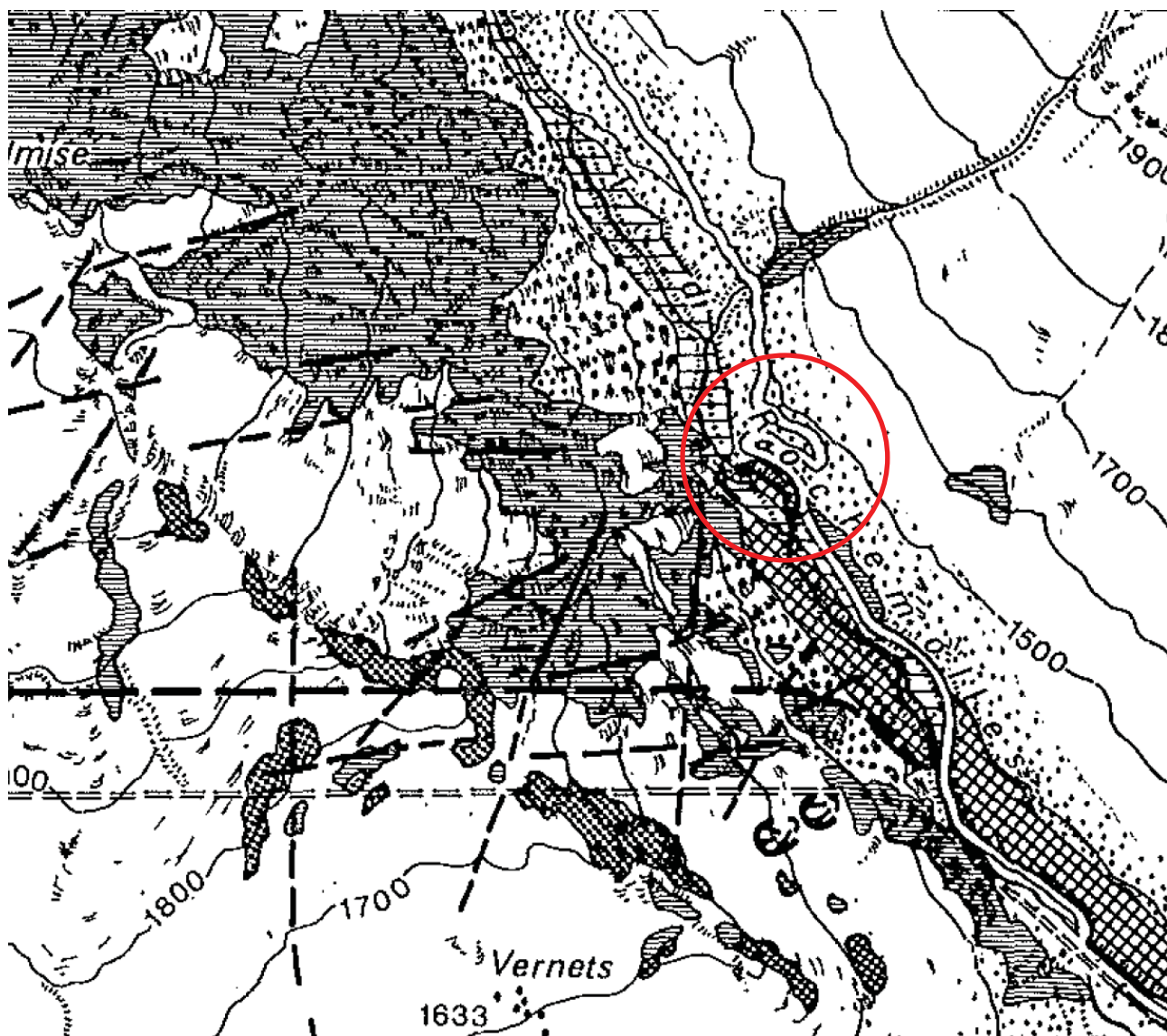


FIG. 2 - Protezione polare di circa 200 poli di fratture e faglie rilevate in sotterraneo tra le progressive 2000 e 3000. Con S si è indicata la proiezione del polo corrispondente alla scistosità media di questa tratta. Essa non tiene conto di locali forti variazioni legate a faglie o a pieghe.

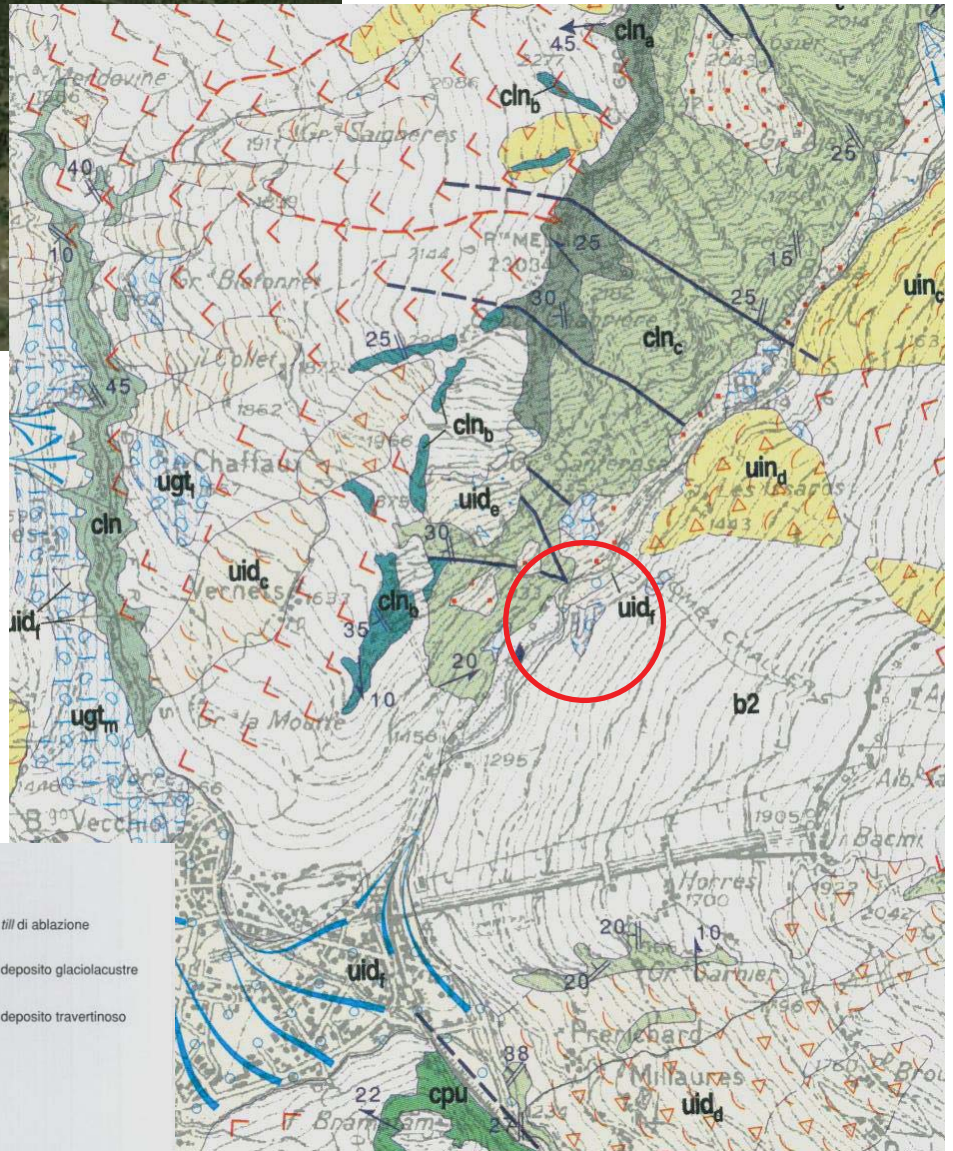
In galleria l'analisi di dettaglio delle discontinuità planari (fratture e faglie), eseguita tra le progressive 2600 e 3000, ha messo in evidenza tre concentrazioni principali, rappresentate nel diagramma di proiezione polare di Fig. 2.



Depositi quaternari: 1) Depositi e conoidi alluvionali; 2) Coltri eluvio-colluviali, con i pendii detritici; 3) Frane; 4) Depositi morenici. Complesso dei calcescisti con pietre verdi: 5) Calcescisti±carbonatici, filladi; 6) Scisti quarzoso-carbonatici, micascisti, quarziti; 7) Metafolioli (serpentiniti, oficalciti, metagabbri, anfiboliti±epidotiche, cloritoscisti); 8) Aree di cantiere e discariche; 9) Maggiori lineamenti significativi desunti dalla fotointerpretazione.

La prima (A) corrisponde ad un gruppo di piani con immersioni comprese tra S 20°E e S 45°W ed inclinazioni comprese tra 60° e 90°, la seconda (B) ad un gruppo con immersioni comprese tra N 15°W e N 30°E ed inclinazioni tra 50° ed 85°, la terza (C) ad un gruppo compreso tra S 70°W e N 45°W ed inclinazioni comprese tra 30° ed 80°. Quest'ultimo gruppo presenta inoltre un massimo ben evidente con immersione intorno a N 60°W ed inclinazione di 80° circa.

Il gruppo di lineamenti compresi tra N 70°W e S 70°E corrisponde alle due concentrazioni A e B di Fig. 2 mentre il gruppo di lineamenti compresi tra N 20°W e N 60°W, percentualmente molto inferiore (Fig. 1 a), appare solo sporadicamente in galleria e dovrebbe corrispondere alla piccola concentrazione indicata con A' in Fig. 2. Il terzo gruppo (C) si confonde con i piani di scistosità, anche se più inclinato, per cui non è stato messo in evidenza dall'analisi delle foto aeree. I piani che lo compongono potrebbero in parte rappresentare (anche) i sistemi di discontinuità coniugate ai precedenti. Esso ha un particolare interesse applicato, poiché sembra essere determinante per la stabilità dello scavo quando si interseca con gli altri gruppi di fratture formando prismi di roccia isolati in calotta.



Sovrassimboli delle formazioni superficiali

a	detrito di falda	f	deposito fluviale ghiaioso	n	till di ablazione
b	detrito di falda a grossi blocchi	g	deposito fluviale sabbioso	p	deposito glacialacustre
c	accumulo gravitativo	i	deposito lacustre e di torbiera	q	deposito travertinoso
d	accumulo gravitativo a grossi blocchi	l	till indifferenziato		
e	deposito di origine mista	m	till di allogamento		

Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 153 Bardonecchia, con sezione C-C'

5.4 TERRENI DI COPERTURA QUATERNARIA

Dal complesso dei processi di degradazione esogena delle rocce affioranti e a seguito dell'asportazione (erosione) di materiali detritici risultanti dalla loro degradazione, dal convogliamento, classazione, rideposizione del deposito ad opera di vari fattori naturali meccanicamente attivi, si sono innescati durante il quaternario dei fenomeni di accumulo di materiali lapidei sciolti ("terreni di copertura"), sovrapposti al substrato costituito da rocce cristalline, e che risultano tuttora attivi.

I terreni di copertura presentano strutture, composizioni e requisiti applicativi differenti. Su tale base vengono classificati nelle principali seguenti categorie:

- Il detrito di falda si accumula per semplice azione di gravità in falde e scarpate ai piedi delle pareti, formato da elementi monogenici di grosse e medie dimensioni, angolosi, freschi. Vasti pendii detritici, incoerenti, uniformi, si sviluppano ai lati dei fondovalle, rivestendo, per centinaia di metri in altezza, i versanti di roccia dolomitica su ambo i lati della Valle Stretta. Meno estese e meno tipiche sono le falde detritiche da disaggregazione di roccia calcescistosa, che spesso sfumano in coltri di eluvione dalla quale non è facile distinguerle.
- Il deposito eluviale, a materiale detritico monogenico alterato fino a risolversi parzialmente in sabbia e limo argilloide d'aspetto terroso (che nel livello superficiale, arricchito di sostanza organica, forma il suolo vegetale) semicoerente o pseudocoerente, di tinta bruna, riveste i pendii mediamente inclinati, dove molto lentamente fluisce in basso (creeping). Scarsa ed in placche sottili sopra la roccia dolomitica, forma coltri estese e continue anche per molti chilometri quadrati sui versanti di roccia calcescistosa sotto 2200-2000 m. Su pendii a debole inclinazione l'accumulo di eluvione scoscesa dall'alto origina sacche più spesse, naturalmente rimaneggiate, di colluvium.
- I depositi glaciali sono stati alimentati dal detrito roccioso franato sui ghiacciai in continuo movimento di discesa, convogliati da questi e abbandonati alle loro fronti o ai lati sul loro letto roccioso. Nella morena sono caoticamente associati elementi poligenici, anche di cospicue dimensioni, freschi, angolosi o rotolati, con una frazione limosa ("argilla glaciale") in varie proporzioni. Depositi glaciali di fondo, in buona parte rielaborati ed eluviati, messi in posto dal ghiacciaio pleistocenico, rivestono largamente i versanti in roccia calcescistosa, dai fondovalle su per 300-500 m d'altezza, dove passa a prodotti eluviali verso l'alto. Quasi sempre attualmente questi depositi glaciali si rinvengono rielaborati ed associati ad altri tipi di deposito, cosicché risulta difficile riconoscerli e separarli cartograficamente dai depositi eluviali, detritici e colluviali presenti sui versanti a varie quote.
- Depositi costituiti da accumuli di frana, derivanti dalla mobilitazione di talora ingenti porzioni di versante, appaiono costituiti da elementi lapidei di varia pezzatura, angolosi, immersi in una matrice di composizione fortemente eterometrica, a struttura caotica.
- Depositi alluvionali torrentizi si ritrovano in fasce allungate nei fondovalle, depositate nel Quaternario superiore, in qualche tratto nettamente distinti ai lati delle scarpate detritiche o delle falde colluviali, altrove raccordati con esse. I depositi alluvionali sono formati da elementi eterometrici arrotondati di varia granulometria (blocchi, ciottoli, ghiaie e sabbie) mediamente decrescente da monte verso valle. La composizione riflette quella del bacino di alimentazione.

6 ASSETTO 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 Frejus, 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 danneggiati 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 Fréjus.

7 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.

8 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 perchè 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 Jafferau; 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	%

9 METODOLOGIA E CARATTERISTICHE DELLO STUDIO CONDOTTO

9.1 BASI TOPOGRAFICHE UTILIZZATE

Come base per le analisi svolte è stato utilizzato un rilievo laser scanner aereo (con files Lidar) fornito dalla Ditta Geoworks, da cui è stata derivata una cartografia a curve di livello di elevato dettaglio topografico.

Su tale base sono state riportate tutte le indagini geognostiche realizzate, il che ha permesso di ricostruire profili geologici dettagliati che sono alla base delle verifiche di stabilità del complesso rilevato in progetto e terreno di fondazione.

10 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

10.1 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

10.1.1 STRATIGRAFIE

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

10.1.2 PROVE SPT


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

 <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE			SONDAGGIO n. S01
	SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)			
Mod. 7.5.13 rev. 00		Committente: <u>MUSINET ENGINEERING Spa</u>		Eseguito il 07-10/01/2013
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)	-	-	

 <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE			SONDAGGIO n. S02
	SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)			
Mod. 7.5.13 rev. 00		Committente: <u>MUSINET ENGINEERING Spa</u>		Eseguito il 07-12/12/2012
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 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)			SONDAGGIO n. S03
	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		Eseguito il 20-21/12/2012

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 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)			SONDAGGIO n. S04
	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		Eseguito il 18-20/12/2012

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)	

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

10.1.3 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.

10.2 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 eterogenei, 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



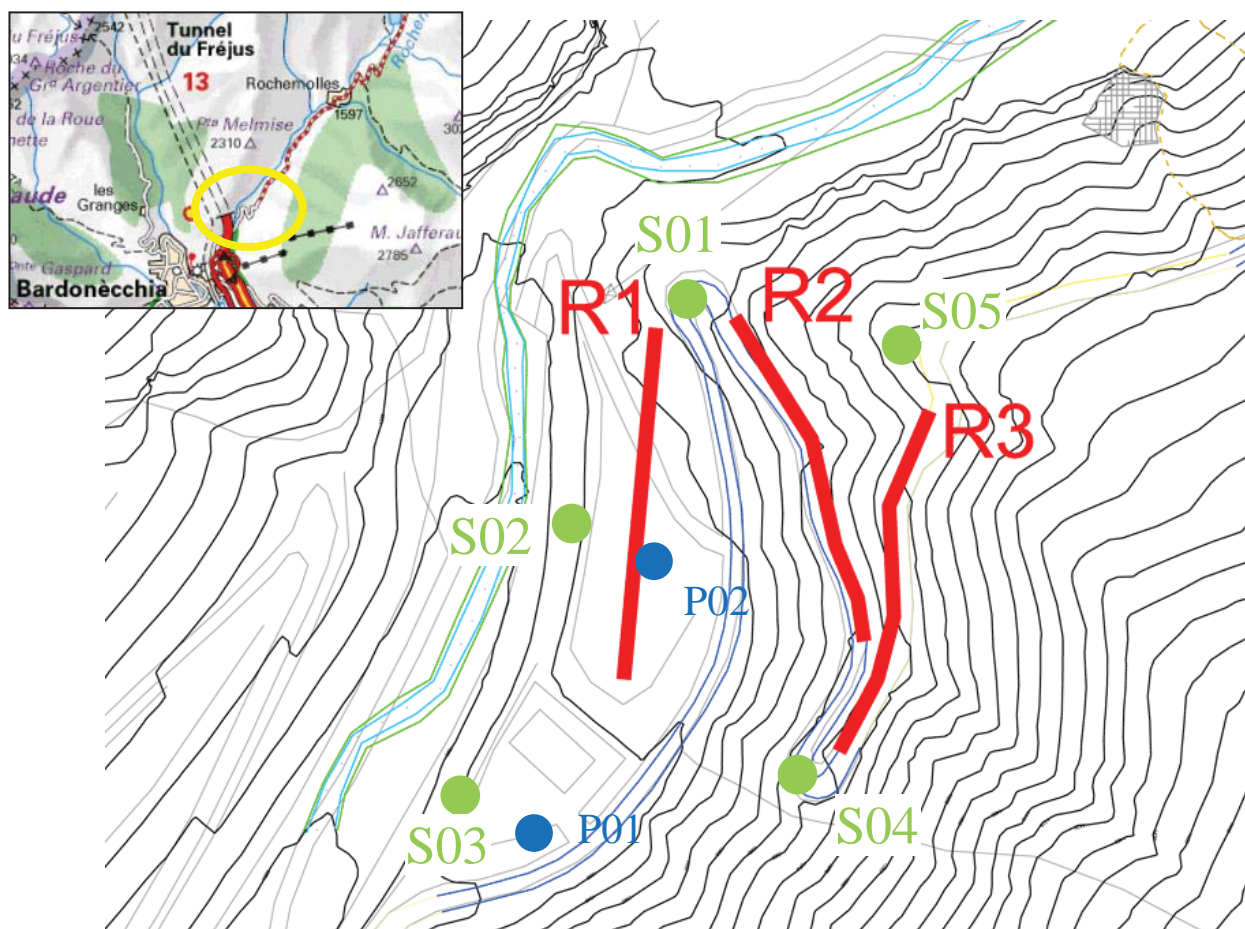
Pozzetto P02

10.3 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).

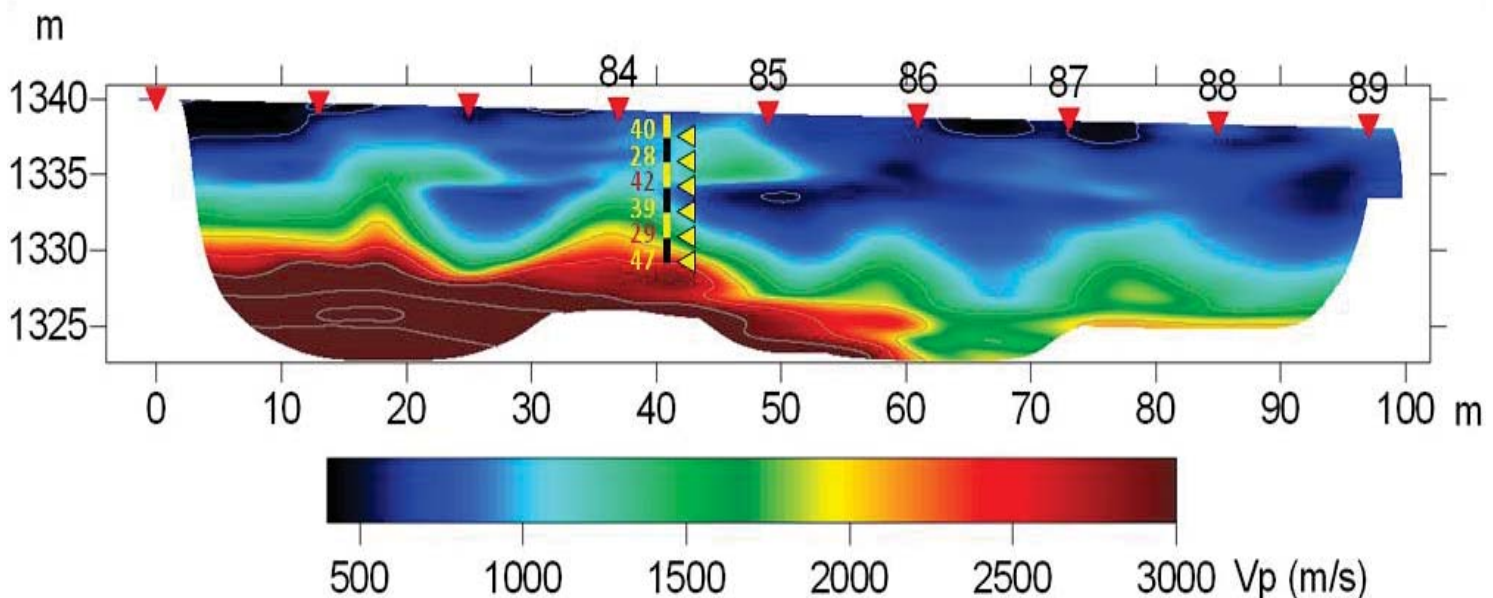
I valori ricavati grazie a quest'ultima prova (SPT) sono riportati in sovrapposizione alle sezioni tomografiche realizzate, al fine di visualizzare in maniera più immediata gli eventuali collegamenti tra le diverse metodologie di indagine.

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.

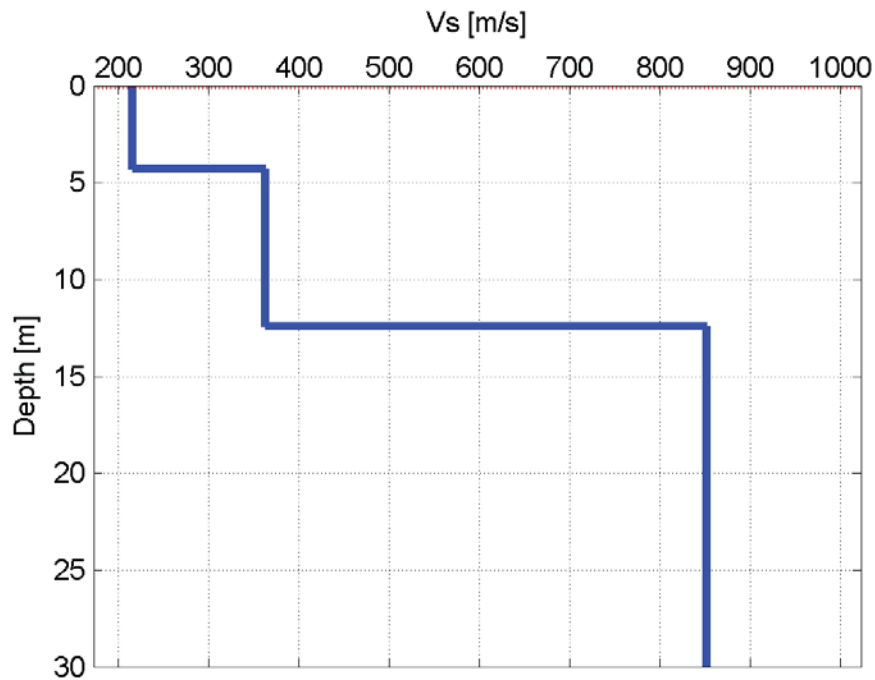
La copertura presenta valori abbastanza omogenei, con $V_p < 1200$ m/s e non appare possibile distinguere il passaggio da riporto a copertura naturale.

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)
1	215	4.3	da 0 a 4.3
2	365	8.1	da 4.3 a 12.4
3	850	semispazio	da 12.4



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 (V_s 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 V_{s30} 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.

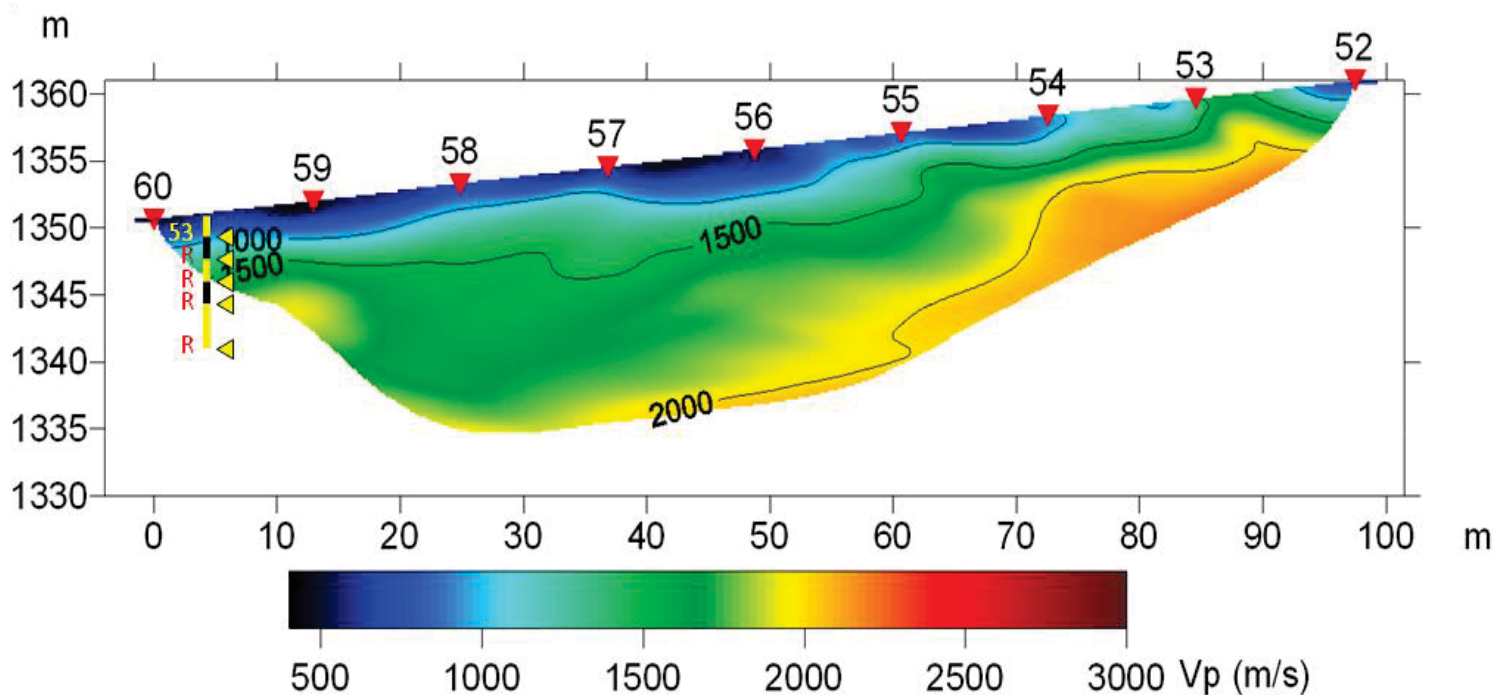
Appare riconoscibile il passaggio dallo strato di riporto superficiale al substrato in entrambe le metodologie di indagine: lo strato di riporto ha uno spessore variabile da un minimo di 10 metri ad oltre 15-20 metri.

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.

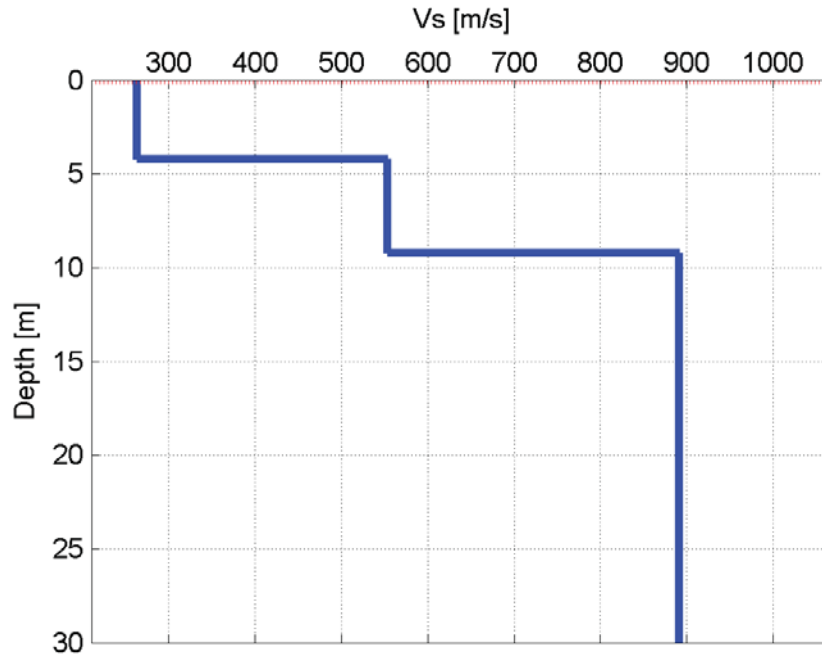
In particolare, tra le progressive 50-100 m, la sezione vede materiale di copertura omogeneo ($V_p < 1800$ m/s) fino alla profondità di circa 15 m.

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)
1	265	4.2	da 0 a 4.2
2	554	5.0	da 4.2 a 9.2
3	891	semispazio	da 9.2



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

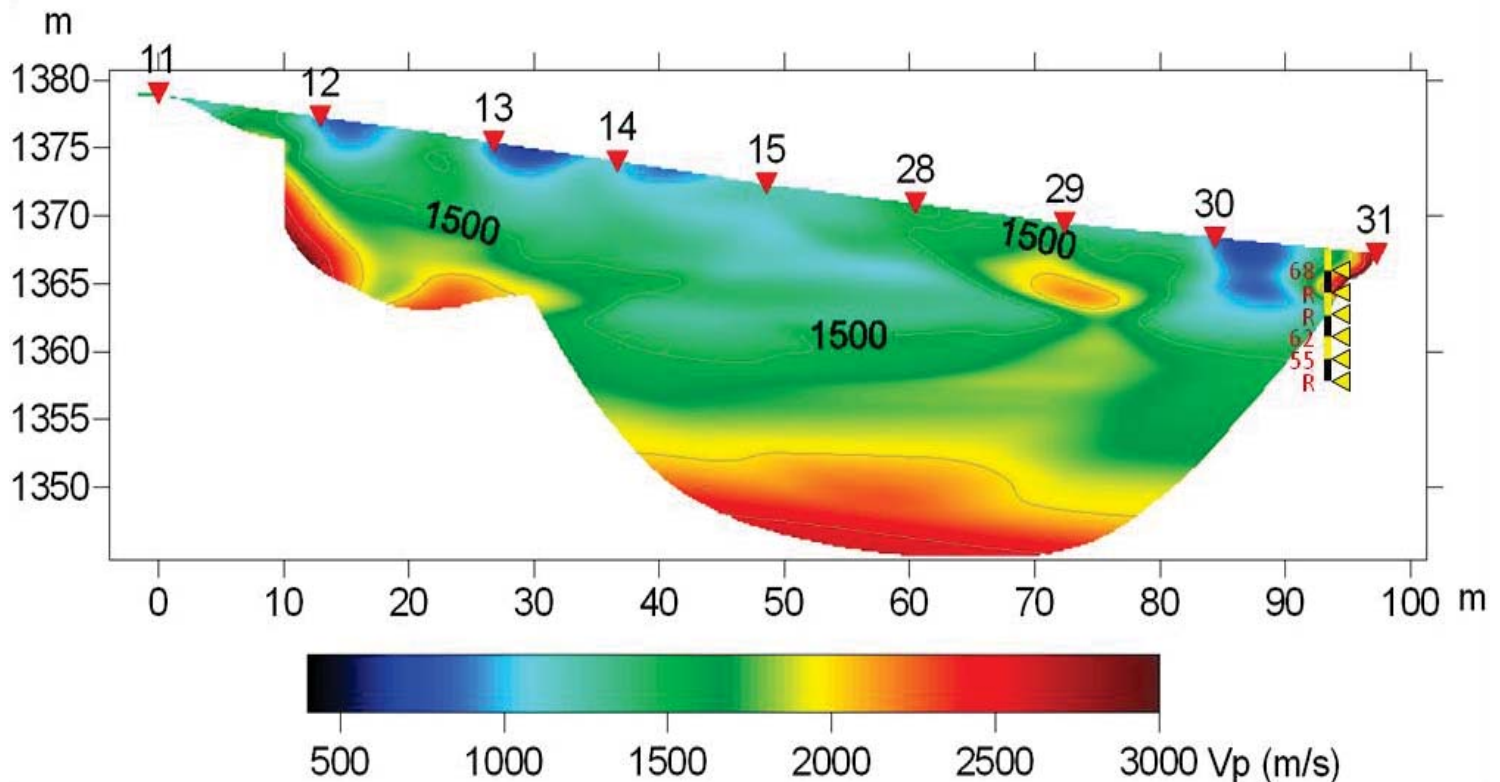
Dalle indagini geofisiche effettuate, in linea teorica è possibile correlare gli strati rintracciati dalle diverse metodologie impiegate con quanto individuato dai sondaggi realizzati e le relative penetrometrie, al fine di caratterizzare geologicamente le informazioni ottenute.

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 Vp di circa 2200 m/s.

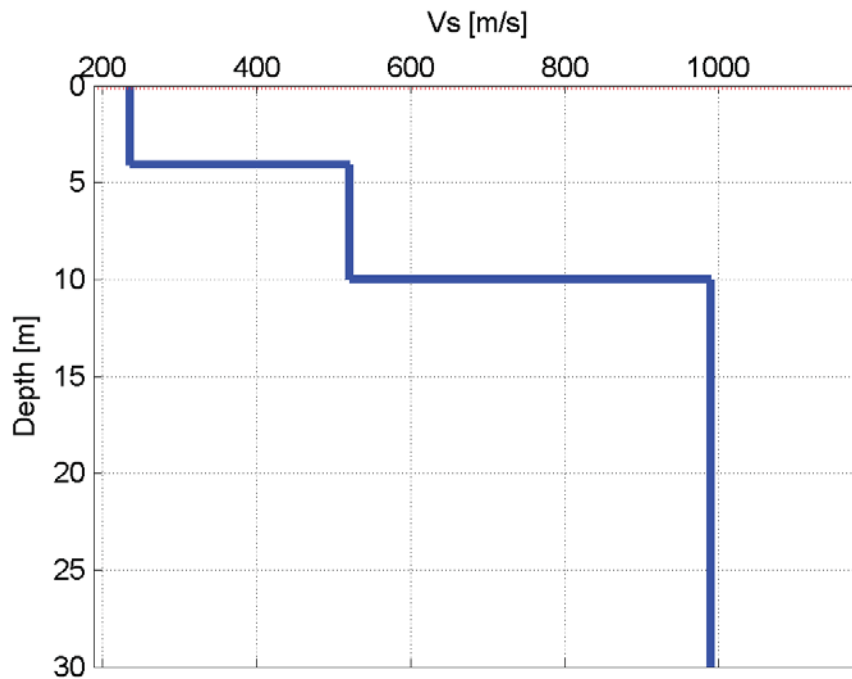
La mappa di copertura dei raggi sismici mostra raggi diretti o limitati ai primi 10 m di profondità.

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.

10.4 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.

In allegato si riporta il rapporto tecnico di laboratorio, a cura della Ditta Tecno Piemonte di Lenta (VC).

11 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

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-limoso; 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.

11.1 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 é 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° - 45° .

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:

- γ = peso di volume naturale = 22 kN/m^3
- c' = coesione efficace = 0 kPa , a favore di sicurezza
- ϕ'_p = angolo di resistenza al taglio di picco (da Spt) = $40^{\circ}/45^{\circ}$
- ϕ'_{cv} = angolo di resistenza al taglio utilizzato (a favore di sicurezza) = 38°

DEPOSITI COLLUVIALI:

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

DEPOSITI GLACIALI:

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

MATERIALI DETRITICI TERRAPIENO ESISTENTE 1:

- γ = peso di volume naturale = 19 kN/m^3

- $c' =$ coesione efficace = 2 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°

MATERIALI DETRITICI TERRAPIENO ESISTENTE 2:

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

MATERIALI DETRITICI TERRAPIENO ESISTENTE 3:

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

SUBSTRATO ALTERATO E FRATTURATO:

- $\gamma =$ peso di volume naturale = 25 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.

Analysis of Rock Strength using RocLab

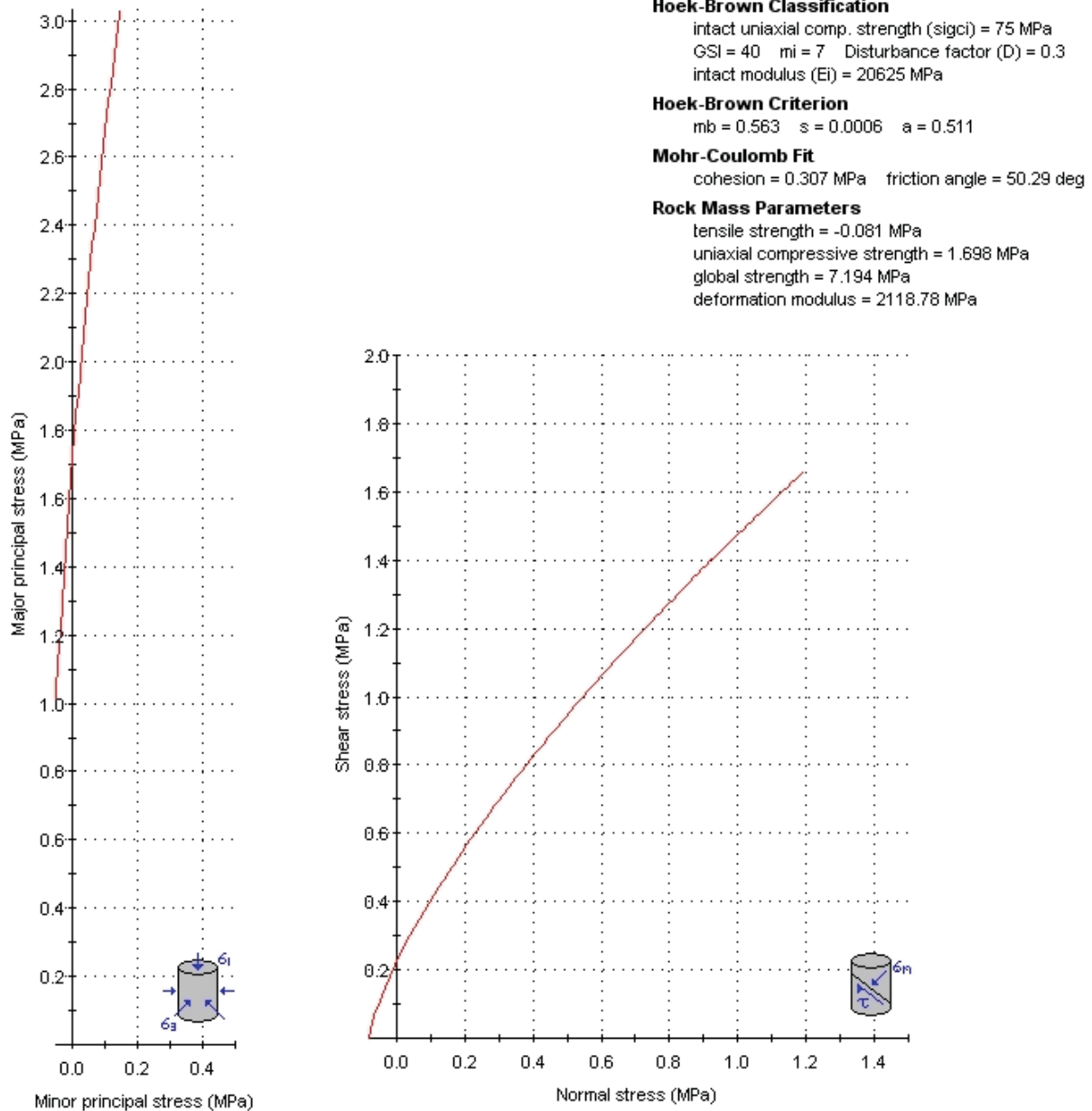


Figura 1. Interfaccia del software RocLab utilizzato per l'applicazione del criterio di Rottura di Hoek & Brown (2002) alle Unità B

12 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 stratta 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:

- γ = peso di volume naturale = 18 kN/m³
- c' = coesione non drenata = 2 kPa
- ϕ'_p = angolo di resistenza al taglio di picco (da prova di laboratorio) = 38°

12.1 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.

12.2 DEFINIZIONE DEI VALORI DI PROGETTO

A partire dai valori caratteristici è possibile ottenere i valori di progetto applicando i coefficienti parziali M_2 .

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	γ_c	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	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
φ	38	38	40	30	28	27	50
c (kPa)	0	5	5	2	2	2	0,3
γ (KNm-3)	22	20	22	19	18	18	25

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

13 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 ≤ 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".

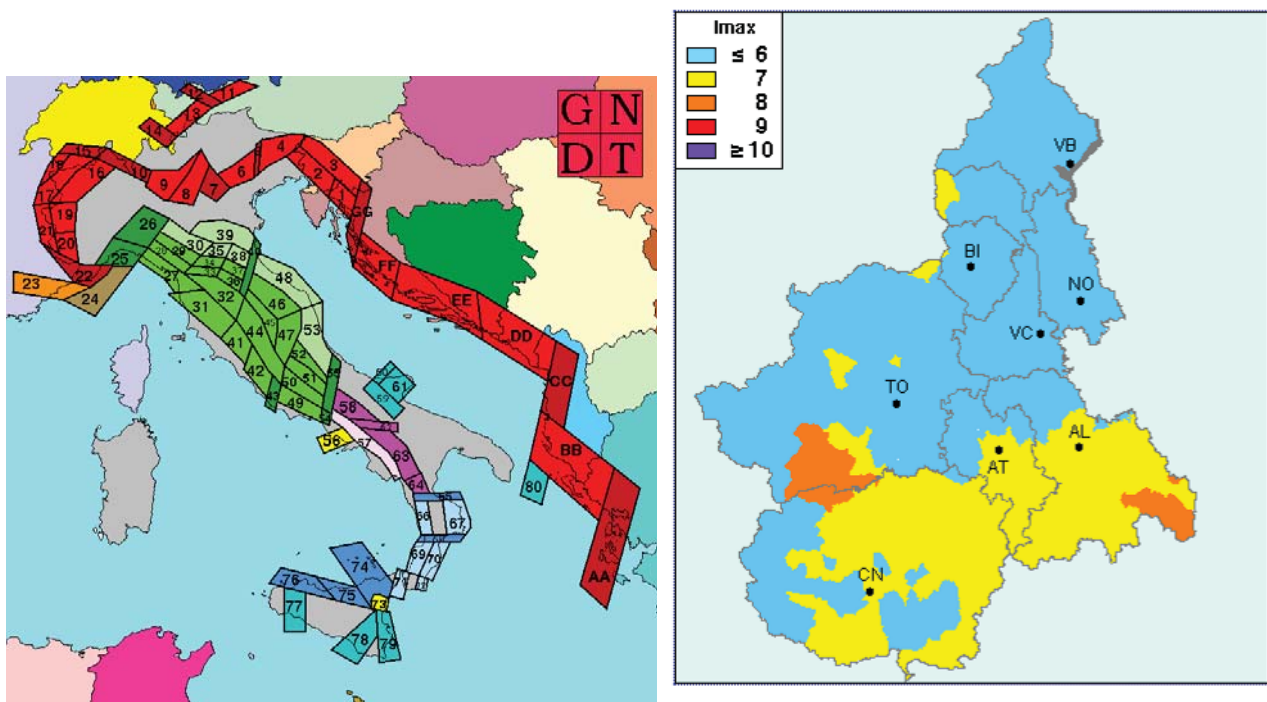


Figure 2e3: Mappa della Zonazione Sismogenetica (sinistra) e mappa delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (destra).

Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , 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 ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

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
Ss *	1,20	1,20	1,20	1,20
Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
Cc *	1,52	1,50	1,43	1,42
Coeff. funz categoria	1,52	1,50	1,43	1,42
St *	1,20	1,20	1,20	1,20
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
Coefficienti	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

14 VERIFICHE DI STABILITA'

14.1 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.

14.2 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.

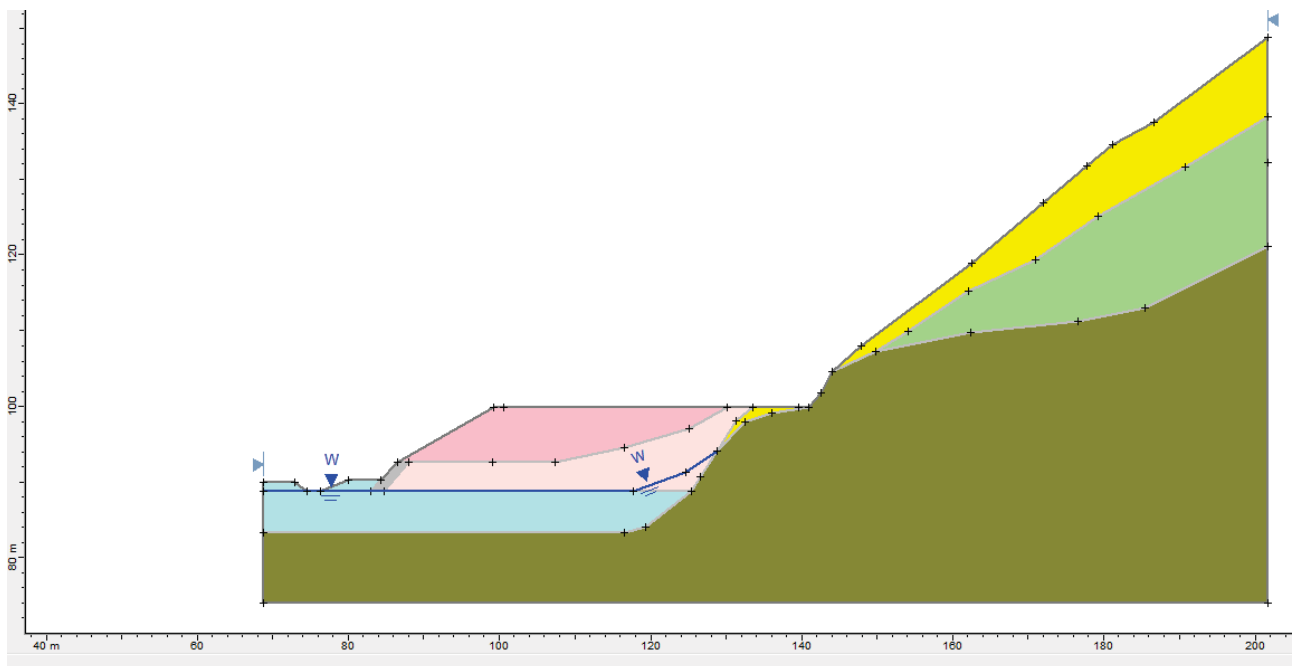


Fig.1 - Modello geologico della situazione attuale sez. 7

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.

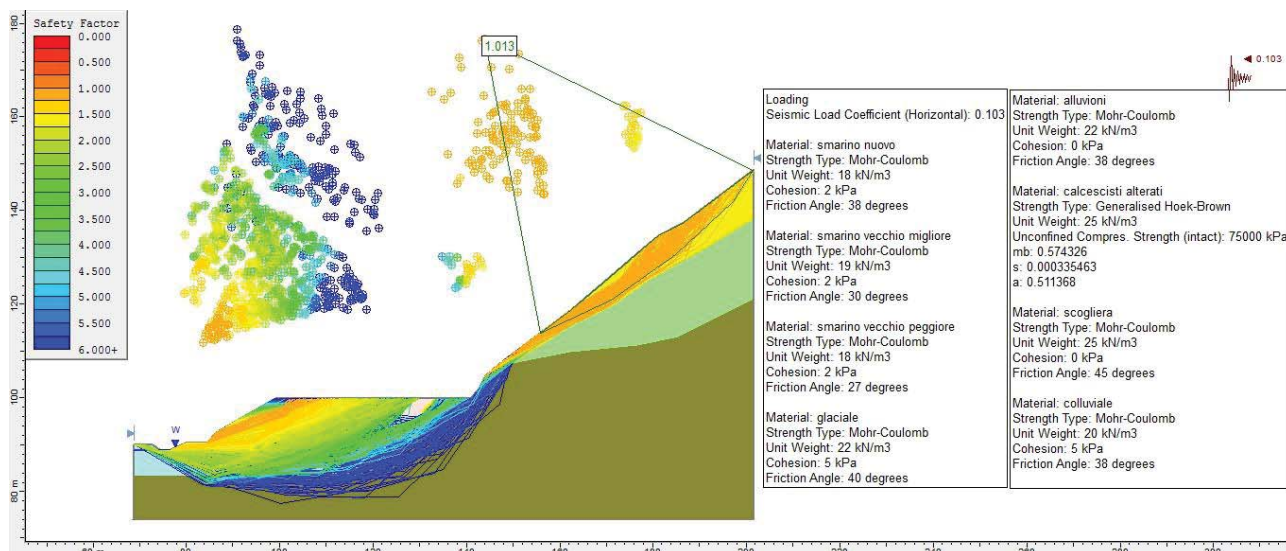


Fig. 2 – Situazione all’equilibrio limite sez. 7

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.

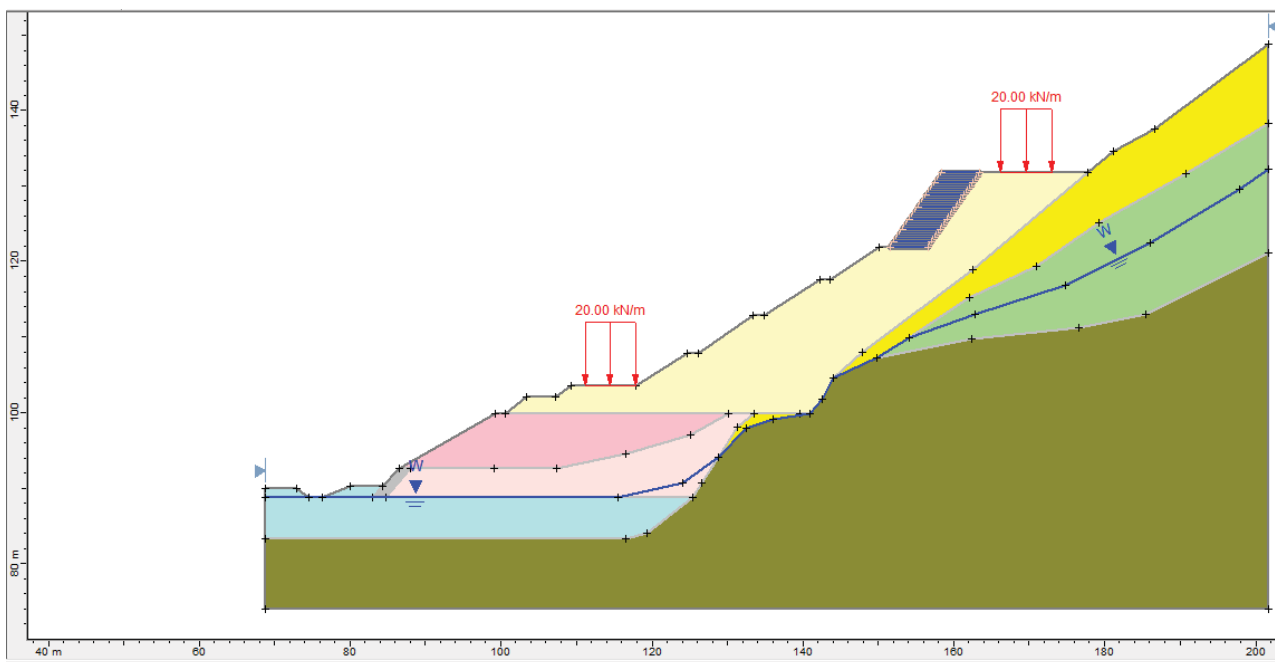


Fig. 3 - Modello geologico di progetto sez. 7

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.

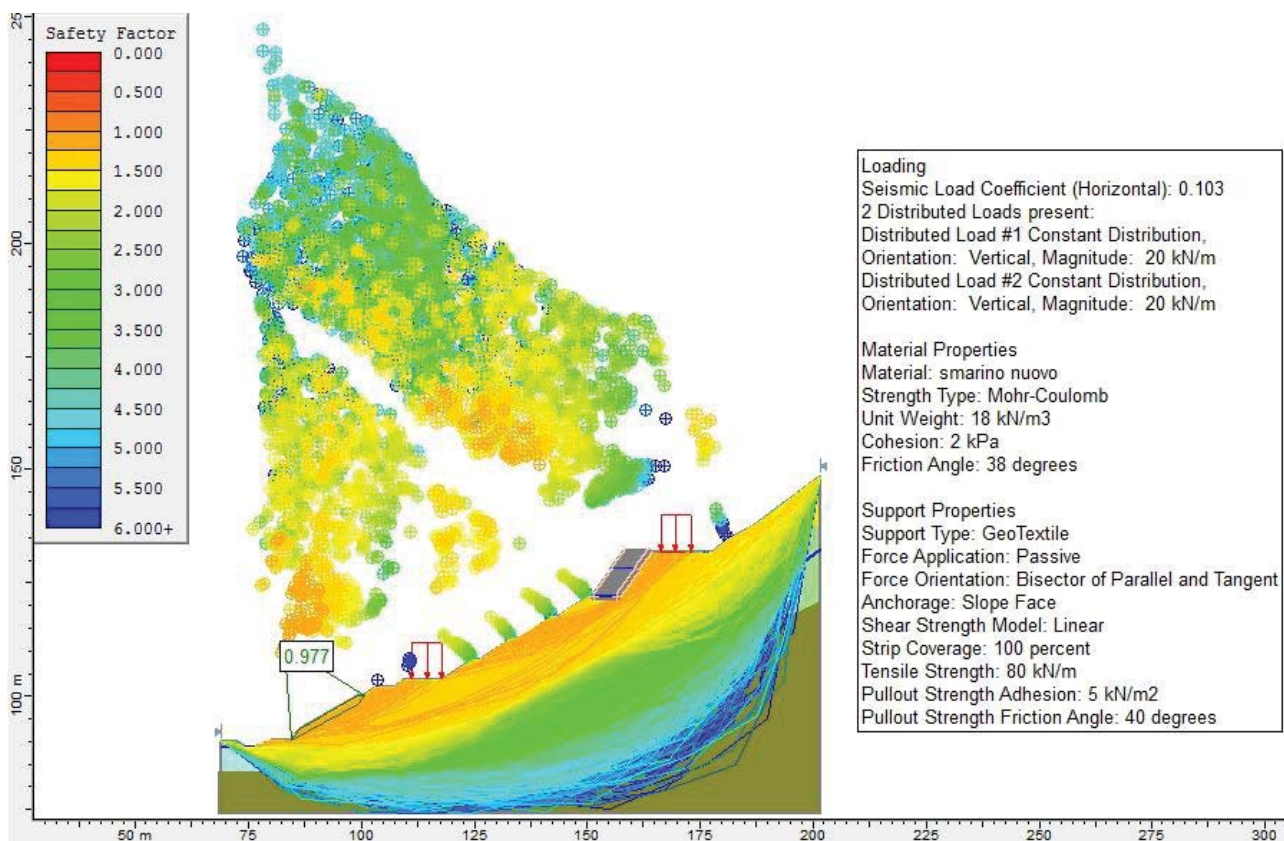


Fig. 4 - Verifica di stabilità di progetto solo con terra rinforzata sez. 7

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.

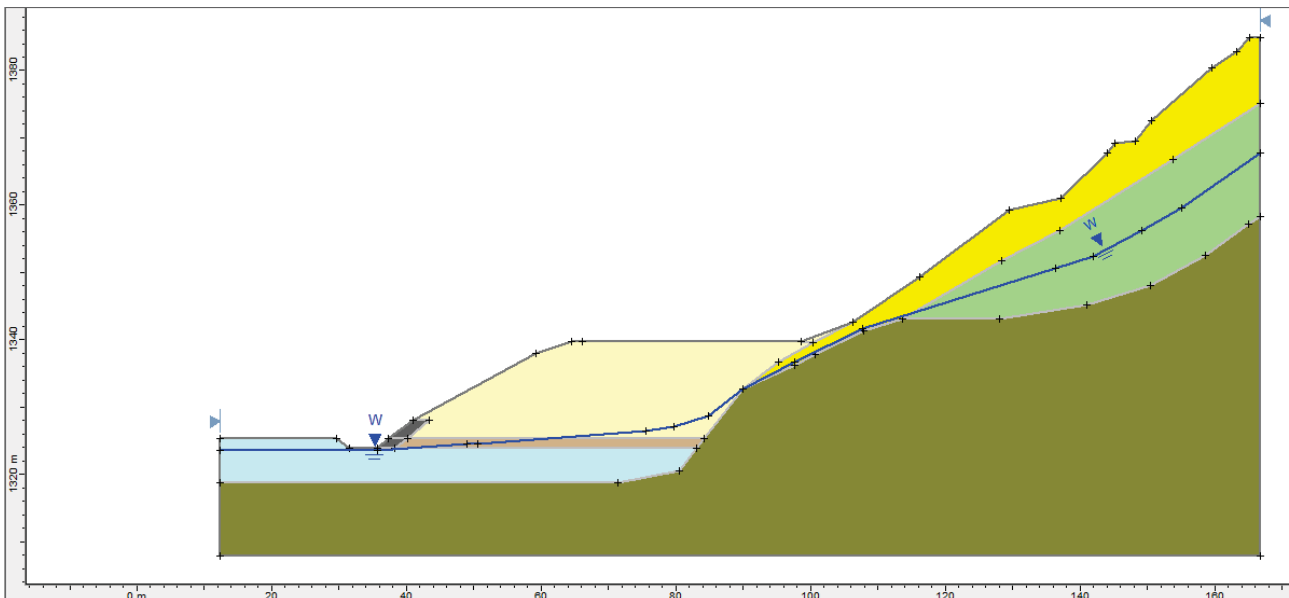


Fig.5 - Modello geologico della situazione attuale sez. 10

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.

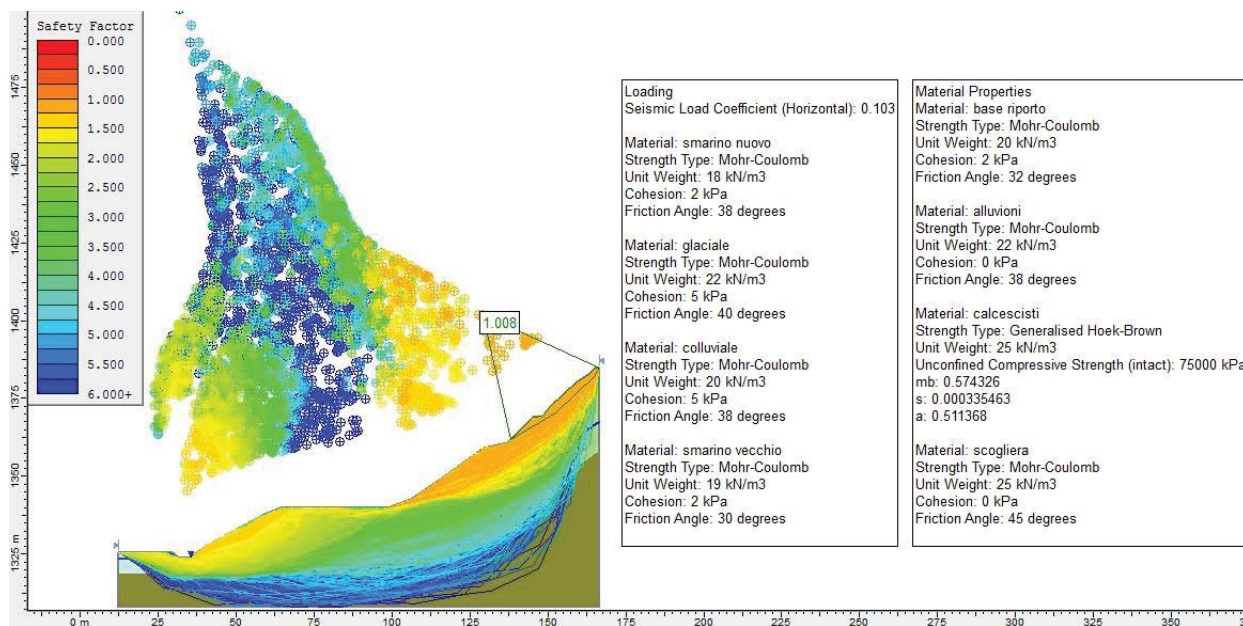


Fig. 6 – Situazione all’equilibrio limite sez. 10

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.

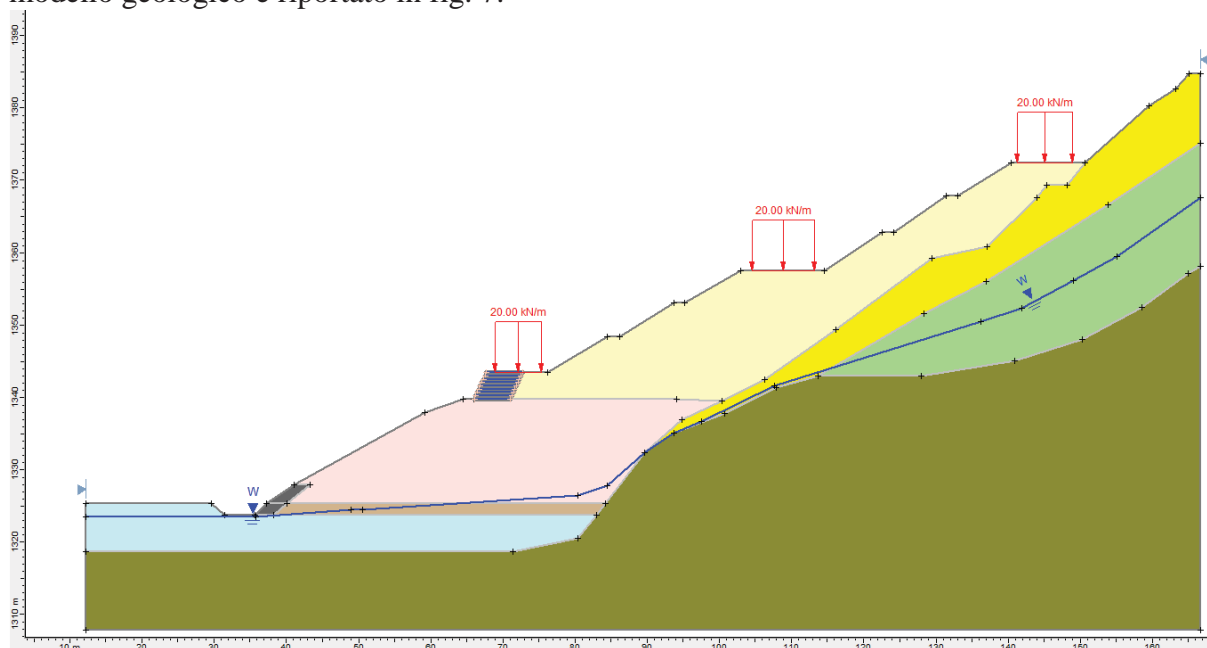


Fig. 7 - Modello geologico di progetto sez. 10

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.

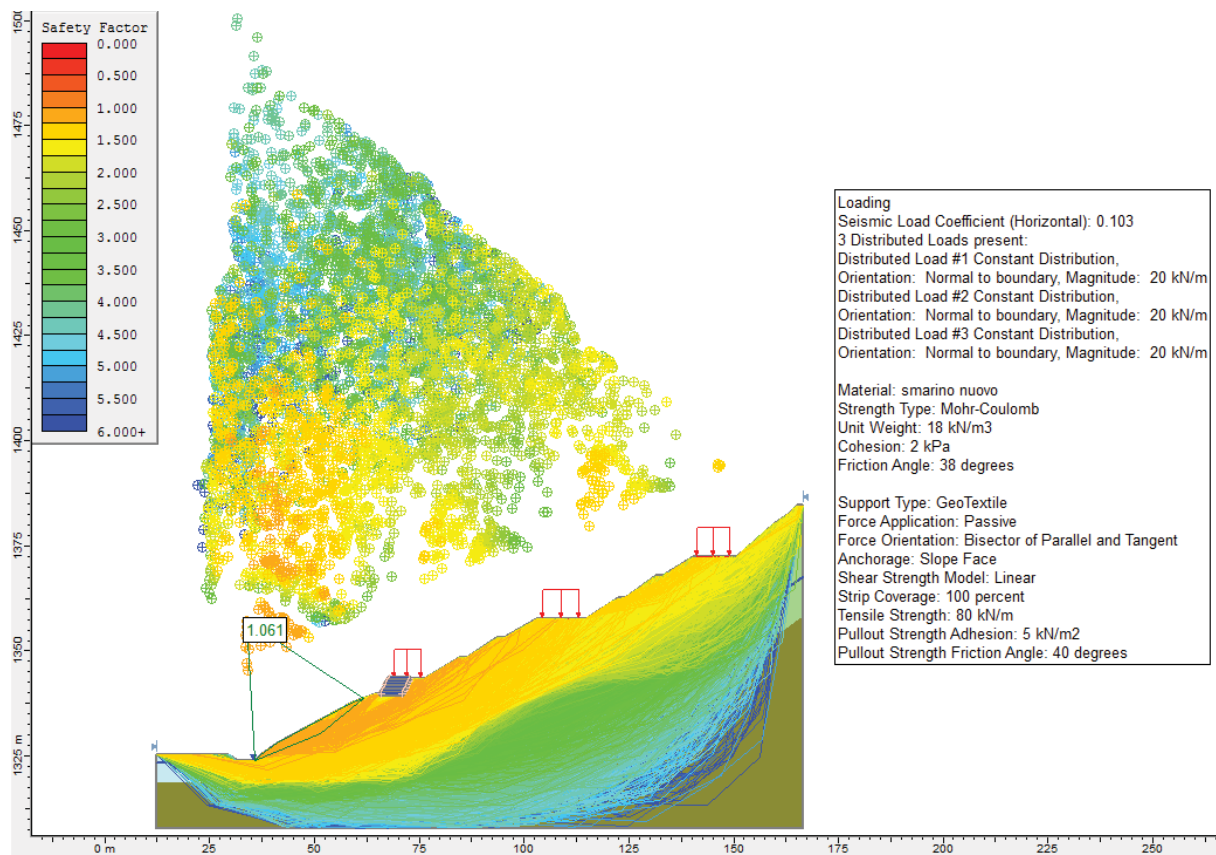


Fig. 8 - Verifica di stabilità di progetto solo con terra rinforzata sez. 10

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.

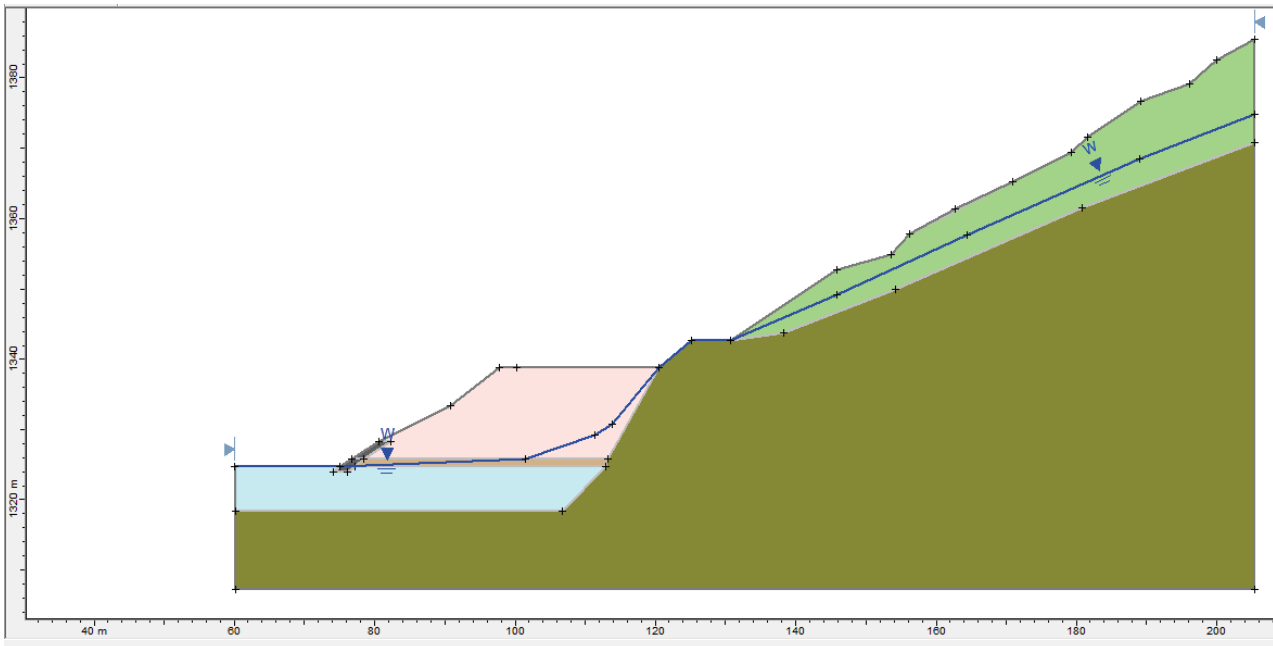


Fig. 9 – Situazione all'equilibrio limite sez. 12

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.

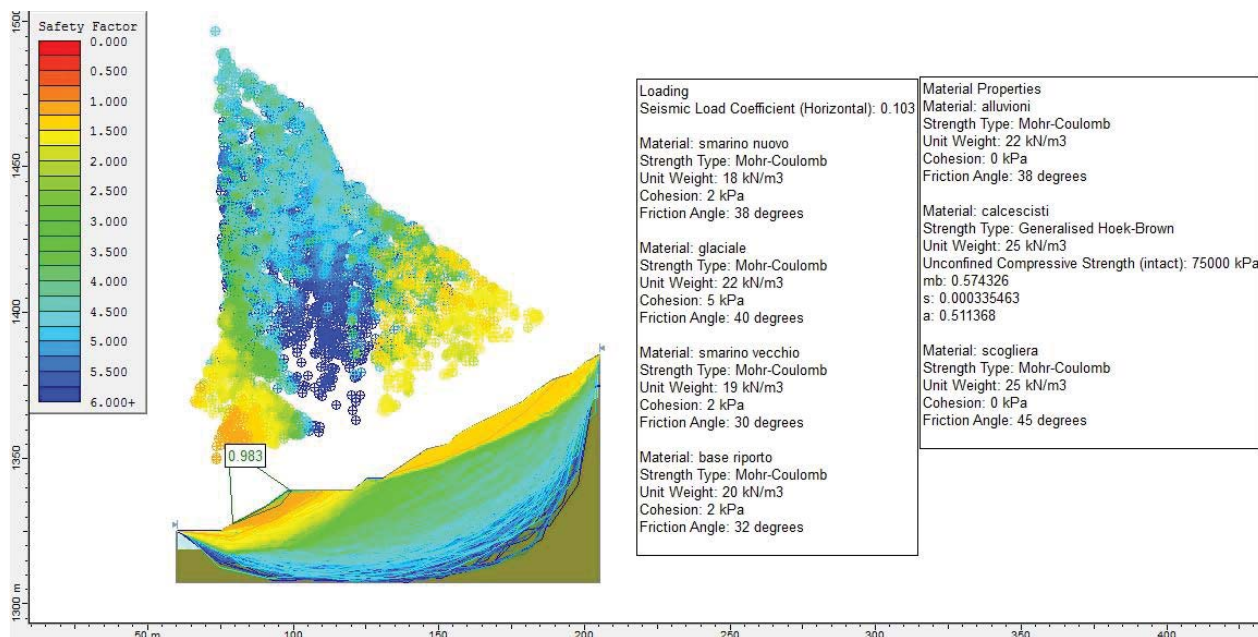


Fig. 10 - Modello geologico della situazione attuale sez. 12

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.

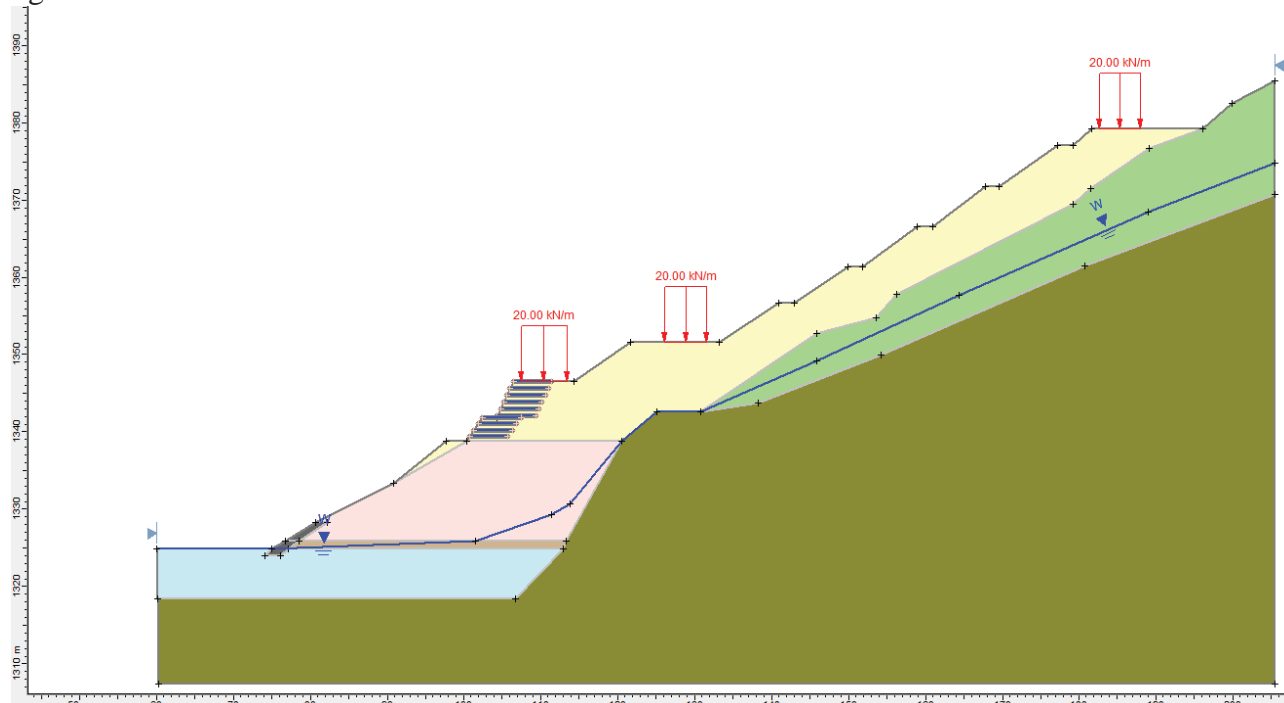


Fig. 11 - Modello geologico di progetto sez. 12

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.

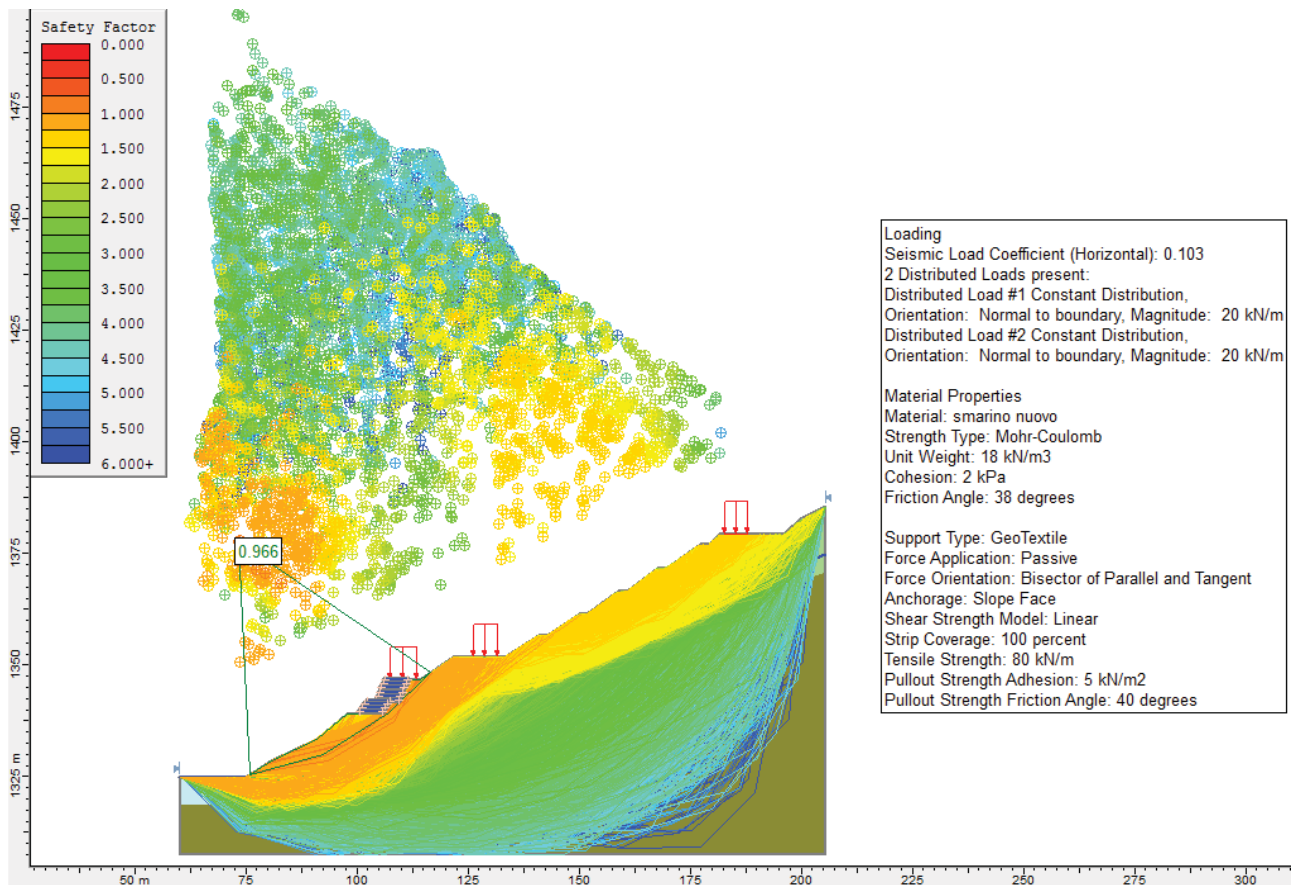


Fig. 12 - Verifica di stabilità di progetto solo con terra rinforzata sez. 12

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.

14.3 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).

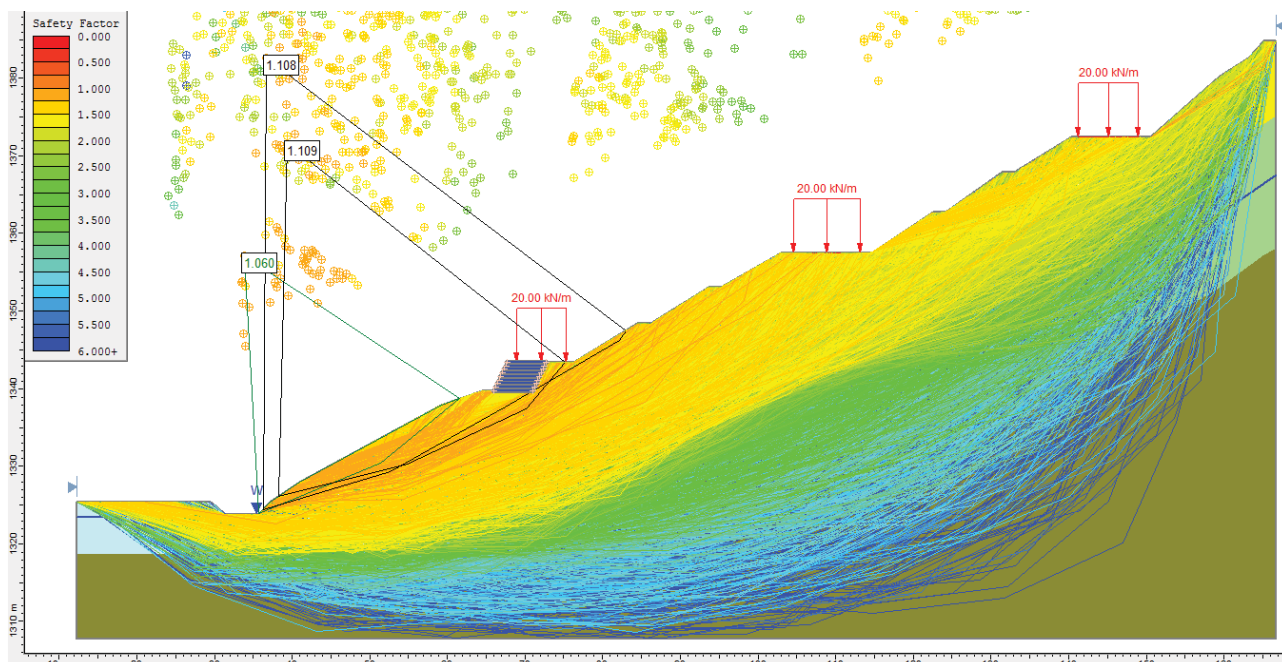


Fig. 13 – Individuazione di alcune delle superfici di scivolamento più critiche che interessano il terrapieno in progetto lungo la sez. 10.

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).

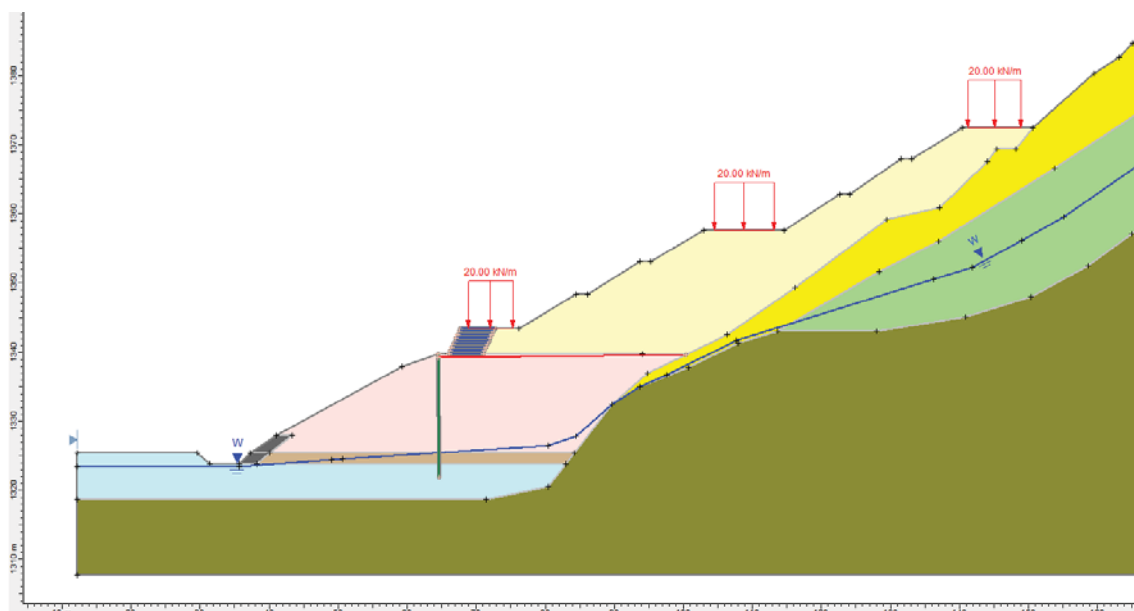


Fig. 14 – Posizionamento dell'opera di consolidamento all'interno del versante oggetto di studio lungo la sez. 10.

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).

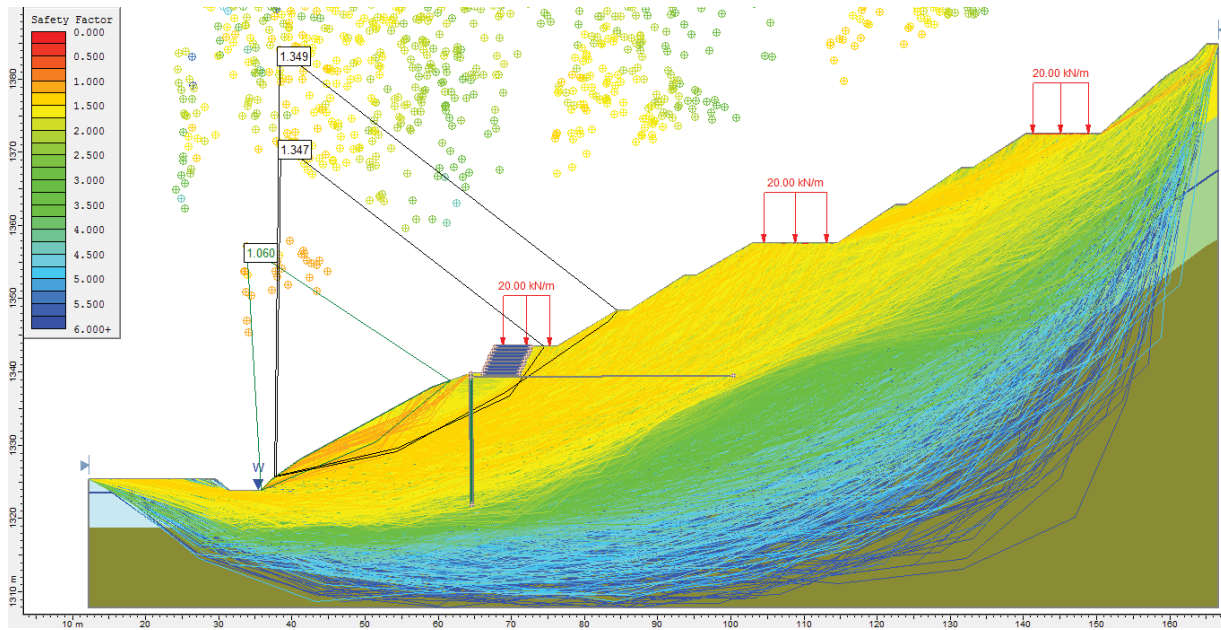


Fig. 15 – Verifica di stabilità del versante a seguito dell'inserimento di un'opera di consolidamento al piede lungo la sez. 10.

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.

15 PRESCRIZIONI 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.

16 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 prevenire 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 smarina 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 del 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.

17 ALLEGATI

Tavole di inquadramento

Documentazione bibliografica

Parametri relativi alle verifiche di stabilità

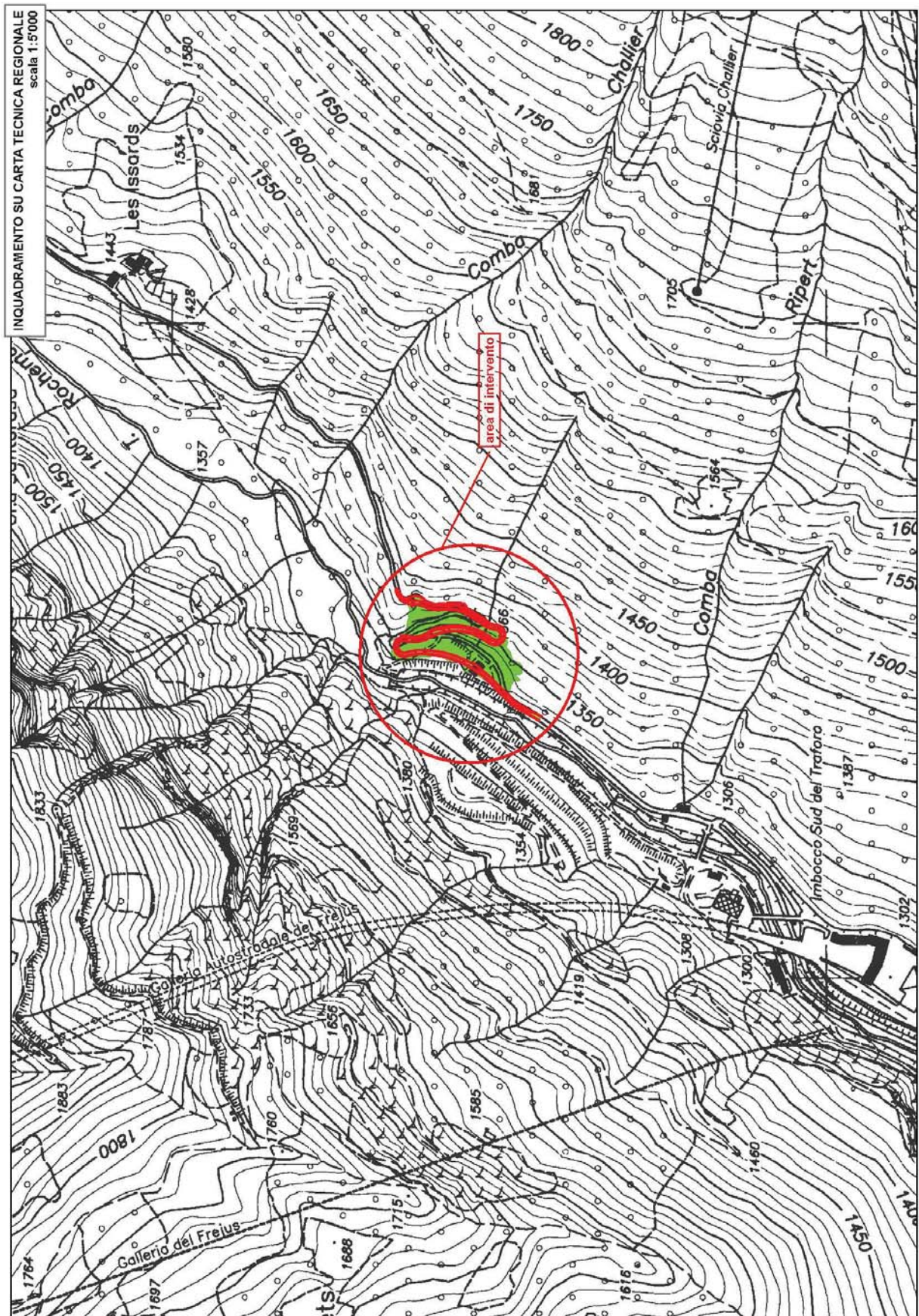
Allegato 01 - ANALISI DI LABORATORIO

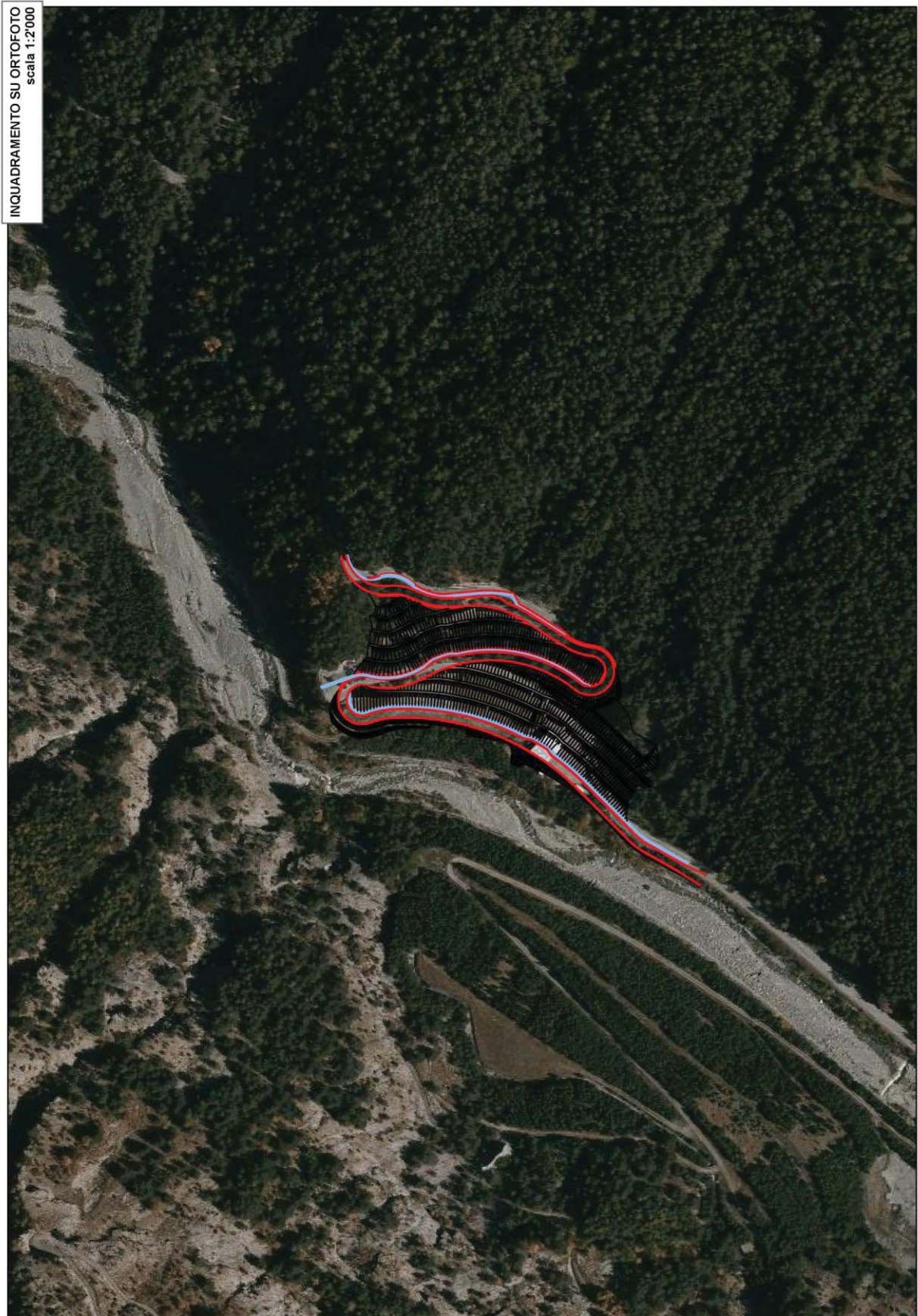
Allegato 02 - INDAGINI GEOGNOSTICHE

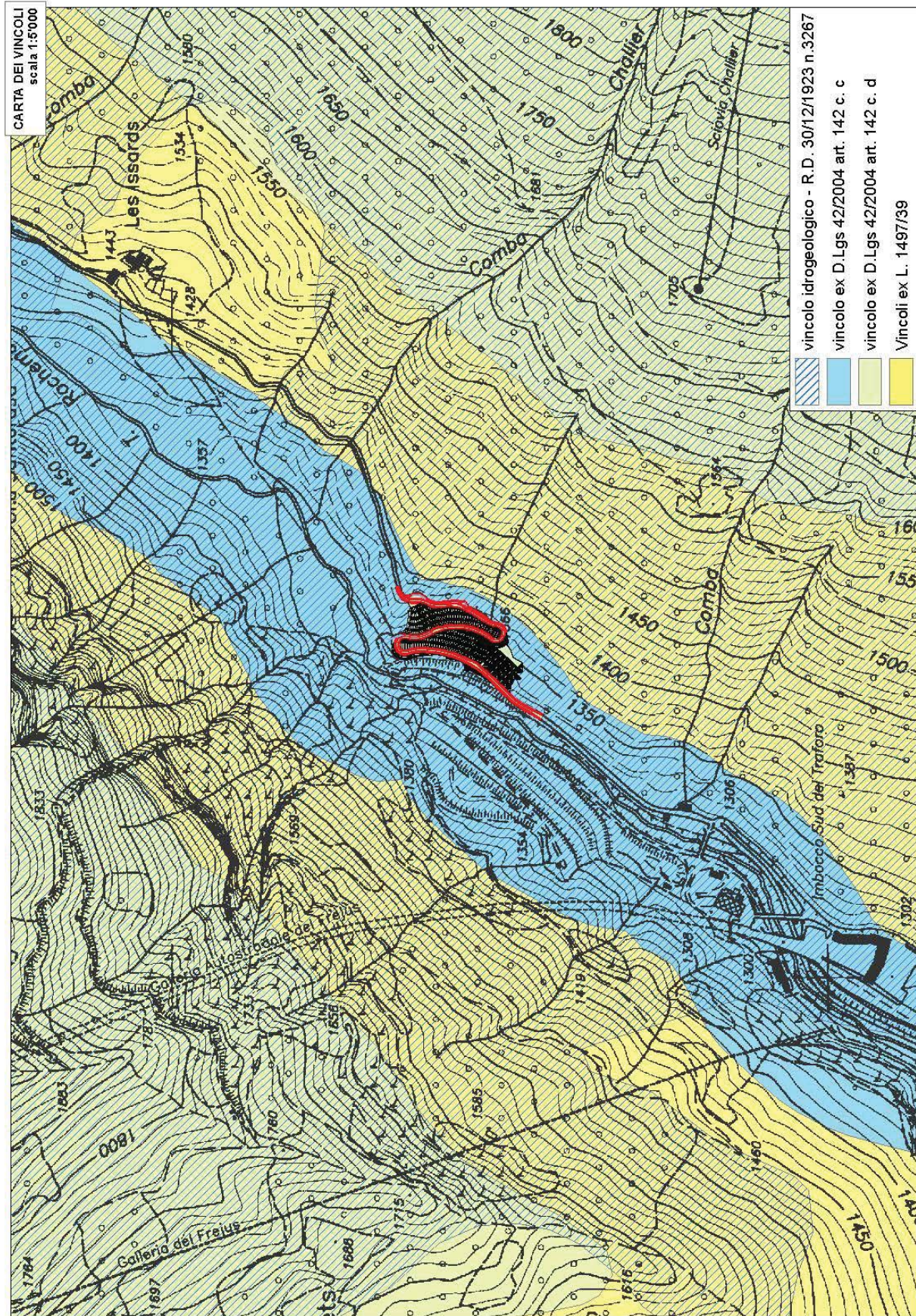
Allegato 03 - INDAGINI GEOFISICHE

Tavole di inquadramento

- Posizione opera in progetto su base CTR
- Posizione opera in progetto su base ripresa aerea (fotogrammetrico)
- Posizione opera in progetto su base CTR con Vincolo Idrogeologico







Documentazione bibliografica

Elaborati cartografici delle indagini geomorfologiche a supporto del Piano Regolatore Generale del Comune di Bardonecchia– redatti dai Dott. Geol. E. Zanella e Dott. Geol. P. Leporati

- Stralcio tratto dalla Carta geomorfologica e dei dissesti di versante – scala 1:20.000 (riprodotto fuori scala)
- Stralcio tratto dalla Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell' idoneità all' utilizzazione urbanistica – scala 1:5.000 (riprodotto fuori scala)
- Stralcio della Carta della Zonazione Urbanistica urbanistica – scala 1:5.000

Shear Strength Model: Linear
Strip Coverage: 100 percent
Tensile Strength: 80 kN/m
Pullout Strength Adhesion: 5 kN/m²
Pullout Strength Friction Angle: 40 degrees

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 0.970991
Axis Location: 73.273, 1377.577
Left Slip Surface Endpoint: 75.749, 1325.260
Right Slip Surface Endpoint: 116.612, 1348.167
Resisting Moment=78185.6 kN-m
Driving Moment=80521.5 kN-m

Method: janbu corrected

FS: 0.969421
Axis Location: 73.273, 1377.577
Left Slip Surface Endpoint: 75.749, 1325.260
Right Slip Surface Endpoint: 116.612, 1348.167
Resisting Horizontal Force=1346.6 kN
Driving Horizontal Force=1389.07 kN

Method: gle/morgenstern-price

FS: 0.967956
Axis Location: 73.273, 1377.577
Left Slip Surface Endpoint: 75.749, 1325.260
Right Slip Surface Endpoint: 116.612, 1348.167
Resisting Moment=77850.5 kN-m
Driving Moment=80427.7 kN-m
Resisting Horizontal Force=1319.03 kN
Driving Horizontal Force=1362.69 kN



COMUNE DI BARDONECCHIA
COMUNITA' MONTANA ALTA VALLE SUSA
Provincia di Torino

PIANO REGOLATORE GENERALE

VARIANTE DI ADEGUAMENTO AL PAI

(Art. 18 N.d.A.)

TGE3

CARTA GEOMORFOLOGICA E DEI DISSESTI DI VERSANTE

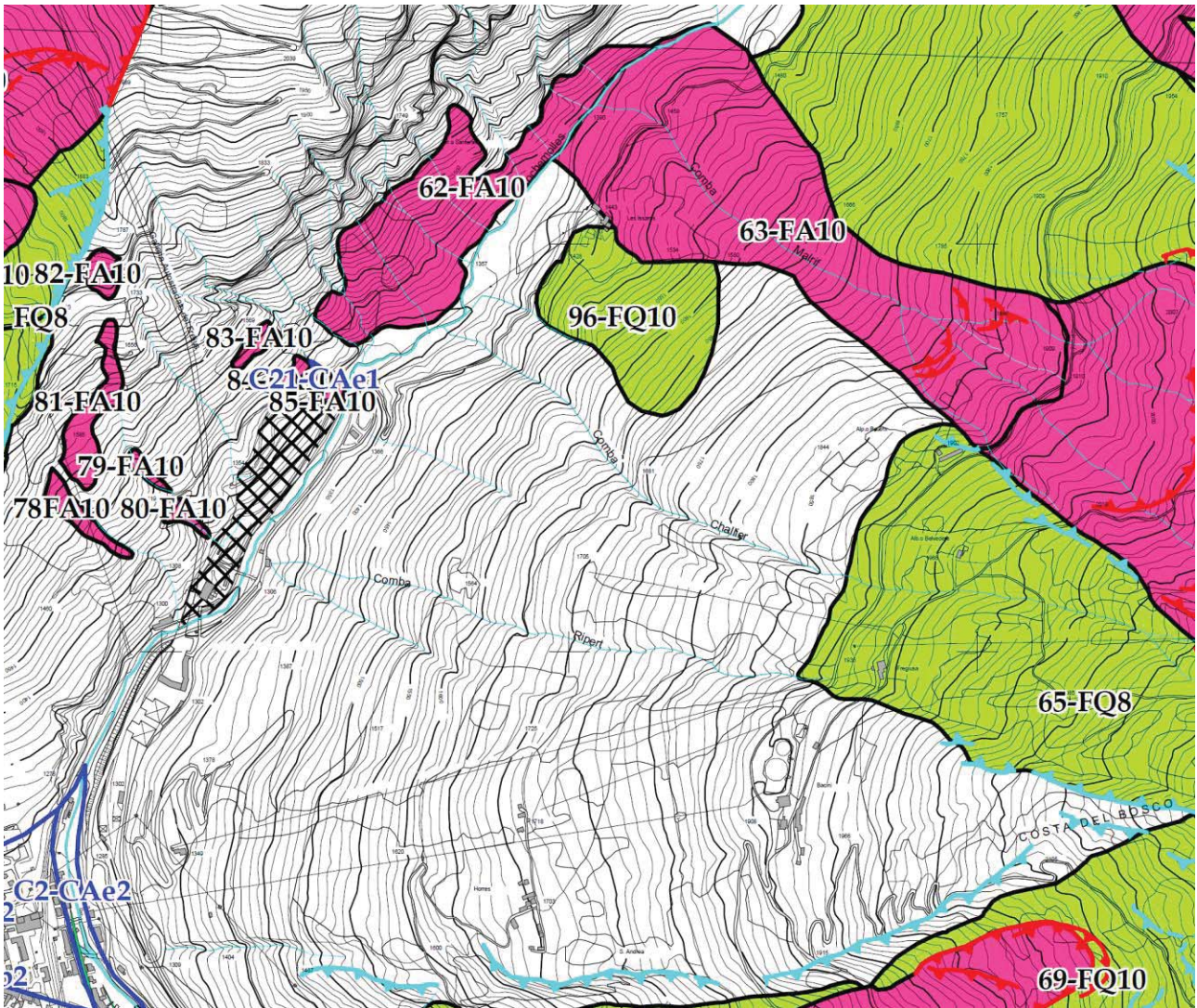
scala 1:20.000

(copia conforme all'elaborato depositato all'ARPA Piemonte e alla Direzione OOPP di Torino)

LEPORATI dr. geol. PAOLO

ZANELLA dr. geol. EUGENIO

marzo 2007



Dissesti di versante e loro stato di attività

Frane attive



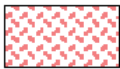
Frane quiescenti



Frane stabilizzate



Frane non cartografabili alla scala dell'elaborato

Elementi morfologici

Falde detritiche e coni attivi e loro aree di alimentazione



Movimenti di colamento della copertura detritica legati ai fenomeni di gelo e disgelo

Nicchie di distacco



fenomeni attivi



fenomeni quiescenti



Conoidi alluvionali

Le codifiche corrispondono a quelle della legenda regionale All.2 alla D.G.R. 15 luglio 2002 n.45-6656.



COMUNE DI BARDONECCHIA
COMUNITA' MONTANA ALTA VALLE SUSA
Provincia di Torino

PIANO REGOLATORE GENERALE

VARIANTE DI ADEGUAMENTO AL PAI

(Art. 18 N.d.A.)

TGE13

***CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITA'
GEOMORFOLOGICA E DELL'IDONEITA'
ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA***

scala 1:5.000

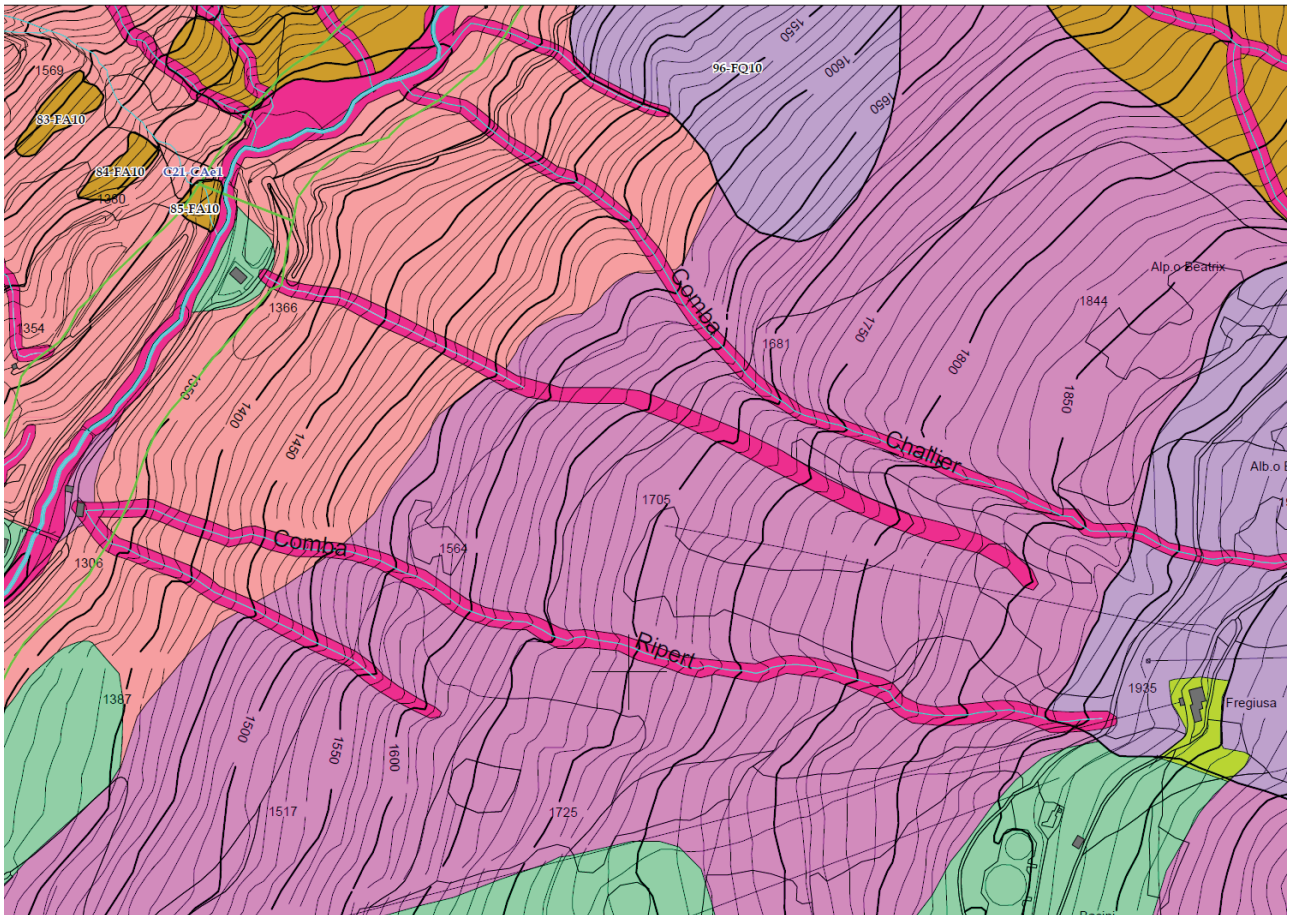
(adeguata in accoglimento delle osservazioni formulate dall'ARPA con nota prot. n.70609/SC04 del 16.06.2008 e della Dir. OO.PP. con nota prot. n.85357/14.03 del 11.12.2008)

(versione coordinata a seguito di accoglimento alle osservazioni pervenute sul Progetto Preliminare di variante)

(versione coordinata a seguito di accoglimento alle osservazioni pervenute di cui alla conferenza di pianificazione del 22.09.2010)

ZANELLA dr. geol. EUGENIO

ottobre 2010



**CLASSE II**

Porzioni di territorio nelle quali condizioni di moderata pericolosità geomorfologica ed idrogeologica possono essere agevolmente superate attraverso l'adozione ed il rispetto di accorgimenti espliciti a livello di norme di attuazione ispirate al D.M. 11 marzo 1988, realizzabili a livello di progetto esecutivo esclusivamente nell'ambito del singolo lotto edificatorio o dell'intorno significativo circostante. Tali interventi non dovranno in alcun modo incidere negativamente sulle aree limitrofe, né condizionarne la propensione all'edificabilità.

CLASSE III

Porzioni di territorio nelle quali gli elementi di pericolosità geomorfologica ed idraulica e di rischio, derivanti questi ultimi dall'urbanizzazione dell'area, sono tali da impedirne l'utilizzo qualora inedificate richiedendo, viceversa, la previsione di interventi di riassetto territoriale a tutela del patrimonio esistente.

Classe IIIa – Aree inedificate ed in edificabili per dissesti attivi e aree potenzialmente dissestabili.**Classe IIIa1**

Aree inedificate ed inedificabili per dissesto idraulico:

- aree a pericolosità elevata (EbA) definite dallo studio idraulico
- alvei attivi
- fasce di rispetto dei corsi d'acqua principali e secondari di ampiezza 10 metri misurati dal ciglio di entrambe le sponde, ad inedificabilità assoluta
- porzioni di conoidi attive a pericolosità molto elevata (CAe)

**Classe IIIa2**

Aree inedificate ed inedificabili in quanto coincidenti con settori di versante vulnerabili a motivo dell'elevata pendenza, possibile rotolito e saltazione di massi, mobilitazione dei materiali sciolti di copertura; falde e coni detritici attivi; terrazzi di erosione e relative fasce di rispetto.

**Classe IIIa3**

Aree inedificate ed inedificabili in quanto coincidenti con fenomeni franosi attivi (FA).

**Classe IIIa4**

Aree inedificate ed inedificabili in quanto soggette al distacco ed allo scorrimento di masse nevose.

Classe III Indifferenziata

Nell'ambito di tali settori, l'identificazione puntuale e cartografica delle rare edificazioni è stata omessa e trattata nell'ambito delle norme di attuazione del P.R.G.C. con specifico riferimento normativo, mentre l'analisi di dettaglio necessaria ad identificare eventuali situazioni locali meno condizionanti (*Classe II* o *Classi IIIb*) è rinviata ad eventuali future Varianti di Piano, che dovranno essere supportate da studi geomorfologici di dettaglio adeguati.

Sino ad ulteriori indagini di dettaglio, da sviluppare nell'ambito di varianti future dello strumento urbanistico, in *Classe III indifferenziata* valgono tutte le limitazioni previste per le *Classi IIIa* e sono consentiti solo gli interventi di cui alla normativa specifica.

**Classe III Indifferenziata 1 (per deformazioni gravitative profonde)**

Aree con deformazioni gravitative classificate come quiescenti (FQ), in quanto non si ha la prova dell'avvenuta stabilizzazione. Nell'ambito di tali settori possono essere identificate porzioni di territorio edificabili solo dopo studi geologici e geomorfologici di dettaglio che ne abbiano dimostrato la stabilità.

**Classe III Indifferenziata 2**

Estesi versanti indifferenziati e aree marginali ai contesti antropici in cui non sono stati riscontrati i condizionamenti negativi di cui alle sottoclassi precedenti, ma nell'insieme non edificabili per condizioni morfologiche sfavorevoli. Nell'ambito di tali settori possono essere identificate porzioni di territorio edificabili solo dopo studi geologici e geomorfologici di dettaglio che ne abbiano dimostrato la stabilità.

**Classe III Indifferenziata 3 Melezet**

Settore di territorio posto a monte della frazione – per il suo eventuale inserimento in una Classe meno penalizzante (Classe II) sono necessarie approfondite indagini sull'attività torrentizia del Rio Fosse e sulla dinamica valanghiva.

Classe IIIb

Porzioni di territorio edificate nelle quali gli elementi di pericolosità e di rischio sono tali da imporre in ogni caso interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico a tutela del patrimonio esistente.

In assenza di tali interventi di riassetto saranno consentite solo trasformazioni che non aumentino il carico antropico quali, ad esempio, interventi di manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria, risanamento conservativo ecc...; per le opere di interesse pubblico non altrimenti localizzabili varrà quanto previsto dall'art.31 della L.R. 56/77. Nuove opere o nuove costruzioni sono ammesse solo a seguito dell'attuazione degli interventi di riassetto e dell'avvenuta eliminazione e/o minimizzazione della pericolosità, con le modalità previste dalla Nota Tecnica Esplicativa alla Cir. 7/LAP.

**Classe IIIb1 Rochemolles**

Zone a modesta pericolosità che possono essere interessate o con una certa frequenza dagli effetti residuali di valanghe o più raramente da valanghe modestamente distruttive. Valgono le prescrizioni di edificabilità redatte in base agli studi condotti dal Consorzio Forestale Alta Valle Susa ed esplicitate nelle N.d.A..

**Classe IIIb2**

A seguito della realizzazione delle opere saranno possibili nuove edificazioni, ampliamenti o completamenti, (IIIb s.s.)

**Classe IIIb3**

A seguito della realizzazione delle opere di riassetto sarà possibile solo un modesto incremento del carico antropico (vedi punto 7.3 N.T.E.); da escludersi completamenti e nuove edificazioni.

**Classe IIIb4**

Anche a seguito della realizzazione di opere di sistemazione, indispensabili per la difesa dell'esistente, non sarà possibile alcun incremento del carico antropico. Tutti gli edifici esistenti situati all'interno della fascia di rispetto dei corsi d'acqua, compresi i tratti intubati, sono da considerarsi posti in classe IIIb4.

**Classe IIIb5 Rochemolles**

Porzioni di territorio urbanizzate per le quali valgono le prescrizioni di edificabilità redatte in base agli studi condotti dal Consorzio Forestale Alta Valle Susa ed esplicitate nelle N.d.A..



Area di salvaguardia "Melezet Sacro Cuore"



Area perimetrata ai sensi della Legge 3 agosto 1998 n.267 limite zona 1



Area perimetrata ai sensi della Legge 3 agosto 1998 n.267 - limite zona 2 modificata



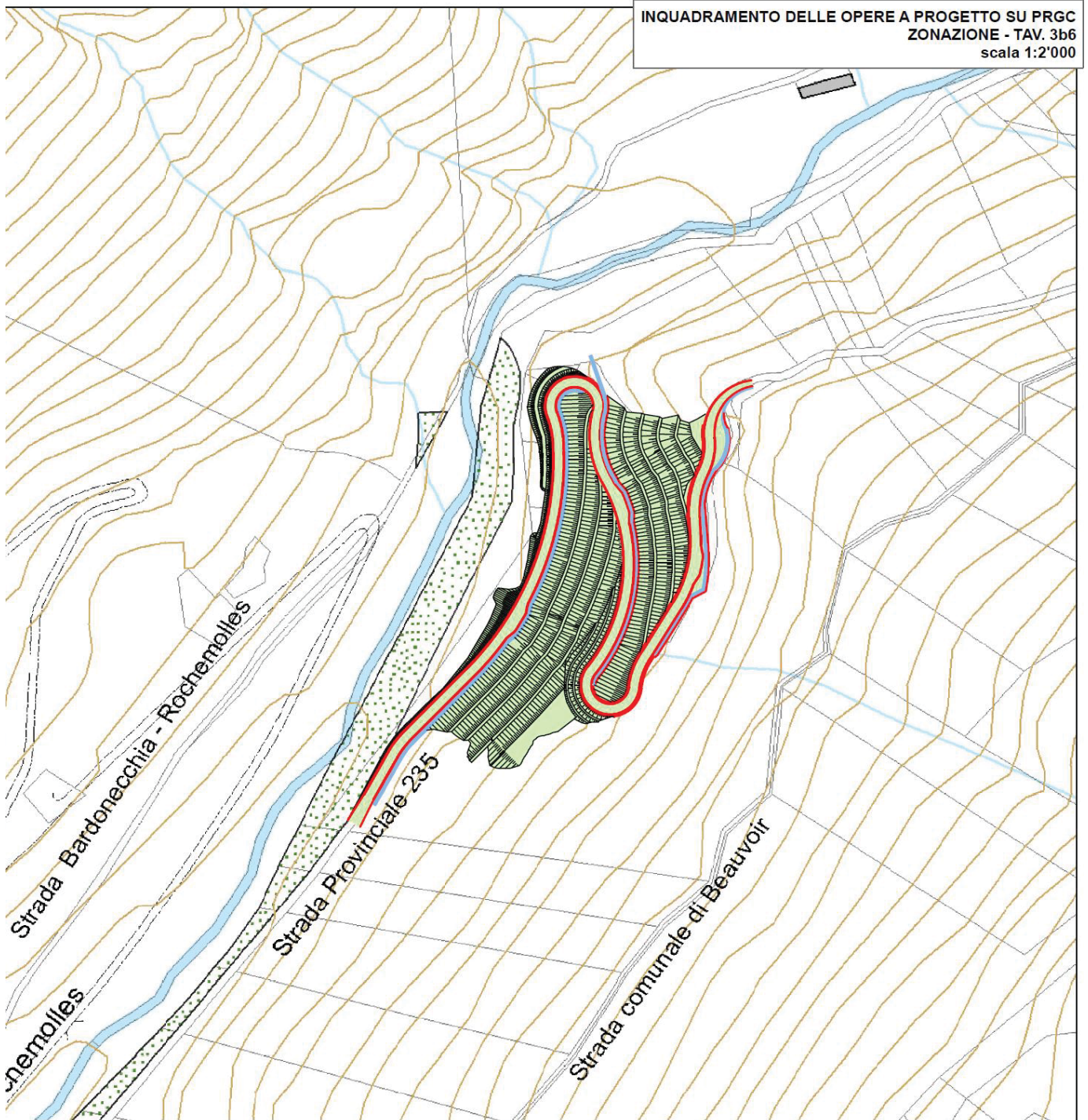
Limite dell'area soggetta all'onda di piena per crollo dei bacini artificiali.

In generale, per gli edifici isolati, grange, grandi baite da tempo esistenti o costituenti parte del tessuto storico delle varie frazioni, nell'ottica del recupero dell'esistente già storicamente insediato, purché non ricadenti in aree di frana attiva, inondabili o sottoposte a valanga, si ritiene possibile la ristrutturazione e la realizzazione nell'interno degli stessi edifici di unità abitative, senza aumento di superficie o volume, previo studio geologico-geotecnico eventualmente supportato dai risultati di indagini dirette e di sistemi di monitoraggio già esistenti o di nuovo impianto, che ne dimostri la fattibilità nei confronti della sicurezza della popolazione insediata.

Inoltre si ritiene possibile, qualora le condizioni di pericolosità dell'area lo consentano tecnicamente, la realizzazione di nuove costruzioni che riguardino edifici per attività agricole e residenze rurali connesse alla conduzione aziendale. Tali edifici dovranno risultare non diversamente localizzabili nell'ambito dell'azienda agricola, e la loro fattibilità verificata ed accertata dopo opportune indagini geologiche e idrogeologiche.

La progettazione dovrà prevedere accorgimenti tecnici specifici finalizzati alla riduzione ed alla mitigazione del rischio e dei fattori di pericolosità. Andrà comunque sottoscritta la dichiarazione liberatoria prevista all'art. 18 comma 7 delle Norme di attuazione del PAI adottate con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 del 26.04.2001 e approvate con D.P.C.M. del 24.05.2001.

	REGIONE PIEMONTE - PROVINCIA DI TORINO COMUNE DI BARDONECCHIA COMUNITA' MONTANA ALTA VAL SUSA	P.R.G.C.
		VARIANTE GENERALE DI ADEGUAMENTO AL PAI ai sensi dell'art.18 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio dell'Assetto Idrogeologico
		PROGETTO DEFINITIVO
TAVOLA		
INQUADRAMENTO GENERALE		
ZONAZIONE		3B6
ottobre 2010	scala 1: 5.000	
Il progetto StudioAF arch. Giovanni Alifredi arch. Alessandro Fubini	Resp. Del Procedimento e del Servizio E.P. e Urbanistica ing. Francesco Cecchini	Il Sindaco
I collaboratori arch. Rossella Enrico	Il Segretario Comunale	
<p>The map displays a central area divided into nine numbered zones (3B1 to 3B9) by a grid. Zone 3B6, located in the center-right, is highlighted with a brown grid pattern. The map also shows a network of blue lines representing water courses and a red outline indicating the overall project boundary.</p>		



LEGENDA

	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 COMPRESORIALI
	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)
	Vcs - 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 (COMPRESORI 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
	ZRcs - ZONE RESIDENZIALI (Variante Campo Smith)
	B2 - ZONE RESIDENZIALI DI COMPLETAMENTO
	B2/S - ZONE RESIDENZIALI DI COMPLETAMENTO
	RS - ZONE RESIDENZIALI SATURE ED EDIFICI ISOLATI
	C - ZONE DI ESPANSIONE RESIDENZIALE
	AREA DI RICOGNIZIONE
	SAGOMA LIMITE DI FABBRICAZIONE FUORI TERRA (Variante Campo Smith)
	VIABILITA' P.R.G. IN PROGETTO
	PERCORSI PEDONALI PROTETTI
	UNITA' DI INTERVENTO DEL P.R.G.
	UNITA' DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA P.R.G.
	AREE AD EDIFICAZIONE NON ATTUABILE PER RAGIONI DI NATURA GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA ai sensi art. 35.17
	ZONE DI TUTELA INDIRETTA TUR D'AMUN
	AREE DI INTERESSE PARTICOLARMENTE IMPORTANTE (Tur d'Amun)
	LIMITE PIANO PARTICOLAREGGIATO DELLE ZONE B DEL CAPOLUOGO
	LIMITE DELLA VARIANTE AL PIANO PARTICOLAREGGIATO DEL CAPOLUOGO
	CONFINE COMUNALE

PARAMETRI RELATIVI ALLE VERIFICHE DI STABILITÀ

VERIFICA DI STABILITÀ IN BACK ANALYSIS SULLA SEZ. 7

Project Title: sez. 7
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Janbu corrected

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Segment Length: Auto Defined
Minimum Elevation: Not Defined
Upper Angle: Auto Defined
Lower Angle: Auto Defined

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.103

Material Properties

Material: smarino nuovo

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: smarino vecchio migliore

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 30 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: smarino vecchio peggiore

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³

Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 27 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: glaciale
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 40 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: alluvioni
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: calcescisti alterati
Strength Type: Generalised Hoek-Brown
Unit Weight: 25 kN/m³
Unconfined Compressive Strength (intact): 75000 kPa
mb: 0.574326
s: 0.000335463
a: 0.511368
Water Surface: None

Material: scogliera
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 25 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 45 degrees
Water Surface: None

Material: colluviale
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: None

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 1.028140
Axis Location: 138.382, 172.637
Left Slip Surface Endpoint: 150.225, 109.672
Right Slip Surface Endpoint: 195.861, 144.332
Resisting Moment=110213 kN-m
Driving Moment=107197 kN-m

Method: janbu corrected
FS: 1.018620
Axis Location: 143.925, 176.773
Left Slip Surface Endpoint: 155.766, 113.818
Right Slip Surface Endpoint: 201.394, 148.473
Resisting Horizontal Force=2036.87 kN
Driving Horizontal Force=1999.64 kN

Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.012520
Axis Location: 143.925, 176.773
Left Slip Surface Endpoint: 155.766, 113.818

Right Slip Surface Endpoint: 201.394, 148.473
Resisting Moment=153241 kN-m
Driving Moment=151347 kN-m
Resisting Horizontal Force=2008.61 kN
Driving Horizontal Force=1983.78 kN

VERIFICA DI STABILITA' SULLA SEZ. 7 DI PROGETTO

Project Title: sez. 7 di progetto 1
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Janbu corrected

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Segment Length: Auto Defined
Minimum Elevation: Not Defined
Upper Angle: Auto Defined
Lower Angle: Auto Defined

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.103
2 Distributed Loads present:
Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 20 kN/m

Material Properties

Material: smarino nuovo
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: smarino vecchio migliore
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 30 degrees

Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: smarino vecchio peggiore

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 27 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: glaciale

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 40 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: alluvioni

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: calcescisti alterati

Strength Type: Generalised Hoek-Brown
Unit Weight: 25 kN/m³
Unconfined Compressive Strength (intact): 75000 kPa
mb: 0.574326
s: 0.000335463
a: 0.511368
Water Surface: None

Material: scogliera

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 25 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 45 degrees
Water Surface: None

Material: colluviale

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: None

Support Properties

Support Type: GeoTextile
Force Application: Passive
Force Orientation: Bisector of Parallel and Tangent
Anchorage: Slope Face
Shear Strength Model: Linear
Strip Coverage: 100 percent
Tensile Strength: 80 kN/m
Pullout Strength Adhesion: 5 kN/m²
Pullout Strength Friction Angle: 40 degrees

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 0.996776
Axis Location: 82.811, 111.214
Left Slip Surface Endpoint: 84.360, 90.265

Right Slip Surface Endpoint: 100.499, 99.883
Resisting Moment=4286.46 kN-m
Driving Moment=4300.32 kN-m

Method: janbu corrected

FS: 0.981181
Axis Location: 82.811, 111.214
Left Slip Surface Endpoint: 84.360, 90.265
Right Slip Surface Endpoint: 100.499, 99.883
Resisting Horizontal Force=194.291 kN
Driving Horizontal Force=198.018 kN

Method: gle/morgenstern-price

FS: 0.976598
Axis Location: 82.811, 111.214
Left Slip Surface Endpoint: 84.360, 90.265
Right Slip Surface Endpoint: 100.499, 99.883
Resisting Moment=4289.81 kN-m
Driving Moment=4392.6 kN-m
Resisting Horizontal Force=193.011 kN
Driving Horizontal Force=197.636 kN

VERIFICA DI STABILITA' IN BACK ANALYSIS SULLA SEZ. 10

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Janbu corrected

Number of slices: 30
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Segment Length: Auto Defined
Minimum Elevation: Not Defined
Upper Angle: Auto Defined
Lower Angle: Auto Defined

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.103

Material Properties

Material: smarino nuovo

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: glaciale

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 40 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: colluviale

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: base riporto

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 32 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: alluvioni

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: calcescisti

Strength Type: Generalised Hoek-Brown
Unit Weight: 25 kN/m³
Unconfined Compressive Strength (intact): 75000 kPa
mb: 0.574326
s: 0.000335463
a: 0.511368
Water Surface: None

Material: scogliera

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 25 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 45 degrees
Water Surface: None

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.028540
Axis Location: 129.156, 1401.825
Left Slip Surface Endpoint: 137.949, 1361.652
Right Slip Surface Endpoint: 166.570, 1384.756
Resisting Moment=37744.7 kN-m
Driving Moment=36697.4 kN-m

Method: janbu corrected

FS: 1.011300
Axis Location: 127.842, 1401.988
Left Slip Surface Endpoint: 137.146, 1360.862
Right Slip Surface Endpoint: 166.325, 1384.756
Resisting Horizontal Force=1341.34 kN
Driving Horizontal Force=1326.35 kN

Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.008460
Axis Location: 129.156, 1401.825
Left Slip Surface Endpoint: 137.949, 1361.652
Right Slip Surface Endpoint: 166.570, 1384.756
Resisting Moment=37356.2 kN-m
Driving Moment=37042.8 kN-m
Resisting Horizontal Force=753.717 kN
Driving Horizontal Force=747.395 kN

VERIFICA DI STABILITA' SULLA SEZ. 10 DI PROGETTO

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Janbu corrected
Number of slices: 30
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Segment Length: Auto Defined
Minimum Elevation: Not Defined
Upper Angle: Auto Defined
Lower Angle: Auto Defined

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.103
2 Distributed Loads present:
Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 20 kN/m

Material Properties

Material: smarino nuovo
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 2 kPa

Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: glaciale

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 40 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: colluviale

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: smarino vecchio

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 30 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: base riporto

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 32 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: alluvioni

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: calcescisti

Strength Type: Generalised Hoek-Brown
Unit Weight: 25 kN/m³
Unconfined Compressive Strength (intact): 75000 kPa
mb: 0.574326
s: 0.000335463
a: 0.511368
Water Surface: None

Material: scogliera

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 25 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 45 degrees
Water Surface: None

Support Properties

Support Type: GeoTextile
Force Application: Passive
Force Orientation: Bisector of Parallel and Tangent
Anchorage: Slope Face
Shear Strength Model: Linear

Strip Coverage: 100 percent
Tensile Strength: 80 kN/m
Pullout Strength Adhesion: 5 kN/m²
Pullout Strength Friction Angle: 40 degrees

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.061130
Axis Location: 33.805, 1357.140
Left Slip Surface Endpoint: 35.748, 1323.854
Right Slip Surface Endpoint: 61.599, 1338.722
Resisting Moment=18775.2 kN-m
Driving Moment=17693.5 kN-m

Method: janbu corrected

FS: 1.049220
Axis Location: 33.805, 1357.140
Left Slip Surface Endpoint: 35.748, 1323.854
Right Slip Surface Endpoint: 61.599, 1338.722
Resisting Horizontal Force=530.384 kN
Driving Horizontal Force=505.504 kN

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.059670
Axis Location: 33.805, 1357.140
Left Slip Surface Endpoint: 35.748, 1323.854
Right Slip Surface Endpoint: 61.599, 1338.722
Resisting Moment=18927.3 kN-m
Driving Moment=17861.4 kN-m
Resisting Horizontal Force=527.842 kN
Driving Horizontal Force=498.118 kN

VERIFICA DI STABILITA' IN BACK ANALYSIS SULLA SEZ. 12

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Janbu corrected
Number of slices: 30
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Segment Length: Auto Defined
Minimum Elevation: Not Defined

Upper Angle: Auto Defined
Lower Angle: Auto Defined

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.103

2 Distributed Loads present:

Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 20 kN/m

Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 20 kN/m

Material Properties

Material: smarino nuovo

Strength Type: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 18 kN/m³

Cohesion: 2 kPa

Friction Angle: 38 degrees

Water Surface: Water Table

Custom Hu value: 1

Material: glaciale

Strength Type: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 22 kN/m³

Cohesion: 5 kPa

Friction Angle: 40 degrees

Water Surface: Water Table

Custom Hu value: 1

Material: smarino vecchio

Strength Type: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion: 2 kPa

Friction Angle: 30 degrees

Water Surface: Water Table

Custom Hu value: 1

Material: base riporto

Strength Type: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion: 2 kPa

Friction Angle: 32 degrees

Water Surface: Water Table

Custom Hu value: 1

Material: alluvioni

Strength Type: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 22 kN/m³

Cohesion: 0 kPa

Friction Angle: 38 degrees

Water Surface: Water Table

Custom Hu value: 1

Material: calcescisti

Strength Type: Generalised Hoek-Brown

Unit Weight: 25 kN/m³

Unconfined Compressive Strength (intact): 75000 kPa

mb: 0.574326

s: 0.000335463

a: 0.511368

Water Surface: None

Material: scogliera

Strength Type: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 25 kN/m³

Cohesion: 0 kPa

Friction Angle: 45 degrees

Water Surface: None

Global MinimumsMethod: bishop simplified

FS: 0.995052

Axis Location: 77.792, 1353.454

Left Slip Surface Endpoint: 79.070, 1327.325

Right Slip Surface Endpoint: 99.462, 1338.799

Resisting Moment=6780.67 kN-m

Driving Moment=6814.39 kN-m

Method: janbu corrected

FS: 0.979620

Axis Location: 77.792, 1353.454

Left Slip Surface Endpoint: 79.070, 1327.325

Right Slip Surface Endpoint: 99.462, 1338.799

Resisting Horizontal Force=233.064 kN

Driving Horizontal Force=237.913 kN

Method: gle/morgenstern-price

FS: 0.983282

Axis Location: 77.792, 1353.454

Left Slip Surface Endpoint: 79.070, 1327.325

Right Slip Surface Endpoint: 99.462, 1338.799

Resisting Moment=6718.68 kN-m

Driving Moment=6832.92 kN-m

Resisting Horizontal Force=229.806 kN

Driving Horizontal Force=233.713 kN

VERIFICA DI STABILITA' SULLA SEZ. 12 DI PROGETTO

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Failure Direction: Right to Left

Units of Measurement: SI Units

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³

Groundwater Method: Water Surfaces

Data Output: Standard

Calculate Excess Pore Pressure: Off

Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off

Random Numbers: Pseudo-random Seed

Random Number Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Janbu corrected

Number of slices: 30

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search

Number of Surfaces: 5000

Pseudo-Random Surfaces: Enabled

Convex Surfaces Only: Disabled

Segment Length: Auto Defined

Minimum Elevation: Not Defined

Upper Angle: Auto Defined

Lower Angle: Auto Defined

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.103

2 Distributed Loads present:

Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 20 kN/m

Material Properties

Material: smarino nuovo

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: glaciale

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 40 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: smarino vecchio

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 30 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: base riporto

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 2 kPa
Friction Angle: 32 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: alluvioni

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: calcescisti

Strength Type: Generalised Hoek-Brown
Unit Weight: 25 kN/m³
Unconfined Compressive Strength (intact): 75000 kPa
mb: 0.574326
s: 0.000335463
a: 0.511368
Water Surface: None

Material: scogliera

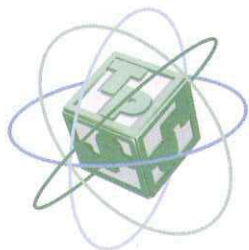
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 25 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 45 degrees
Water Surface: None

Support Properties

Support Type: GeoTextile
Force Application: Passive
Force Orientation: Bisector of Parallel and Tangent
Anchorage: Slope Face

ALLEGATO 01

ANALISI DI LABORATORIO



TECNO PIEMONTE S.p.A.

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA
AUT. MIN.: INTERNO - SALUTE - SVILUPPO ECONOMICO - ISTRUZIONE UNIVERSITA' E RICERCA
INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 - DPR. 380/01
INDAGINI - GEOTECNICA TERRENI E ROCCE - MARCATURA CE ORGANISMO NOTIFICATO N° 1372



Committente: **SITAF S.p.A.**
Frazione San Giuliano, 2
10059 SUSA (TO)

Certificato di prova n.:	07204/GT	del	26/11/2012
Verbale di accettazione n	1495/GT	del	21/11/2012
Vs. rif.: -			

Oggetto:	ANALISI GRANULOMETRICA E CLASSIFICAZIONE		
Normativa di riferimento:	UNI CEN ISO/TS 17892; ASTM D421; Raccomandazioni AGI		
Cantiere:	Tunnel del Frejus T4 - galleria di sicurezza		
Ente Appaltante:	-		
Direttore dei Lavori:	-		
Identificazione del campione			
Contrassegno/Cod. prova:	smarino galleria di sicurezza	Modalità accettazione:	prelevato da ns. tecnici
Provenienza/modalità prelievo:	lato Francia	Quota/Profondità:	-
Ubicazione prelievo/sondaggio	SOCAMO - Modane (Francia)	Data prelievo:	20/11/2012
Sezione/Progressiva:	-	Data prova:	22/11/2012
Descrizione macroscopica:	terra ghiaiosa sabbiosa		

Metodo di prova: *analisi eseguita mediante vagliatura via umida*

serie setacci ISO	trattenuto parz.	passante progr.
apertura [mm]	[%]	[%]
100	0,0	100,0
60	8,5	91,5
40	4,6	86,9
25	13,4	73,5
10	23,4	50,1
5	12,4	37,7
2	7,1	30,6
0,425	12,0	18,6
0,075	9,1	9,5
peso iniziale:	15487	g

LIMITI DI ATTERBERG

Limite liquido 0 (n.d.)
 Limite plastico 0 (n.d.)
 Indice plastico 0 (NP)
 Indice di gruppo 0

Classificazione UNI 10006 A1-a
Classificazione U.S.C.S. GW-GM

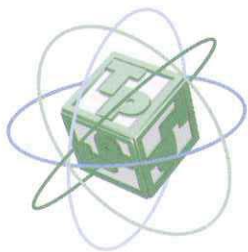
Lo sperimentatore
Dott. Geol. Mauro BIANCO

Il direttore del laboratorio geotecnico
Dott. Geol. Marco BETTIO

SEDE AMM. / OPERATIVA:
Statale Valsesia, 20
13035 Lenta (Vc)

SEDE LEGALE:
Via C. Pizzorno, 12
28078 Romagnano Sesia (No)

UNITÀ LOCALI:
13836 Cossato (Bi) - Via Corridoni, 54
00161 Roma - Via De Rossi, 4



TECNO PIEMONTE S.p.A.

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA
AUT. MIN.: INTERNO - SALUTE - SVILUPPO ECONOMICO - ISTRUZIONE UNIVERSITA' E RICERCA
INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 - DPR. 380/01
INDAGINI - GEOTECNICA TERRENI E ROCCE - MARCATURA €€ ORGANISMO NOTIFICATO N° 1372



Committente:

SITAF S.p.A.
Frazione San Giuliano, 2
10059 SUSÀ (TO)

CERTIFICATO DI PROVA N°	07210/GT	DEL	27/11/2012	Pagina 1 di 5
Verbale di accettazione n°	1495/GT	del	21/11/2012	Vs. rif. : -

SETTORE	GEOTECNICA - PROVE DI LABORATORIO SULLE TERRE
---------	---

CANTIERE	Tunnel del Frejus T4 - galleria di sicurezza	
GENERAL CONTRACTOR	-	
ENTE APPALTANTE	-	
DIRETTORE DEI LAVORI	-	
DESCRIZIONE MATERIALE	N. 1 campioni rimaneggiato di terra ghiaiosa sabbiosa	DATA ARRIVO AL LABORATORIO
	Contrassegno: smarino galleria di sicurezza	21/11/2012
	Ubicazione prelievo: SOCAMO - Modane (Francia)	MODALITA' DI ACCETTAZIONE
	Provenienza/Loc. prel.: lato Francia	Prelevato da NS. tecnici
	Sezione: -	
	Prof./q.ta prelievo (m): -	
	Data prelievo: 20/11/2012	
PROVE ESEGUITE	Prova di taglio diretto	NORMA DI RIFERIMENTO
		Racc. A.G.I. - ASTM D3080

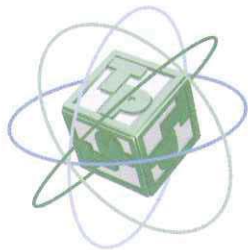
I risultati si riferiscono esclusivamente ai campioni sottoposti a prova (UNI CEI EN ISO/IEC 17025)

LO SPERIMENTATORE	Dott. Geol. Mauro BIANCO
IL DIRETTORE DEL LABORATORIO GEOTECNICO	Dott. Geol. Marco BETTIO

SEDE AMM. / OPERATIVA:
Statale Valsesia, 20
13035 Lenta (Vc)

SEDE LEGALE:
Via C. Pizzorno, 12
28078 Romagnano Sesia (No)

UNITÀ LOCALI:
13836 Cossato (Bi) - Via Corridoni, 54
00161 Roma - Via De Rossi, 4



TECNO PIEMONTE S.p.A.

CENTRO PROVE – RICERCHE – AMBIENTE – SERVIZI PER INGEGNERIA
AUT. MIN.: INTERNO - SALUTE - SVILUPPO ECONOMICO – ISTRUZIONE UNIVERSITA' E RICERCA
INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 – DPR. 380/01
INDAGINI – GEOTECNICA TERRENI E ROCCE - MARCATURA C€ ORGANISMO NOTIFICATO N° 1372



Certificato di prova n. 07210/GT del 27/11/2012 pagina 2 di 5
Verbale di accettazione n. 1495/GT del 21/11/12 Committente: SITAF S.p.A.

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Normativa di riferimento: Raccomandazioni A.G.I. - ASTM D3080

Cantiere: Tunnel del Frejus T4 - galleria di sicurezza

Data inizio prova: 13/11/2012 Data consegna campione al laboratorio: 21/11/2012

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Contrassegno:	smarino galleria di sicurezza	Provenienza/Loc. prel.:	lato Francia
Ubicazione prelievo:	SOCAMO - Modane (Francia)	Prof./q.ta prelievo (m):	-
Sezione:	-	Data prelievo:	20/11/2012
Descrizione macroscopica:	terra ghiaiosa sabbiosa		

CARATTERISTICHE DEI PROVINI

Provinci ricavati su pass. 5 mm, mediante costipamento manuale	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
Diametro (mm)	63,50	63,50	63,50
Sezione (cm ²)	31,669	31,669	31,669
Volume iniziale V _i (cm ³)	95,008	95,008	95,008
Altezza iniziale (mm)	30,00	30,00	30,00
Altezza finale (mm)	29,87	29,63	29,55
Massa tara (g)	81,56	78,05	78,18
Massa tara + massa umida iniziale (g)	286,93	279,06	284,16
Massa provino umido finale (g)	220,03	217,22	220,64
Massa provino secco (g)	195,34	191,33	195,87
Massa dell'unità di volume γ' (g/cm ³)	2,162	2,116	2,168
Massa secca dell'unità di volume γ_d (g/cm ³)	2,056	2,014	2,062
Massa specifica del terreno g_s (g/cm ³)	2,789	2,789	2,789
Grado di saturazione iniziale S _i	0,40	0,37	0,41
Grado di saturazione finale S _f	0,99	0,98	1,00
Contenuto d'acqua iniziale w _n (%)	5,13	5,06	5,16
Contenuto d'acqua finale w _f (%)	12,64	13,53	12,65

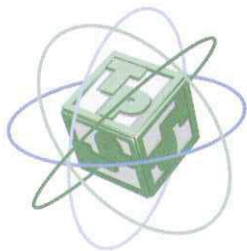
Lo sperimentatore

Il direttore del laboratorio geotecnico

SEDE AMM. / OPERATIVA:
Statale Valsesia, 20
13035 Lenta (Vc)

SEDE LEGALE:
Via C. Pizzomo, 12
28078 Romagnano Sesia (No)

UNITÀ LOCALI:
13836 Cossato (Bi) - Via Corridoni, 54
00161 Roma - Via De Rossi, 4



TECNO PIEMONTE S.p.A.

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA
AUT. MIN.: INTERNO - SALUTE - SVILUPPO ECONOMICO - ISTRUZIONE UNIVERSITA' E RICERCA
INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 - DPR. 380/01
INDAGINI - GEOTECNICA TERRENI E ROCCE - MARCATURA CE ORGANISMO NOTIFICATO N° 1372

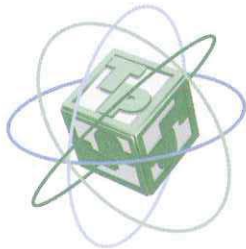


Certificato di prova n.	07210/GT	del	27/11/12	pagina 3 di 5							
Verbale di accettazione n.	1495/GT	del	21/11/12	Committente:	SITAF S.p.A.						
PROVA DI TAGLIO DIRETTO											
Normativa di riferimento:	Raccomandazioni A.G.I. - ASTM D3080										
Cantiere:	Tunnel del Frejus T4 - galleria di sicurezza										
Data inizio prova:	13/11/2012	Data consegna campione al laboratorio:	21/11/2012								
IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE											
Contrassegno:	smarino galleria di sicurezza	Provenienza/Loc. prel.:	lato Francia								
Ubicazione prelievo:	SOCAMO - Modane (Francia)	Prof./q.ta prelievo (m):	-								
Sezione:	-	Data prelievo:	20/11/2012								
DATI DI PROVA											
provino 1				provino 2				provino 3			
Sv (mm)	Sh (mm)	Load (N)	t (kPa)	Sv (mm)	Sh (mm)	Load (N)	t (kPa)	Sv (mm)	Sh (mm)	Load (N)	t (kPa)
0,000	0,000	0	0	0,000	0,000	0	0	0,000	0,000	0	0
0,000	0,012	20	6	0,005	0,040	43	14	-0,010	0,002	4	1
-0,036	0,061	51	16	-0,006	0,116	95	30	-0,015	0,005	24	8
-0,018	0,130	66	21	-0,002	0,213	141	44	-0,017	0,029	60	25
0,007	0,222	90	29	0,007	0,279	171	54	-0,012	0,129	126	40
0,030	0,312	109	34	0,016	0,352	221	70	-0,002	0,202	190	60
0,041	0,408	127	40	0,025	0,449	242	76	0,005	0,262	259	82
0,048	0,505	141	45	0,030	0,542	266	84	0,020	0,328	327	103
0,055	0,597	158	50	0,032	0,638	290	92	0,036	0,394	387	122
0,059	0,696	172	54	0,046	0,741	309	98	0,051	0,466	440	139
0,059	0,800	185	58	0,053	0,847	328	104	0,061	0,544	486	154
0,059	0,901	195	61	0,058	0,947	344	109	0,067	0,629	526	166
0,059	1,001	205	65	0,067	1,050	359	113	0,074	0,719	548	173
0,059	1,105	212	67	0,072	1,163	371	117	0,087	0,811	568	179
0,059	1,208	217	69	0,081	1,256	381	120	0,095	0,904	590	186
0,061	1,310	220	70	0,088	1,365	391	123	0,097	0,989	619	195
0,061	1,411	223	71	0,093	1,465	402	127	0,105	1,071	647	204
0,059	1,518	226	71	0,097	1,581	411	130	0,120	1,173	674	213
0,061	1,628	228	72	0,100	1,691	420	133	0,133	1,261	698	220
0,061	1,737	229	72	0,104	1,794	427	135	0,138	1,351	720	227
0,061	1,843	232	73	0,109	1,910	435	137	0,138	1,448	738	233
0,061	1,954	235	74	0,111	2,013	443	140	0,143	1,548	758	239
0,061	2,058	236	75	0,116	2,120	450	142	0,148	1,640	776	245
0,061	2,169	238	75	0,118	2,219	456	144	0,151	1,742	791	250
0,061	2,273	238	75	0,120	2,336	463	146	0,153	1,834	807	255
0,061	2,383	239	76	0,123	2,432	470	148	0,153	1,939	820	259
0,061	2,490	239	76	0,127	2,532	475	150	0,164	2,036	833	263
0,061	2,600	240	76	0,120	2,638	479	151	0,171	2,133	846	267
0,059	2,707	240	76	0,120	2,728	484	153	0,171	2,242	862	272
0,061	2,815	242	76	0,118	2,834	480	155	0,171	2,340	873	276
0,061	2,922	240	76	0,116	2,940	485	156	0,174	2,446	888	281
0,061	3,028	240	76	0,118	3,043	489	158	0,174	2,548	899	284
0,061	3,132	239	76	0,118	3,156	503	159	0,176	2,648	910	287
0,061	3,238	239	76	0,118	3,252	507	160	0,176	2,757	924	292
0,061	3,342	240	76	0,120	3,355	510	161	0,174	2,862	935	295
0,061	3,453	238	75	0,120	3,462	513	162	0,176	2,957	946	299
0,061	3,561	240	76	0,120	3,568	518	164	0,184	3,056	955	301
0,059	3,665	239	76	0,118	3,674	521	164	0,187	3,161	966	305
0,059	3,773	241	76	0,118	3,774	525	166	0,187	3,265	975	308
0,061	3,882	240	76	0,118	3,877	527	167	0,187	3,374	983	311
0,061	3,983	241	76	0,120	3,973	529	167	0,187	3,469	994	314
0,064	4,090	241	76	0,118	4,080	530	167	0,187	3,581	999	315
0,064	4,196	242	76	0,118	4,179	527	166	0,187	3,688	998	315
0,064	4,297	241	76	0,120	4,249	525	166	0,187	3,800	998	315
0,064	4,392	242	76	0,120	4,317	521	165	0,187	3,911	992	313
0,064	4,502	240	76	0,120	4,399	521	165	0,197	4,009	990	313
Lo sperimentatore			Il direttore del laboratorio geotecnico								

SEDE AMM. / OPERATIVA:
Statale Valsesia, 20
13035 Lenta (Vc)

SEDE LEGALE:
Via C. Pizzorno, 12
28078 Romagnano Sesia (No)

UNITÀ LOCALI:
13836 Cossato (Bi) - Via Corridoni, 54
00161 Roma - Via De Frossi, 4



Certificato di prova n.	07210/GT	del	27/11/12	pagina	4 di 5
Verbale di accettazione n.	1495/GT	del	21/11/12	Committente:	SITAF S.p.A.

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Normativa di riferimento: Raccomandazioni A.G.I. - ASTM D3080

Cantiere: Tunnel del Frejus T4 - galleria di sicurezza

Data inizio prova: 13/11/2012 Data consegna campione al laboratorio: 21/11/2012

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Contrassegno:	smarino galleria di sicurezza	Provenienza/Loc. prel.:	lato Francia
Ubicazione prelievo:	SOCAMO - Modane (Francia)	Prof./q.ta prelievo (m):	-
Sezione:	-	Data prelievo:	20/11/2012
Descrizione macroscopica:	terra ghiaiosa sabbiosa		

RISULTATI DI PROVA

Provini ricavati su pass. 5 mm, mediante costipamento manuale

Scatola di taglio di Casagrande a base circolare di diametro 63,50 mm altezza 30,00 mm

Sezione provini: 31,669 cm² Velocità di deformazione: 0,005 mm/min

provino	dati a rottura				
	σ'_v [kPa]	τ_{max} [kPa]	s_h [mm]	e_h [%]	s_v [mm]
1	100	76	2,815	4,43	0,061
2	200	167	4,080	6,42	0,118
3	400	315	3,581	5,64	0,187

Legenda

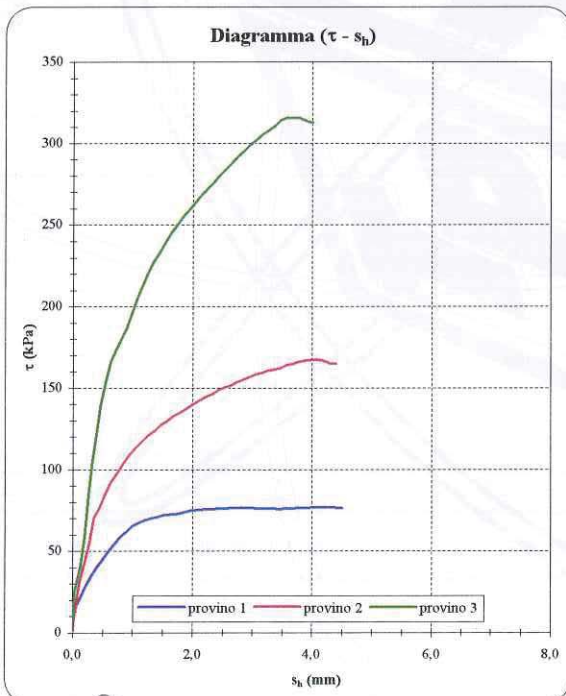
σ'_v = tensione verticale efficace

τ_{max} = sforzo di taglio

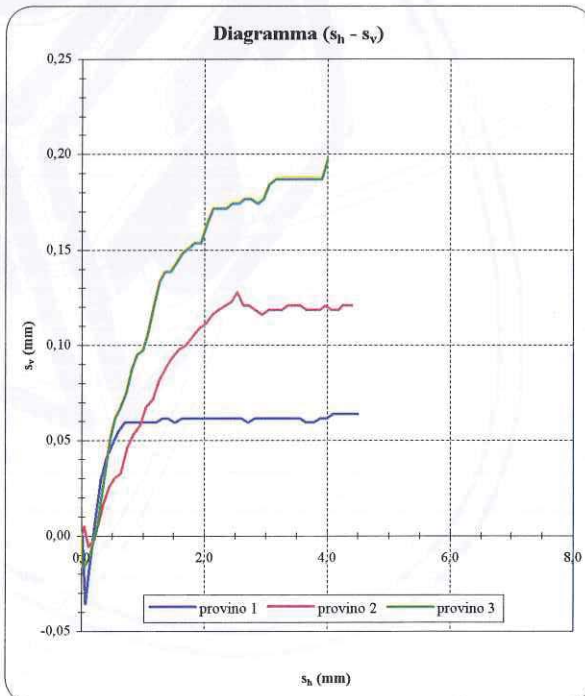
s_h = spostamento orizzontale

e_h = deformazione orizzontale

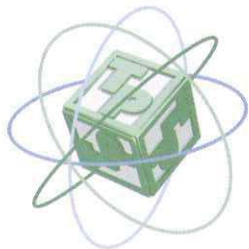
s_v = spostamento verticale



Lo sperimentatore



Il direttore del laboratorio geotecnico



Certificato di prova n.	07210/GT	del	27/11/12	pagina	5 di 5
Verbale di accettazione n.	1495/GT	del	21/11/12	committente:	SITAF S.p.A.

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Normativa di riferimento: Raccomandazioni A.G.I. - ASTM D3080

Cantiere: Tunnel del Frejus T4 - galleria di sicurezza

Data inizio prova: 13/11/2012

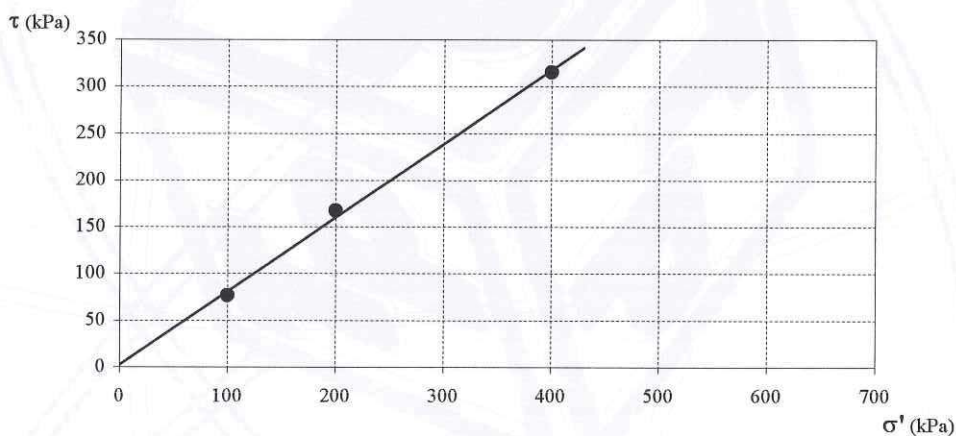
Data consegna campione al laboratorio:

21/11/2012

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Contrassegno:	smarino galleria di sicurezza	Provenienza/Loc. prel.:	lato Francia
Ubicazione prelievo:	SOCAMO - Modane (Francia)	Prof./q.ta prelievo (m):	-
Sezione:	-	Data prelievo:	20/11/2012
Descrizione macroscopica:	terra ghiaiosa sabbiosa		

Involuppo di rottura $\sigma' - \tau$ (tensioni efficaci)



ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO

$\phi' = 38^\circ$

COESIONE EFFICACE

$c' = 2 \text{ kPa}$

Lo sperimentatore

Il direttore del laboratorio geotecnico

SEDE AMM. / OPERATIVA:

Statale Valsesia, 20
13035 Lenta (Vc)

SEDE LEGALE:

Via C. Pizzorno, 12
28078 Romagnano Sesia (No)

UNITÀ LOCALI:

13836 Cossato (Bi) - Via Corridoni, 54
00161 Roma - Via De Rossi, 4

ALLEGATO 02

INDAGINI GEOGNOSTICHE

REGIONE PIEMONTE PROVINCIA DI TORINO COMUNE DI BARDONECCHIA

INTERVENTI DI RIMODELLAMENTO MORFOLOGICO E MESSA IN SICUREZZA DEL VERSANTE IN LOCALITA' ROCHEMOLLES



RAPPORTO CERTIFICATIVO DELLE INDAGINI

CODICE ELABORATO

12059 ROC / IG


COMMITTENTE



MUSINET ENGINEERING Spa
C.so Svizzera, 185
10148 - TORINO



COMPAGNIA TORINESE MONITORAGGI Srl

 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

Accettazione n.12059 del 29/11/2012

Dr. A. Cantù *Dr. A. Cantù*

Dr. A. Cantù

Dr. A. Cantù

Dr.

GENNAIO 2013

Lo Sperimentatore

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

DATA EDIZIONE

REDATTO

CONTROLLATO

VALIDATO





REGIONE PIEMONTE
PROVINCIA DI TORINO
COMUNE DI BARDONECCHIA

INTERVENTI DI RIMODELLAMENTO MORFOLOGICO E MESSA IN SICUREZZA DEL
VERSANTE IN LOCALITA' ROCHEMOLLES

Rapporto certificativo delle indagini geognostiche

Gennaio 2013

INDICE CERTIFICATI

12059/05 Rilievo stratigrafico di perforazione S02	
12059/06 Prove penetrometriche dinamiche SPT sondaggio S02	
12059/07 Rilievo stratigrafico di perforazione S02bis	
12059/08 Rilievo stratigrafico di perforazione S04	
12059/09 Prove penetrometriche dinamiche SPT sondaggio S04	
12059/10 Rilievo stratigrafico di perforazione S03	
12059/11 Prove penetrometriche dinamiche SPT sondaggio S03	
12059/12 Rilievo stratigrafico di perforazione S01	
12059/13 Prove penetrometriche dinamiche SPT sondaggio S01	
12059/14 Rilievo stratigrafico di perforazione S05	
12059/15 Prove penetrometriche dinamiche SPT sondaggio S05	



INDAGINI GEOGNOSTICHE

Committente: MUSINET ENGINEERING Spa

Commessa: 12-061

Cantiere: Bardonecchia (TO) - Rochemolles

Tra il 07/12/2012 e il 15/01/2013 sono stati realizzati n.5 sondaggi a carotaggio continuo e n.1 perforazione a distruzione di nucleo in località Rochemolles presso il Comune di Bardonecchia (TO) (Vedi corografia e Tav.01).

In particolare, si tratta dei sondaggi:

- S01: profondo 30 m, attrezzato con inclinometro fino a 29 m da p.c. per il controllo nel tempo di eventuali movimenti profondi degli strati attraversati;
- S02: profondo 30 m, attrezzato con inclinometro fino a fondo foro per il controllo nel tempo di eventuali movimenti profondi degli strati attraversati;
- S03: profondo 21 m, attrezzato con piezometro a tubo aperto in PVC di diametro 2” con finestratura da 6 m da p.c. fino a fondo foro, per il rilievo della falda intercettata;
- S04: profondo 30 m, attrezzato con inclinometro fino a fondo foro per il controllo nel tempo di eventuali movimenti profondi degli strati attraversati;
- S05: profondo 33.50 m, attrezzato con inclinometro fino a fondo foro per il controllo nel tempo di eventuali movimenti profondi degli strati attraversati;

e della perforazione:

- S02 bis: profonda 20 m, attrezzato con piezometro a tubo aperto in PVC di diametro 2” con finestratura da 12 m da p.c. fino a fondo foro, per il rilievo della falda intercettata.

La terebrazione è stata eseguita impiegando una sonda idraulica COMACCHIO MC 450P montata su carro cingolato; nella tabella a seguire ne vengono presentate le principali caratteristiche.



Particolare fotografico della sonda utilizzata

SONDA PERFORATRICE IDRAULICA		
Modello:	COMACCHIO- MC 450 P SN. 1380	
Coppia max.	kgm	1100
Velocità di rotazione	rpm	20÷550
Spinta	kg	4500
Tiro	kg	6500
Velocità rapida risalita	m/min	22
Velocità rapida discesa (min.-max.)	m/min	32
Tiro max. argano	kg	2000
Motore JOHN DEERE	KW	86
<i>Dimensioni</i>		
<i>Lunghezza</i>	m	5.46
<i>Larghezza</i>	m	2.00
<i>Altezza</i>	m	2.61
<i>Peso</i>	kg	8500
Pompa a pistoni Triplex 200 per fanghi		
Portata max.	l/min	200
Pressione max. esercizio	bar	45



METODOLOGIA DI PERFORAZIONE

Carotaggio continuo

La perforazione dei sondaggi S02 ed S04 è stata condotta con rotazione a carotaggio continuo del terreno attraversato utilizzando carotieri semplici di diametro 131 mm, semplici di diametro 101 mm, talvolta con corona diamantata e doppi tipo T2 di diametro 101 mm con corona diamantata.

La perforazione del sondaggio S01 è stata condotta con rotazione a carotaggio continuo attraverso l'utilizzo di carotieri semplici di diametro 131 mm, semplici di diametro 101 mm, doppi tipo T6 di diametro 101 mm con corona diamantata e doppi tipo T2 di diametro 101 mm con corona diamantata.

La perforazione dei sondaggi S03 ed S05 è stata condotta con rotazione a carotaggio continuo attraverso l'utilizzo di carotieri semplici di diametro 131 mm e 101 mm e doppi tipo T2 di diametro 101 mm con corona diamantata.

La scelta dei carotieri è stata effettuata con lo scopo di rendere minimo il disturbo dei materiali attraversati e da consentire il prelievo dei campioni rappresentativi (carote).

La perforazione di carotaggio per il recupero dei campioni realizzata con carotiere semplice, è stata eseguita, compatibilmente con la natura dei terreni attraversati, senza l'uso di fluido di circolazione (carotaggio a secco).

Distruzione di nucleo

Su S02bis la perforazione è stata condotta a distruzione di nucleo mediante l'impiego di scalpelli triconi di diametro 105 mm e con l'ausilio di circolazione diretta di acqua chiara.

RIVESTIMENTO

La natura del terreno e la finalità dell'intervento hanno determinato la necessità di rivestire i fori per il sostegno delle pareti: a tal scopo sono stati impiegati rivestimenti provvisori consistenti in tubi di acciaio speciale filettati, della lunghezza di 1.5 m e del diametro di 152 mm e 127 mm alla profondità indicata in stratigrafia.

Durante le operazioni di posa del rivestimento provvisorio si è reso necessario l'impiego di fluidi di perforazione per il raffreddamento del tagliente (scarpa) e l'asportazione del detrito: a tale scopo si è impiegata circolazione diretta di acqua chiara.



INDICE RQD

L'indice R.Q.D. (Rock Quality Designation) si ricava dalle carote dei litotipi rocciosi. Si calcola strato per strato, per lunghezze significative di sondaggio oppure per tratti a omogenea fratturazione. Viene determinato dividendo la somma delle lunghezze dei singoli spezzoni di carota di lunghezza superiore al doppio del diametro della carota per la lunghezza del tratto di foro corrispondente (valore espresso in termini percentuali).

In altre parole è il rapporto percentuale tra la sommatoria di spezzoni di carota aventi lunghezza \geq 100 mm e il tratto di lunghezza perforata L_c presa in considerazione, ovvero:

$$R.Q.D. = \frac{\sum \text{spezzoni}}{L_c} \cdot 100$$

Le fratture verticali non sono prese in considerazione, mentre particolare attenzione si presta a discriminare le discontinuità naturali da quelle meccaniche causate dalle manovre di carotaggio (e di cui non si deve tenere conto).

Il valore percentuale permette di identificare l'indice di qualità della roccia:

R.Q.D. %	Qualità
0-25	Molto scadente
25-50	Scadente
50-75	Discreta
75-90	Buona
90-100	Ottima

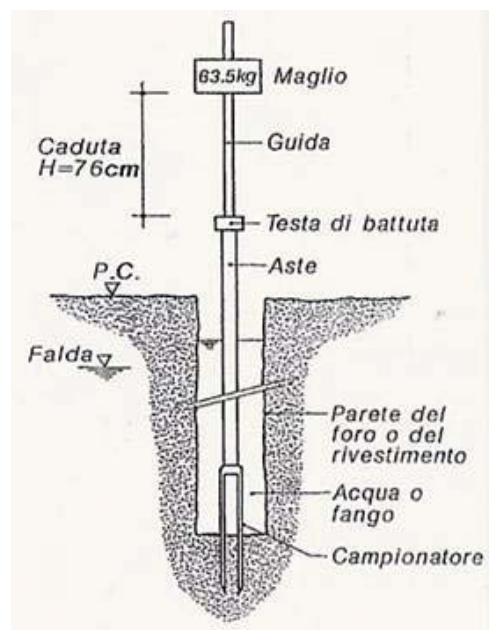
PROVE GEOTECNICHE IN FORO

PROVE S.P.T.

Nei fori di sondaggio S01, S02, S03, S04 ed S05 sono state eseguite complessivamente n.22 prove S.P.T. ("Standard Penetration Test"), alle profondità indicate in stratigrafia.

La prova è di tipo discontinuo e viene eseguita nel corso della perforazione a carotaggio continuo, interrompendo l'avanzamento del sondaggio a intervalli regolari o prestabiliti; essa consente di ottenere dati sulla consistenza e sul grado di addensamento dei terreni attraversati.

Le prove S.P.T. si effettuano tramite l'infissione, a partire dal fondo foro raggiunto, di un campionatore a parete grossa tipo Raymond (diam. 51 mm, lunghezza utile 562 mm), collegato alla sonda da una batteria di aste di dimensioni standardizzate (diam. 51 mm, peso 7.5 kg/m), per mezzo di un'apparecchiatura a percussione del peso standard di 63.5 kg con sganciamento automatico del maglio (Trip Monkey tipo Pilcon) dall'altezza prefissata di 760 mm. Il dispositivo di sollevamento è fornito dall'argano oleodinamico della sonda perforatrice.



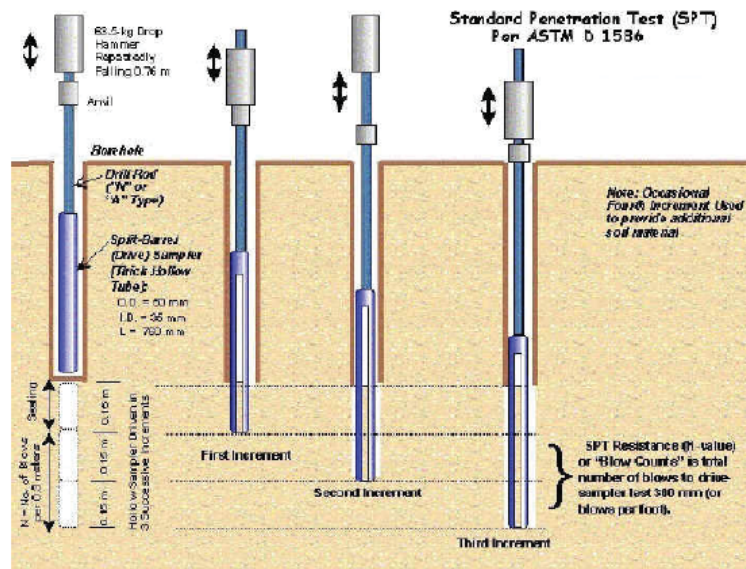
Il campionatore viene fatto penetrare nel terreno per una profondità di 45 cm, a partire dalla quota di fondo foro (eventualmente ripulito tramite apposita manovra), rilevando il numero di colpi (N) necessari per la penetrazione di ciascun intervallo di 15 cm. Il valore di NSPT è ottenuto sommando i colpi necessari per il 2° e 3° tratto.

La prova viene sospesa ogni qualvolta il numero di colpi N, per un tratto di 15 cm, supera il valore di 50, annotando in tal caso il rifiuto alla penetrazione e registrando l'infissione in centimetri ottenuta con 50 colpi.

Nei casi in cui non vi è pericolo di repentino collasso del foro, la prova viene eseguita immediatamente dopo la manovra di carotaggio e prima della manovra di rivestimento, per evitare disturbi al terreno, previa verifica della quota del fondo foro.

Per l'esecuzione delle prove SPT nei terreni a granulometria fine (limoso-sabbiosa) si è utilizzato il campionatore Raymond corredato di una scarpa troncoconica a punta aperta, la cui lunghezza standard è di 76 mm.

Per l'esecuzione della prova si veda lo schema a seguire:



STRUMENTAZIONE GEOTECNICA

Inclinometro

I fori di sondaggio S01, S02, S04 profondi 30 m ed S05 profondo 33.50 m, sono stati attrezzati con inclinometro fino a fondo foro, ad eccezione di S01 per il quale la profondità dell'inclinometro risulta pari a 29 m.

L'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la misura dello spostamento orizzontale lungo tutta la verticale attraverso un'apposita sonda inclinometrica che misura l'inclinazione del tubo in una determinata sezione.

La colonna inclinometrica risulta costituita da un tubo in alluminio a sezione circolare, a elevata deformabilità, di diametro nominale pari a 88.9 mm, provvisto di 4 scanalature (guide) tra loro ortogonali, con funzione di guida per la sonda di misura. I tubi, forniti in spezzoni della lunghezza di 3 m ciascuno, sono giuntati tramite appositi manicotti esterni rivettati.

Lo strumento viene messo in opera nel foro con un rivestimento provvisorio; il primo spezzone di tubo è dotato di tappo di fondo. In seguito al completamento della colonna inclinometrica si procede alla sua cementazione, a bassissima pressione, attraverso un tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo fino a osservare la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo inclinometrico. Il rabbocco della miscela, una volta estratto il rivestimento, prosegue da testa foro fino al raggiungimento di un livello costante a piano campagna.

Su ogni strumento, infine, è stato messo in opera un terminale di protezione carrabile con tappo a espansione a testa tubo lucchettato (le chiavi sono a disposizione della Committenza).



Pozzetto carrabile su S04

Piezometro a tubo aperto

I perfori S02bis ed S03, profondi rispettivamente 20 e 21 m, sono stati strumentati con piezometro a tubo aperto per il rilievo della falda freatica.

Lo strumento è costituito da un tubo in PVC rigido, di diametro 2", opportunamente fessurato con finestratura continua nella parte in falda da -12 m da p.c. a fondo foro e cieco nel restante tratto per S02bis e da -6 m da p.c. a fondo foro e cieco nel restante tratto per S03.

La tubazione è stata messa in opera nel foro con un rivestimento provvisorio. L'intercapedine foro-tubo è stata riempita con apposito materiale granulare.

La tubazione è stata assemblata ponendo, a partire dal fondo foro:

- la parte microfessurata a partire da fondo foro verso il p.c.;
- la parte cieca nel restante tratto, fino a boccaforo con tappo a espansione lucchettato a testa tubo (le chiavi sono a disposizione della Committente).

Su ogni strumento, infine, è stato messo in opera un terminale di protezione, carrabile con tappo a espansione a testa tubo su S03 e un pozzetto "a capitello" lucchettato su S02bis (le chiavi sono a disposizione della Committenza).

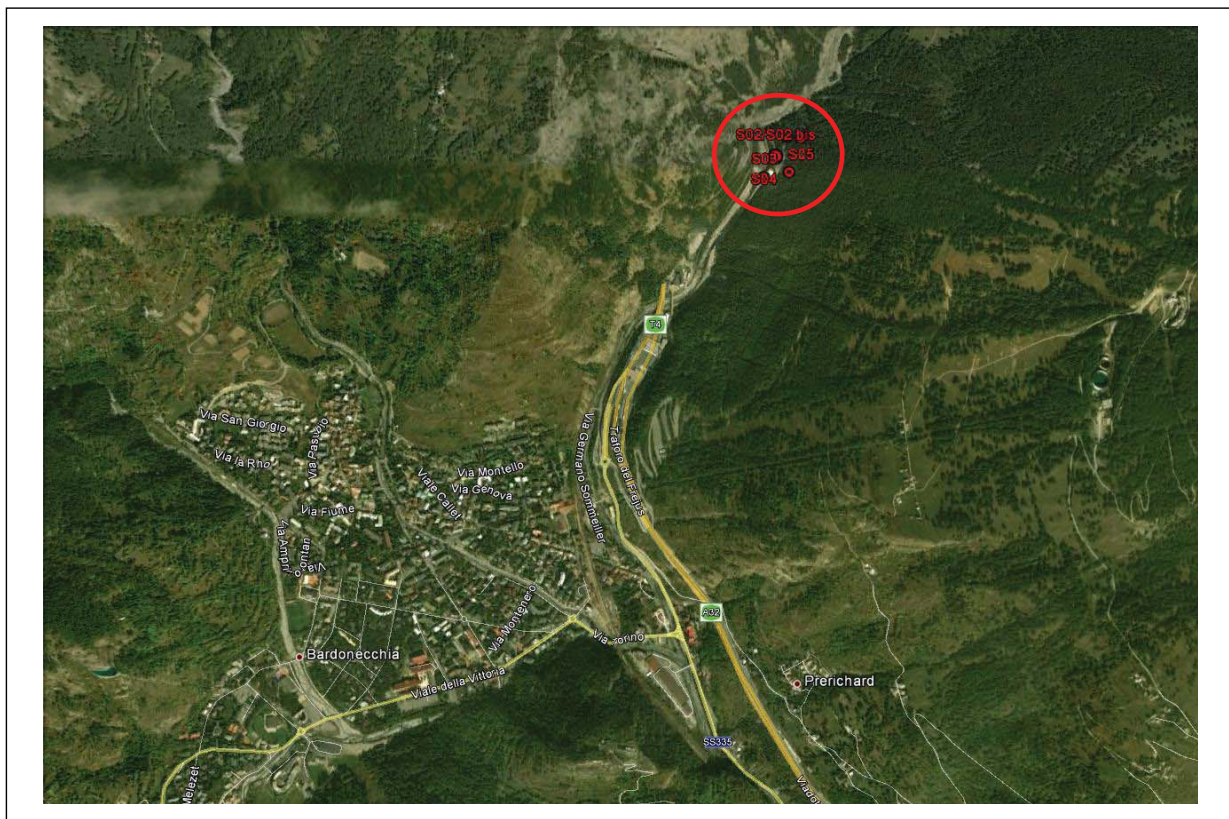


Pozzetto a capitello su S02bis e carrabile su S02

≈

In allegato vengono fornite le stratigrafie dei sondaggi geognostici, i certificati delle prove eseguite e le fotografie delle carote prelevate.

Bardonecchia (TO) – Loc. Rochemolles – Corografia dell'area di indagine



Bardonecchia (TO) – Loc. Rochemolles - Tav. 01 – Ubicazione sondaggi



CERTIFICATI



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)	SONDAGGIO n. S02
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>	Eseguito il
Coordinate: <u>N = 45° 05' 27.00"</u> <u>E = 06° 43' 06.60"</u>	<u>07-12/2012</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	
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

NOTE E OSSERVAZIONI:

Lo Sperimentatore
Dr. A. Cantù

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Giorgio Sola





Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 360/01

Mod. 7.5.4 rev. 00

RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE

UNI EN ISO 22475-1:2007
UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004

SONDAGGIO

S 02 Bis

Committente Musinet

Cantiere Interventi di rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante.

Località Comune di Bardonecchia - loc. Rochemolles

Commessa n. 12059

Perforazione inizio: 13/12/2012 fine: 13/12/2012 Sonda: Comacchio MC 450 P

Lo Sperimentatore
Dr. A. Cantù

Pagina 1 di 1

Coordinate: N= 45°05'27.00"

E= 06°43'06.60"

Scala 1:100

Accettazione n. 12059

Certificato n. 12059/7

del 14/12/2012

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Giorgio Sola

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Giorgio Sola

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00 0.50	0.50		Terreno vegetale limoso-sabbioso con ghiaia fine, colore bruno nocciola. Terreno di riporto ghiaioso con ciottoli sparsi in matrice limoso-sabbiosa e subordinati frammenti lateritici.												
	16.10				perforazione a distribuzione di nucleo diametro 105 mm	127 mm									
	16.60		Ghiaia eterometrica con sabbia debolmente limosa, ciottolosa e talora con blocchi, colore nocciola.	14.60											
	3.40														
20.00															

Il foro di sondaggio è stato attrezzato con piezometro in PVC del tipo "tubo aperto" del diametro di 2" con tratto fenestrato tra -12.00m e -20.00m dal p.c.



Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01

Mod. 7.5.4 rev. 00

RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE

UNI EN ISO 22475-1:2007
UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004

SONDAGGIO

S 04

Committente Musinet

Cantiere Interventi di rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante.

Località Comune di Bardonecchia - loc. Rochemolles

Commessa n. 12059

Pagina 1 di 1

Perforazione inizio: 18/12/2012 fine: 20/12/2012 Sonda: Comacchio MC 450 P

Lo Sperimentatore Dr. A. Cantù

Il Direttore del Laboratorio Dr. Geol. Giorgio Sola

Coordinate: N= 45°05'24.88"

E= 06°43'08.86"

Scala 1:100

Accettazione n. 12059

Certificato n. 12059/8

del 28/12/2012

Dr. A. Cantù

Dr. Geol. Giorgio Sola

profondita' dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	R.Q.D. %	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00	0.70		Rilevato stradale ghiaioso-sabbioso.													
0.70	9.20		Frammenti e clasti prevalentemente minuti in abbondante e/o prevalente matrice fine siltoso-debolmente sabbiosa che talora si concentra in livelli pluricentimetrici, da addensata a molto addensata, colore da nocciola/grigiastro a nocciola chiaro.		CC 131 mm semplice						3.00 18-30-38					
9.90	5.70		Clasti e ciottoli in matrice limoso-debolmente sabbiosa, rari blocchi, molto addensata, colore grigio-debolmente nocciola. (possibile substrato frammentato e/o fratturato)		carotaggio continuo 101 mm semplice e/o diamante	127 mm	90-100%				6.00 25-R (4cm)					
15.60	6.00		Come sopra, con maggior numero di clasti e tracce d'umidità, debole ossidazione, colore grigio-nocciola.								9.00 25-39-R (3cm)					
21.60	4.10		Calcescisto grafítico intensamente fogliettato e fratturato di aspetto cataclastico, colore da grigio chiaro a grigio scuro.								12.00 17-27-35					
25.70	4.30		Calcescisto da intensamente grafítico a grafítico con la profondità', litoide, colore da grigio scuro a grigio; presenza di discontinuità parallele alla scistosità con spaziatura di 5-10 cm sino alla profondità' di 28.40 m; frattura a 40° ossidata con riempimento costituito da clasti minuti in matrice limosa da 29.70m a 29.80m; frattura subverticale ossidata: 29.90-30.00.		CC 101 T2 diamante			0-10			15.00 18-23-32					
30.00								65-70	60-65		18.00 20-32-R (2cm)					

FALDA NON RILEVATA
Ridotte infiltrazioni d'acqua alla profondità' compresa tra -18.00m e 20.00m dal p.c.



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)	SONDAGGIO n. S04
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>	Eseguito il
Coordinate: <u>N = 45° 05' 24.88"</u> <u>E = 06° 43' 08.86"</u>	<u>18-20/12/2012</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)	
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

NOTE E OSSERVAZIONI:

Lo Sperimentatore
Dr. A. Cantù

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Giorgio Sola





Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 360/01

Mod. 7.5.4 rev. 00

RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE

UNI EN ISO 22475-1:2007
UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004

SONDAGGIO

S 03

Committente Musinet

Cantiere Interventi di rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante.

Località Comune di Bardonecchia - loc. Rochemolles

Commessa n. 12059

Pagina 1 di 1

Perforazione inizio: 20/12/2012 fine: 21/12/2012 Sonda: Comacchio MC 450 P

Lo Sperimentatore
Dr. A. Cantù

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Giorgio Sola

Coordinate: N= 45°05'24.59"

E= 06°43'04.65"

Scala 1:100

Accettazione n. 12059

Certificato n. 12059/10


del 10/01/2013

Dr. A. Cantù

Dr. Geol. Giorgio Sola

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00	4.50		Terreno di riporto costituito da clasti e frammenti rocciosi eterometrici in abbondante matrice fine siltoso-debolmente sabbiosa, poco addensato, colore da grigio a nocciola.		CC 131mm semplice					3.00 10-8-7					
4.50	6.50		Terreno di riporto ghiaioso-ciottoloso con rari blocchi sparsi in matrice siltoso-debolmente sabbiosa, presenza di frammenti di nylon pluricentrici: 9.25-9.35; 10.20-10.25, da poco a moderatamente addensato, colore variegato nocciola-grigiastro.		CC 101mm S					6.00 7-5-4					
11.00	6.00		Ghiaia eterometrica prevalentemente subangolare con sabbia medio fine limosa a livelli prevalenti, da debole a discreta ossidazione ed alterazione dei clasti, addensata, colore nocciola/grigiastro.	11.30	CC 101mm semplice e 101 mm T2 diam.	127 mm	90-100%			9.00 8-15-23					
17.00	4.00		Frammenti e clasti eterometrici di calcescisto in matrice limosa grafitica debolmente siltosa a tratti abbondante, addensata, colore grigio-nerastro (probabile substrato alterato).		carotaggio continuo 101 mm semplice.					12.00 15-21-29					
21.00										15.00 14-25-26					

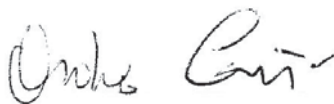
Il foro di sondaggio è stato attrezzato con piezometro in PVC del tipo "tubo aperto" del diametro di 2" con tratto fenestrato tra -6.00m e -21.00m dal p.c.

 <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)	SONDAGGIO n. S03
	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>	Eseguito il 20-21/12/2012
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	
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

NOTE E OSSERVAZIONI:

 Lo Sperimentatore
 Dr. A. Cantù



 Il Direttore del Laboratorio
 Dr. Geol. Giorgio Sola


Pagina 1 di 1



Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01

Mod. 7.5.4 rev. 00

RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE

UNI EN ISO 22475-1:2007
UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004

SONDAGGIO

S 01

Committente Musinet

Cantiere Interventi di rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante.

Località Comune di Bardonecchia - loc. Rochemolles

Commessa n. 12059

Pagina 1 di 1

Perforazione inizio: 07/01/2013 fine: 10/01/2013 Sonda: Comacchio MC 450 P

Lo Sperimentatore
Dr. A. Cantù

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Giorgio Sola

Coordinate: N= 45°05'29.22"

E= 06°43'08.48"

Scala 1:100

Accettazione n. 12059

Certificato n. 12059/12

del 11/01/2013

Dr. A. Cantù

Dr. G. Sola

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	R.Q.D. %	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00	1.50		Rilevato stradale ghiaioso-ciottoloso con sabbia debolmente limosa.		CC 131 mm semplice											
1.50	1.50		Frammenti e clasti eterometrici rocciosi in matrice siltoso-debolmente sabbiosa, da moderatamente addensato ad addensato, colore da grigio-nocciolato a grigio.								3.00 19-23-30					
3.00	16.30		Calcescisto debolmente grafítico intensamente fratturato e di aspetto intensamente cataclastico; la cataclasi è così intensa da far apparire l'intero strato come costituito da "clasti e frammenti eterometrici in scarsa matrice fine", molto addensato con subordinati livelli meno competenti argillificati, colore grigio.		carotaggio continuo 101 mm semplice e/o 101 mm T6 diamante	127 mm	90-100%	0			6.00 32-43-R (4cm)					
19.30	2.90		Come sopra, con minore cataclasi.								9.00 45-R (7cm)					
22.20	2.80		Calcescisto debolmente grafítico lapideo fratturato, colore grigio. Frattura verticale ossidata con riempimento limoso-argilloso :22.25-22.60; 22.90-23.00.								12.00 R (5cm)					
25.00	5.00		Calcescisto debolmente grafítico litoide, colore grigio. Sistema di fratture a 45° ortogonali : 27.45-27.60.		CC 101 T2 diamante						18.00 R (1cm)					
30.00																

FALDA NON RILEVATA



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE
SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)

Mod. 7.5.13 rev. 00

Committente: MUSINET ENGINEERING Spa

Cantiere: Rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante

Località: Bardonecchia (TO) - Rochemolles

Coordinate: N = 45° 05' 29.22" E = 06° 43' 08.48"

Accettazione n. 12059 - Certificato n. 12059/13 del 11/01/2013 - Commessa n. 12059

SONDAGGIO
n.
S01

Eseguito il
07-10/01/2013



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)	-	-	
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

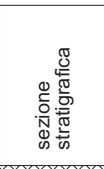





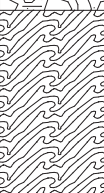
NOTE E OSSERVAZIONI:

Lo Sperimentatore
 Dr. A. Cantù

Il Direttore del Laboratorio
 Dr. Geol. Giorgio Sola



 <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	Mod. 7.5.4 rev. 00	RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE	UNI EN ISO 22475-1:2007 UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004	SONDAGGIO
	Committente <u>Musinet</u>			S 05
	Cantiere <u>Interventi di rimodellamento morfologico e messa in sicurezza del versante.</u>			Pagina 1 di 1
	Località <u>Comune di Bardonecchia - loc. Rochemolles</u>	Perforazione <u>inizio: 11/01/2013 fine: 15/01/2013</u>	Sonda: <u>Comacchio MC 450 P</u>	Commissa n. <u>12059</u>
Coordinate: <u>N= 45°05'28.83"</u>	<u>E= 06°43'10.76"</u>	<u>Scala 1:120</u>	Lo Sperimentatore Dr. A. Cantù	
Accettazione n. <u>12059</u>	Certificato n. <u>12059/14</u>	del <u>19/01/2013</u>		

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	R.Q.D. %	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00	0.50		Rilevato stradale ghiaioso-sabbioso.													
0.50	3.00		Frammenti e clasti eterometrici rocciosi in matrice siltoso-debolmente sabbiosa talora abbondante, addensato, colore nocciola-grigiastro.		CC 131 mm semplice						3.00 17-25-25					
3.50	6.50		Clasti eterometrici e ciottoli, talora blocchi, in matrice siltoso-debolmente sabbiosa a livelli prevalenti, addensato, colore nocciola-grigiastro.		carotaggio continuo 101 mm semplice	127 mm					6.00 19-22-28					
10.00	10.00		Frammenti e clasti eterometrici con limo debolmente sabbioso a tratti abbondante e/o prevalente, debole ossidazione, gneralmente addensato con subordinati livelli meno competenti, colore nocciola-brunastro.		carotaggio continuo 101 mm semplice	127 mm	90-100%				9.00 R (3cm) 12.00 13-17-18					
20.00	2.30		Blocchi frammentati e disarticolati di calcescisto in scarsa matrice fine limoso-sabbiosa, colore grigio scuro-brunastro.		CC 101 mm T2 diam						15.00 16-20-21					
22.30	7.00		Frammenti e clasti eterometrici con ciottoli e blocchi in matrice limoso-debolmente sabbiosa, discreta ossidazione ed alterazione, addensato, colore nocciola.		carotaggio continuo 101 mm semplice						18.00 R (2cm)					
29.30	4.20		Calcescisto debolmente grafitico litoide, colore grigio; fratture a 45° : 32.20-32.30; 32.40-32.50; 32.80-32.90.		CC 101 T2 diamante			0-10 20-30 65								
33.50																

FALDA NON RILEVATA
Evidenti infiltrazioni d'acqua tra 22.50 e 29.30.



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT (UNI EN ISO 22476-3:2005)	SONDAGGIO n. S05
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' 28.83"</u> <u>E = 06° 43' 10.76"</u>	Eseguito il 11-15/01/2013
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)	-	-	
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

NOTE E OSSERVAZIONI:

Lo Sperimentatore
Dr. A. Cantù

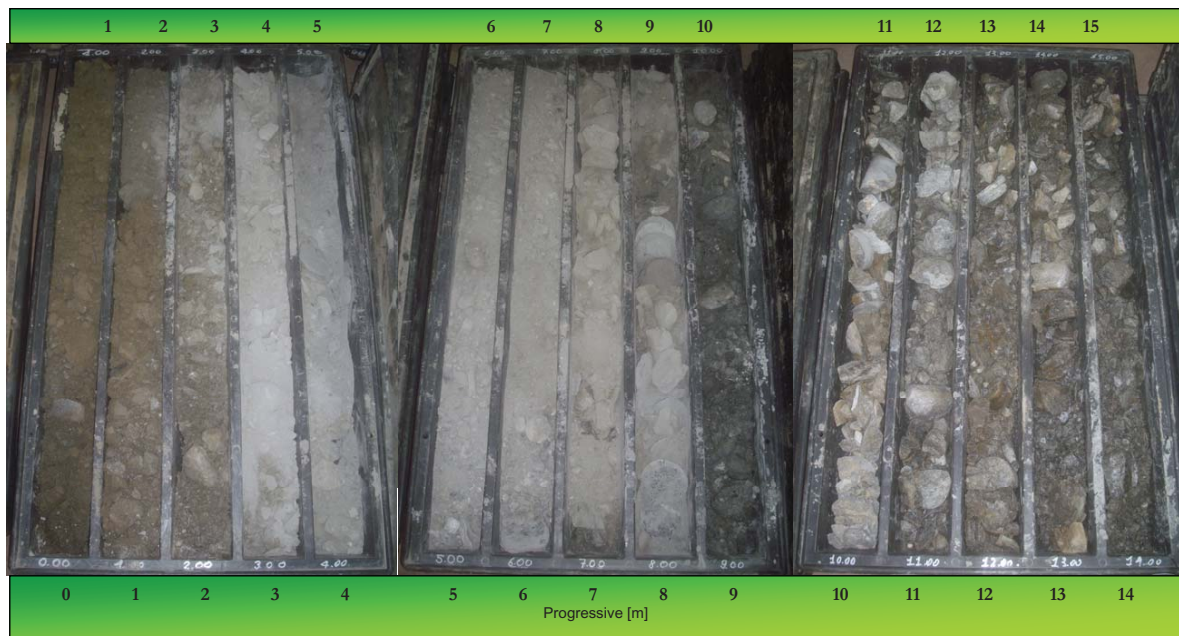
Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Giorgio Sola



FOTOGRAFIE CASSETTE



Bardonecchia – Loc. Rochemolles - Sondaggio SOI (L=30.00m)



Cassette 1-3 da 0.00m a 15.00m da p.c.



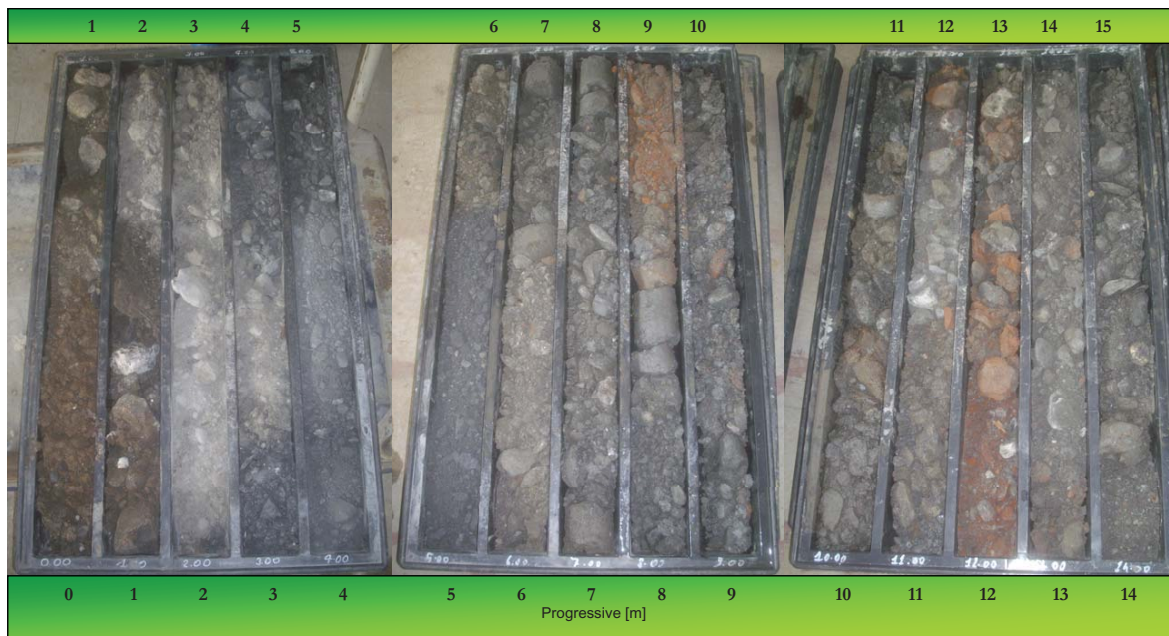
Bardonecchia – Loc. Rochemolles - Sondaggio SOI (L=30.00m)



Cassette 4-6 da 15.00m a 30.00m da p.c.



Bardonecchia – Loc. Rochemolles - Sondaggio S02 (L=30.00m)



Cassette 1-3 da 0.00m a 15.00m da p.c.



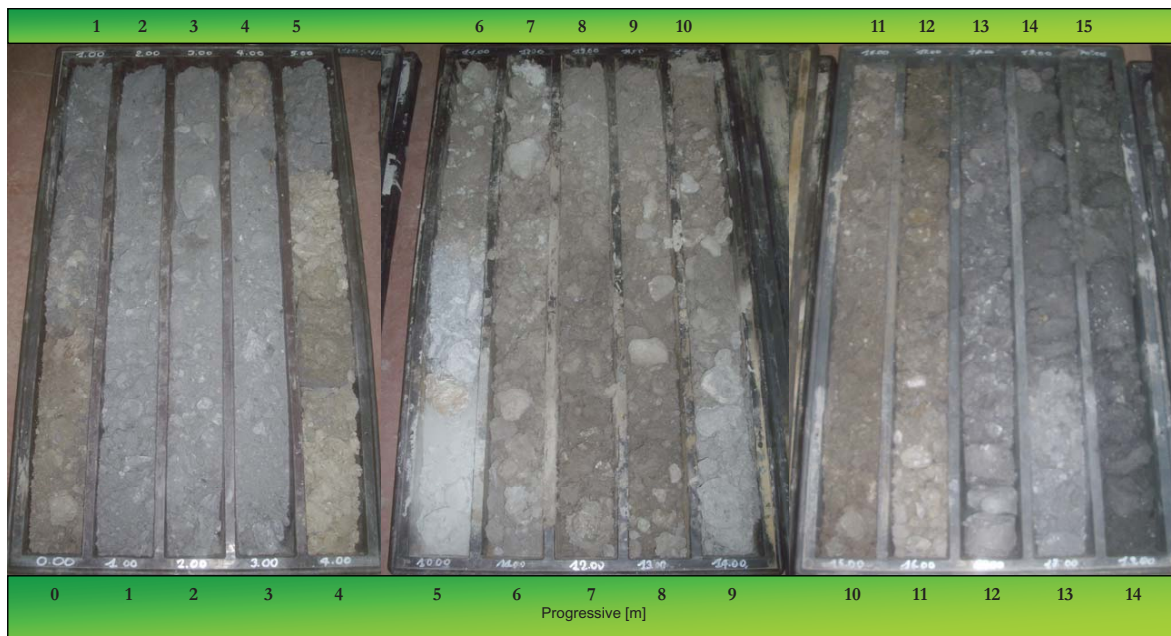
Bardonecchia – Loc. Rochemolles - Sondaggio S02 (L=30.00m)



Cassette 4-6 da 15.00m a 30.00m da p.c.



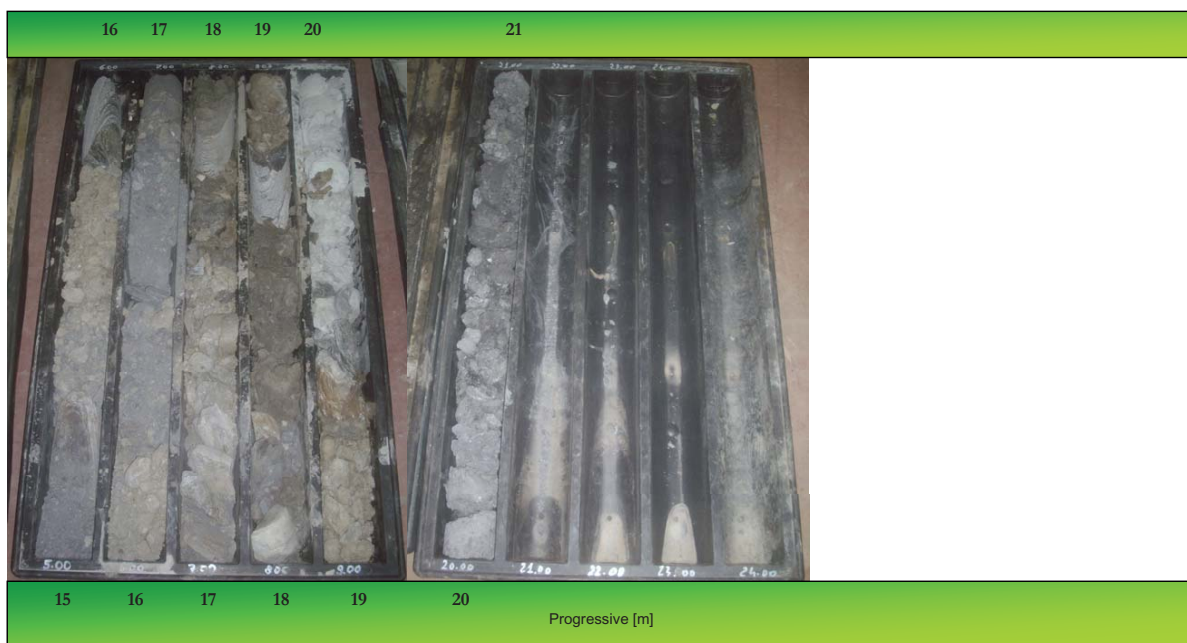
Bardonecchia - Loc. Rochemolles - Sondaggio S03 (L=21.00m)



Cassette 1-3 da 0.00m a 15.00m da p.c.



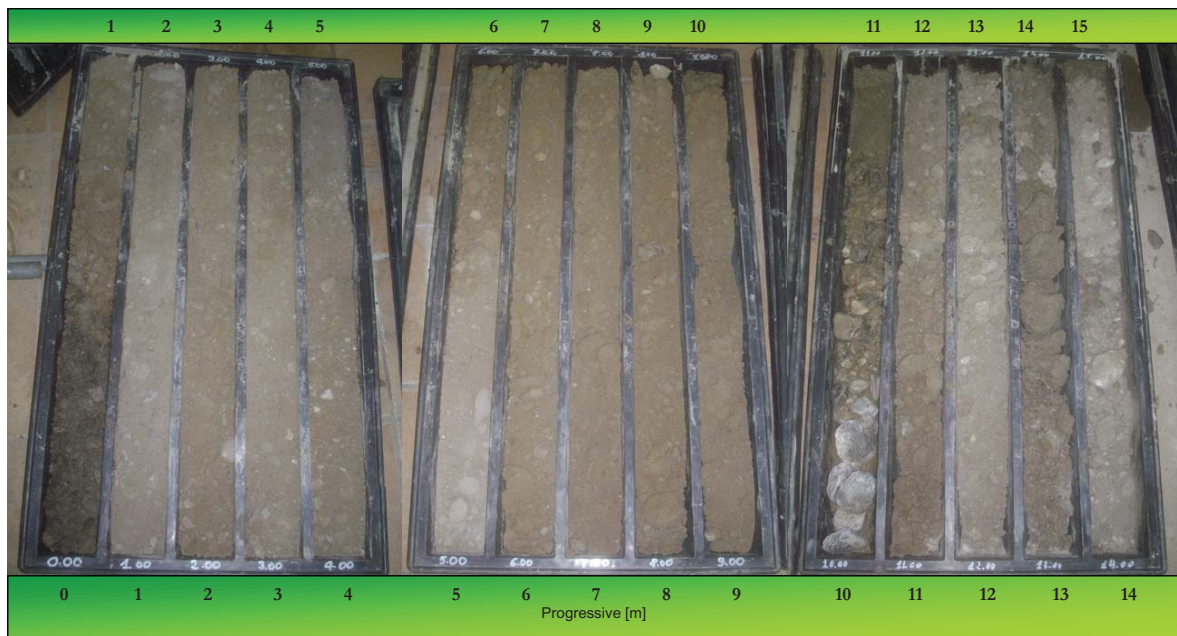
Bardonecchia – Loc. Rochemolles - Sondaggio S03 (L=21.00m)



Cassette 4-5 da 15.00m a 21.00m da p.c.



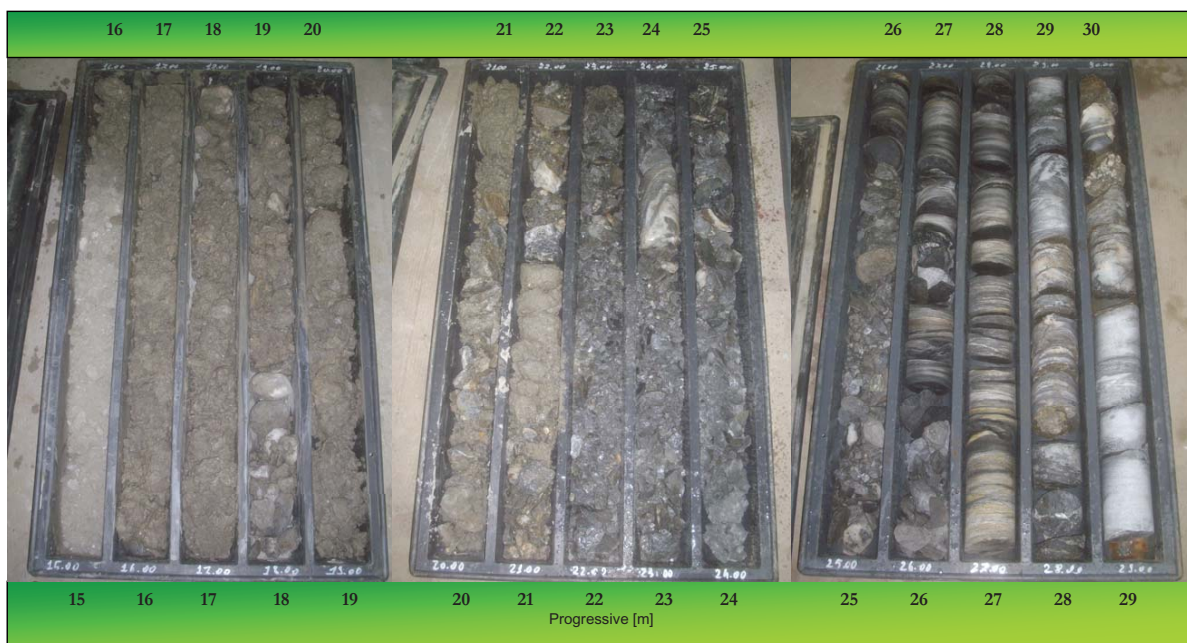
Bardonecchia – Loc. Rochemolles - Sondaggio S04 (L=30.00m)



Cassette 1-3 da 0.00m a 15.00m da p.c.



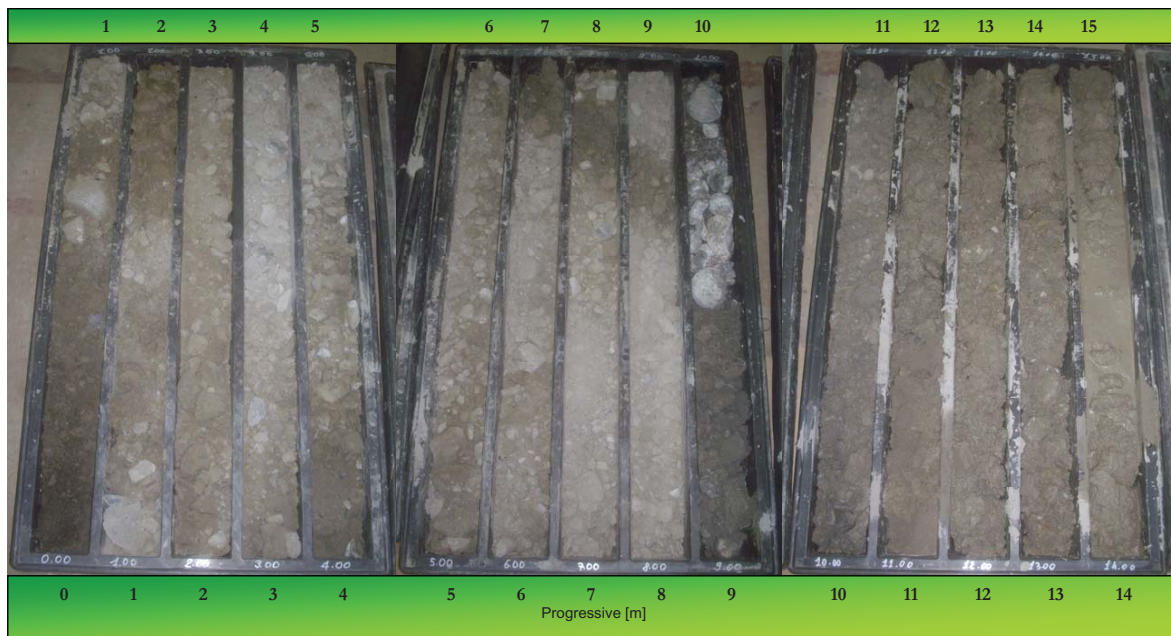
Bardonecchia – Loc. Rochemolles - Sondaggio S04 (L=30.00m)



Cassette 4-6 da 15.00m a 30.00m da p.c.



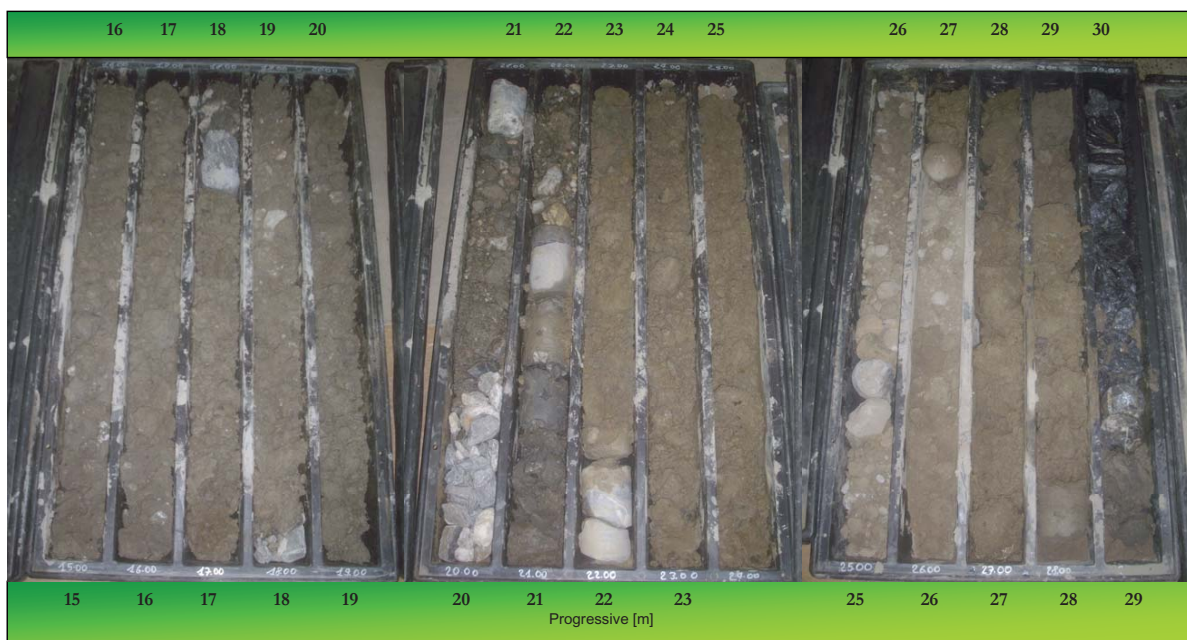
Bardonecchia – Loc. Rochemolles - Sondaggio S05 (L=33.50m)



Cassette 1-3 da 0.00m a 15.00m da p.c.



Bardonecchia – Loc. Rochemolles - Sondaggio S05 (L=33.50m)



Cassette 4-6 da 15.00m a 30.00m da p.c.



Bardonecchia – Loc. Rochemolles - Sondaggio *S05* (L=33.50m)



Cassette 7 da 30.00m a 33.50m da p.c.

ALLEGATO 03

INDAGINI GEOFISICHE

Rif.: Giuseppe Mandrone
Indirizzo Via Valperga Caluso 35 - Torino
e.mail: ag3.dst@unito.it
tel. 347.8717632
ID: C_12_9_brd_01



COMUNE DI BARDONECCHIA (TO)

**COMMENTO ALLE INDAGINI GEOFISICHE
REALIZZATE PRESSO IL SITO
DI INDAGINE DI ROCHEMOLLES**

ALLEGATO

ALLA RELAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA DEL PROGETTO:

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

SITO ROCHEMOLLES

Variante Strada Provinciale 235

**Il Committente:
TEKNE TORINO**

**Il Tecnico incaricato:
Dott. Geol. Giuseppe MANDRONE**

Gennaio 2013

INDICE

INDICE.....	0
1 RIASSUNTO.....	2
2 PREMESSA	2
3 OBIETTIVI E INDAGINI ESEGUITE.....	2
4 STRUMENTAZIONE.....	7
5 INFORMAZIONI A PRIORI.....	9
6 ELABORAZIONE DATI.....	9
6.1 Tomografia sismica in onde P.....	9
6.2 Prova per onde superficiali.....	15
7 INTERPRETAZIONE GEOFISICA.....	32
8 CONCLUSIONI.....	34
9 PARAMETRO VS30	35
9.1 Stima del Parametro VS30.....	36
10 TOMOGRAFIA SISMICA – Nota tecnica.....	36
10.1 Introduzione teorica.....	36
10.2 Modalità di acquisizione	36
10.3 Elaborazione dei dati tomografici.....	37
11 PROVE PER ONDE SUPERFICIALI – Nota tecnica	38
11.1 Introduzione teorica.....	38
11.2 Modalità di acquisizione	39
11.3 Elaborazione dati di onde superficiali.....	40
12 BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE.....	41

1 RIASSUNTO

In data 30 novembre 2012, in collaborazione con i tecnici della Soc. GAMUT s.r.l., si è eseguita un'indagine geofisica in comune di Bardonecchia (TO), finalizzata alla valutazione dell'effetto della risposta sismica locale tramite il calcolo del parametro V_{s30} , ai sensi del D.M. 14/01/2008. A tale scopo sono stati acquisiti sei profili sismici, coincidenti a coppie, tre per onde superficiali (SWM) e tre di tomografia sismica in onde di compressione (P).

L'elaborazione con metodo probabilistico delle curve di dispersione ottenute con le prove per onde superficiali ha fornito tre fusi di possibili soluzioni da cui è stata calcolata la distribuzione del parametro V_{s30} .

L'interpretazione del set di possibili soluzioni, congiuntamente all'analisi di informazioni a priori disponibili, ha permesso l'estrazione di tre profili di velocità delle onde di taglio (S), ritenuti i più rappresentativi, da cui sono stati calcolati tre valori del parametro V_{s30} .

Le tomografie sismiche integrative hanno consentito di migliorare la qualità dell'elaborazione dei profili di V_s , fornendo maggiore solidità interpretativa e ottenendo informazioni di carattere stratigrafico lungo gli stendimenti.

I valori del parametro V_{s30} calcolato riferito al piano campagna sono **477 m/s** nel sito identificato come R1, **622 m/s** nel sito identificato come R2 e **612 m/s** in R3.

2 PREMESSA

La presente relazione tecnica descrive le modalità operative adottate in fase di acquisizione, le procedure di elaborazione dei dati e l'interpretazione geofisica della caratterizzazione sismica di sito eseguita in corrispondenza del primo e secondo tornante della strada Bardonecchia – Rochemolles, in comune di Bardonecchia (TO).

L'indagine è stata eseguita in data 1 dicembre 2012.

3 OBIETTIVI E INDAGINI ESEGUITE

Gli scopi dell'indagine sono i seguenti:

- Fornire informazioni indirette sulla velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio, secondo un profilo verticale relativo ai primi 30 m di profondità, misurati dal piano campagna. L'indagine è finalizzata alla valutazione dell'effetto della risposta sismica locale, tramite il calcolo del parametro V_{s30} , ai sensi del D.M. 14/01/2008 (capitolo 9).

- Ricostruire la topografia del substrato roccioso, individuare possibili variazioni laterali.

Per soddisfare queste esigenze sono state condotte le seguenti indagini:

- Tre prove per onde superficiali (SWM).
- Tre tomografie sismiche per onde di compressione P, coincidenti con il profili SWM.

Le tabelle seguenti riportano sinteticamente i parametri di acquisizione delle indagini eseguite.

Si rimanda ai capitoli 10 e 11 per gli approfondimenti sulle metodologie utilizzate.

Tabella 1. Schema riassuntivo delle indagini tomografiche.

Identificativo linea	R1, R2, R3
Lunghezza stendimento (m)	98
Direzione stendimento	N - S
Canali (numero)	48
Spaziatura geofoni (m)	2
Tempo di campionamento (μ s)	125
Finestra di acquisizione (s)	0.5
Sorgenti (numero)	9

Tabella 2. Schema riassuntivo delle indagini SWM.

Identificativo linea	R1, R2, R3
Lunghezza stendimento (m)	94
Direzione stendimento	N - S
Canali (numero)	48
Spaziatura geofoni (m)	2
Tempo di campionamento (μ s)	500
Finestra di acquisizione (s)	2

In Figura 1 si mostra l'ubicazione planimetrica dell'indagine eseguita. Le figure seguenti mostrano immagini fotografiche dello stendimento.

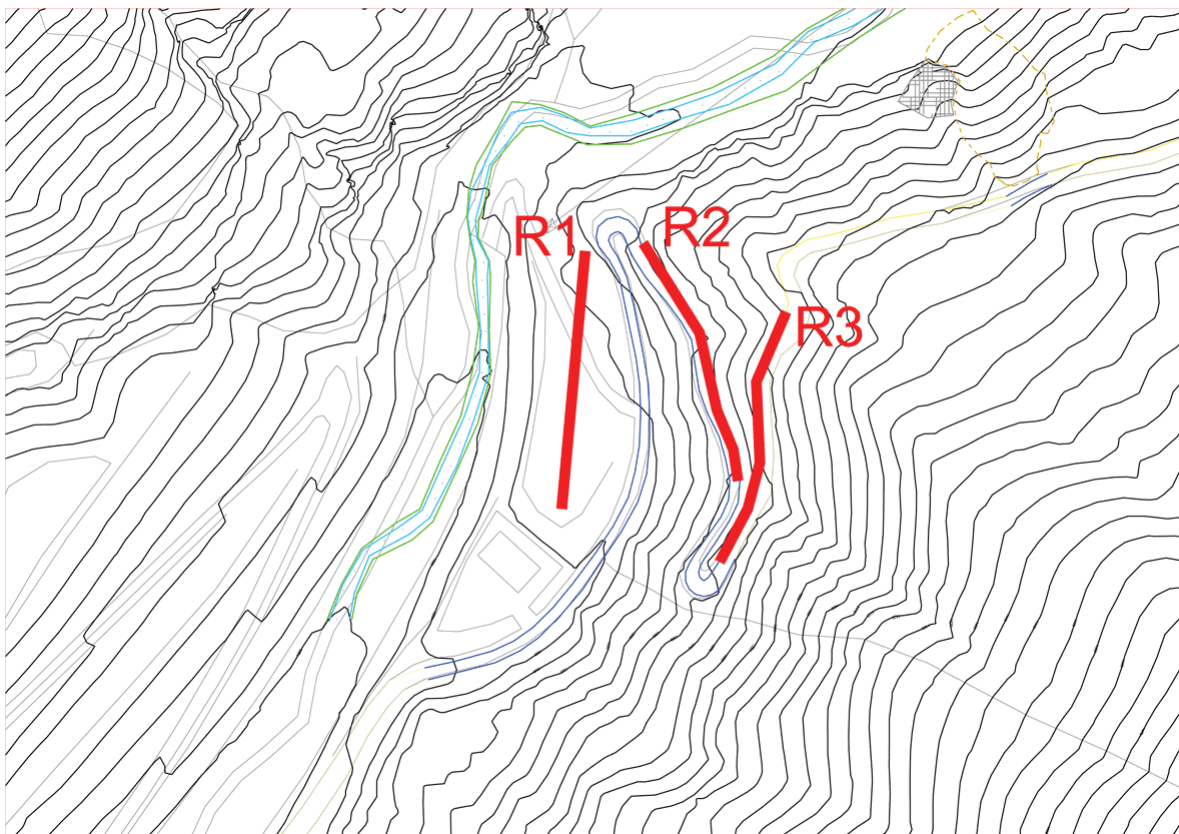


Figura 1 – Ubicazione planimetrica. In rosso gli stendimenti sismici (fuori scala).



Figura 2 – Foto dello stendimento R1.



Figura 3 – Foto dello stendimento R2 – Vista di inizio linea.



Figura 4 – Foto dello stendimento R2 – Vista da fine linea.



Figura 5 – Foto dello stendimento R3 – Vista da inizio linea.



Figura 6 – Foto dello stendimento R3 – Vista da centro linea.



Figura 7 – Foto dello stendimento R3 – Vista di fine linea.

4 STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati è la seguente (Figura 8, Figura 9, Figura 10):

- sismografo Geometrics GEODE costituito da due moduli a 24 canali controllati tramite laptop, per un totale di 48 canali disponibili; l'intervallo di campionamento è selezionabile tra 20 μ s e 16 ms; la durata dell'acquisizione è funzione della frequenza di campionamento con il limite di 64000 campioni per canale; la dinamica del convertitore analogico/digitale è di 24 bit;
- geofoni verticali SENSOR SM-6/U-B con frequenza propria di 4.5 Hz;
- sorgente impulsiva: mazza da 5 kg su piastra metallica di ripartizione, dotata di trigger elettrico per contatto;
- sorgente impulsiva: fucile sismico con circuito di trigger collegato a un geofono ancorato alla piastra del fucile.

I dati sono stati elaborati e interpretati con:

- software non commerciale GIADA sviluppato in esclusiva da Gamut srl;
- RAYFRACT 3.06 – Intelligent Resources Inc.



Figura 8 – Sismografo Geometrics Geode.



Figura 9 – Geofono verticale SENSOR SM-6/U-B.



Figura 10 – Fucile sismico.

5 INFORMAZIONI A PRIORI

Non sono attualmente disponibili informazioni a priori

6 ELABORAZIONE DATI

Nel seguito vengono descritte le modalità di elaborazione e di interpretazione dei dati acquisiti, corredate da alcune valutazioni critiche sulla qualità dei dati e sull'affidabilità dei risultati ottenibili.

6.1 Tomografia sismica in onde P

La prima fase prevede il picking dei tempi di primo arrivo su ogni sismogramma acquisito.

A titolo di esempio, Figura 11, Figura 12 e Figura 13 riportano rispettivamente il picking dell'energizzazione (shot) n. 88, n. 55 e n. 14 delle tomografie R1, R2 ed R3.

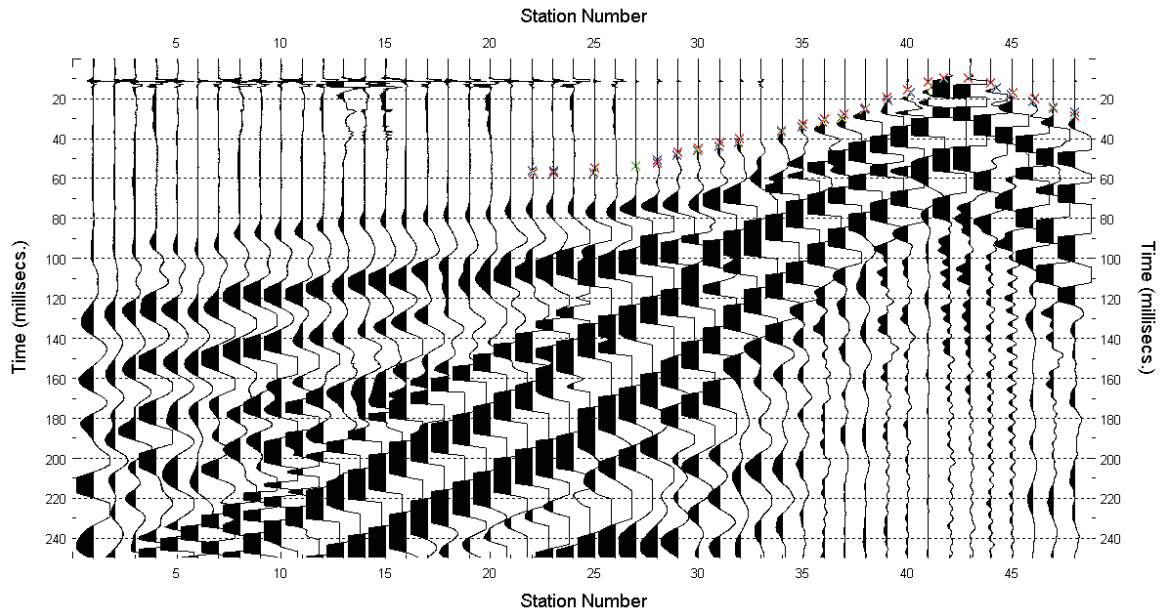


Figura 11 – R1 - Esempio di picking manuale dei primi arrivi delle onde P (shot n. 88).

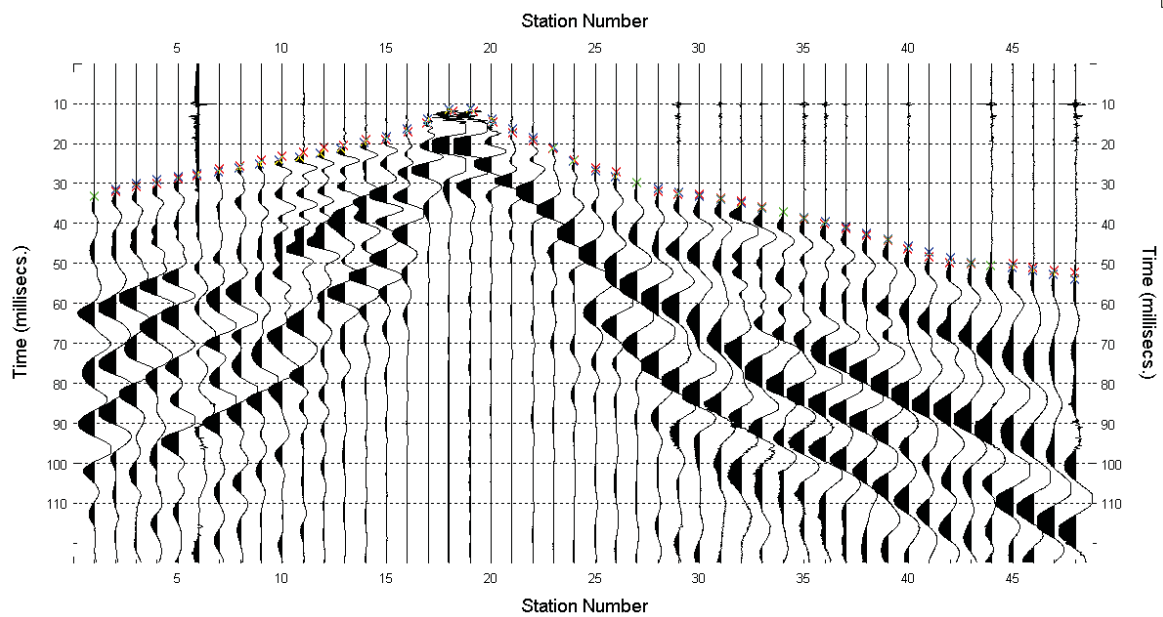


Figura 12 – R2 - Esempio di picking manuale dei primi arrivi delle onde P (shot n. 55).

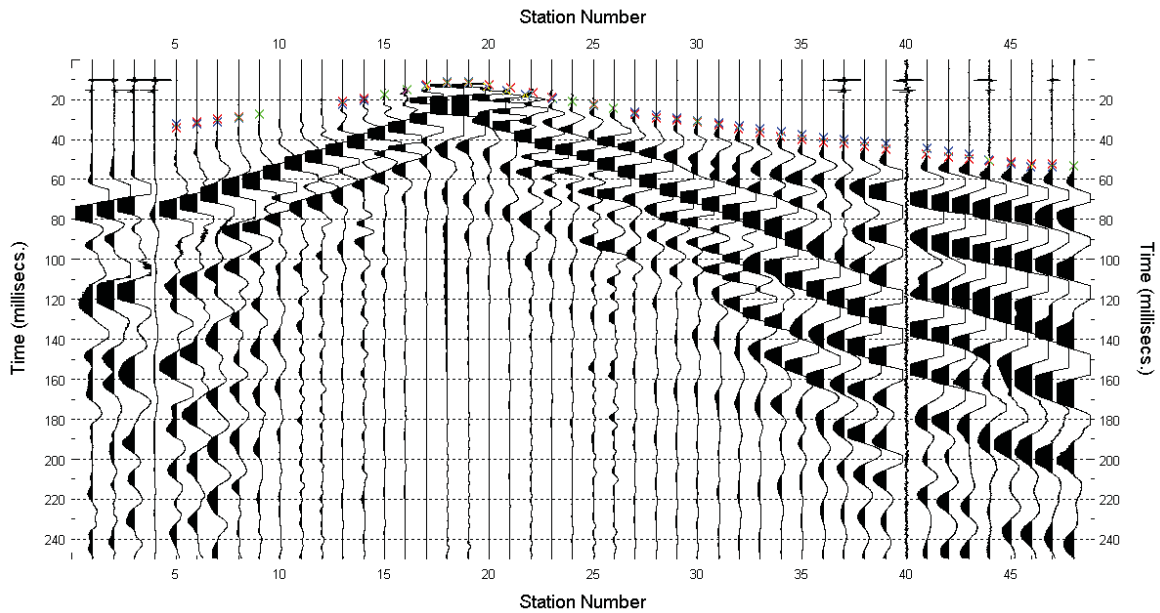


Figura 13 – R3 - Esempio di picking manuale dei primi arrivi delle onde P (shot n. 14).

Definita la topografia della superficie, la seconda fase dell'elaborazione prevede l'inversione di tutti i tempi di primo arrivo. Si producono le sezioni di velocità di propagazione delle onde P (Figura 14, Figura 16 e Figura 18) e le relative mappe di copertura dei raggi sismici (Figura 15, Figura 17 e Figura 19).

La numerazione degli shot in superficie coincide con la numerazione dei file registrati in campagna.

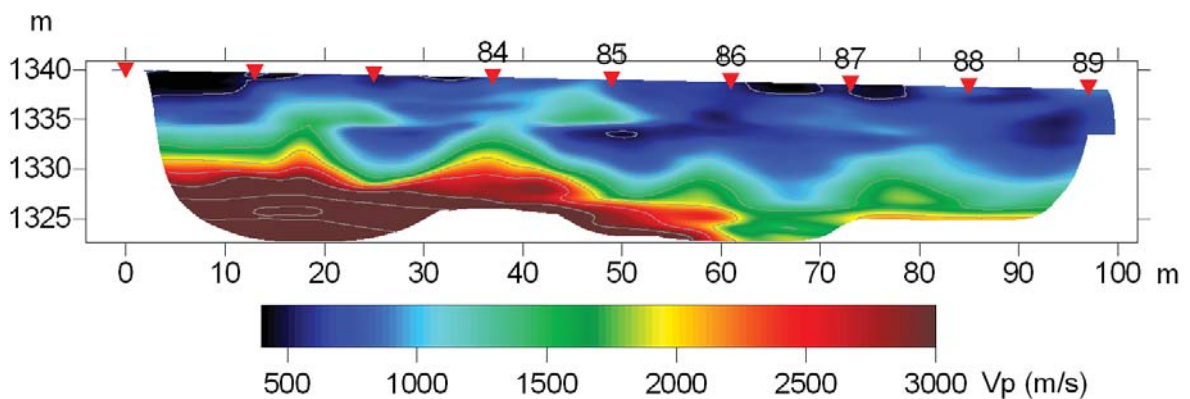


Figura 14 – R1 - Sezione tomografica di velocità delle onde P nel sottosuolo.

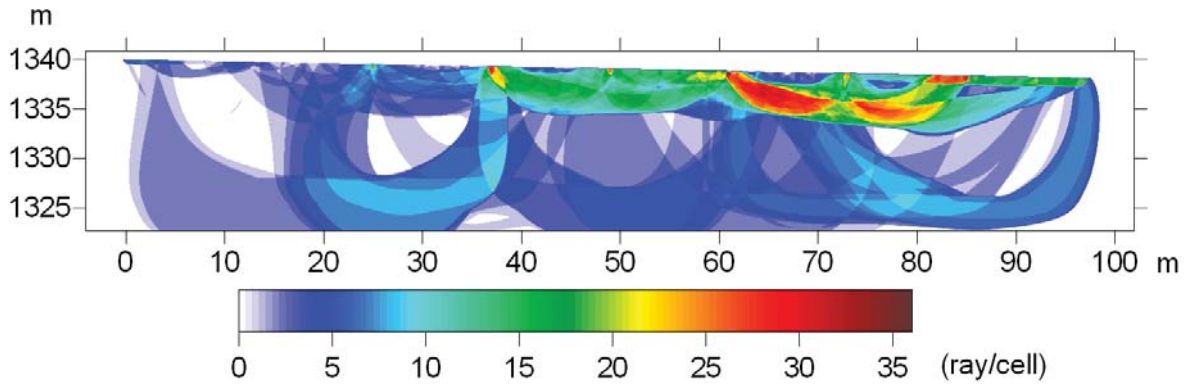


Figura 15 – R1 - Copertura dei raggi sismici della sezione tomografica di Figura 14.

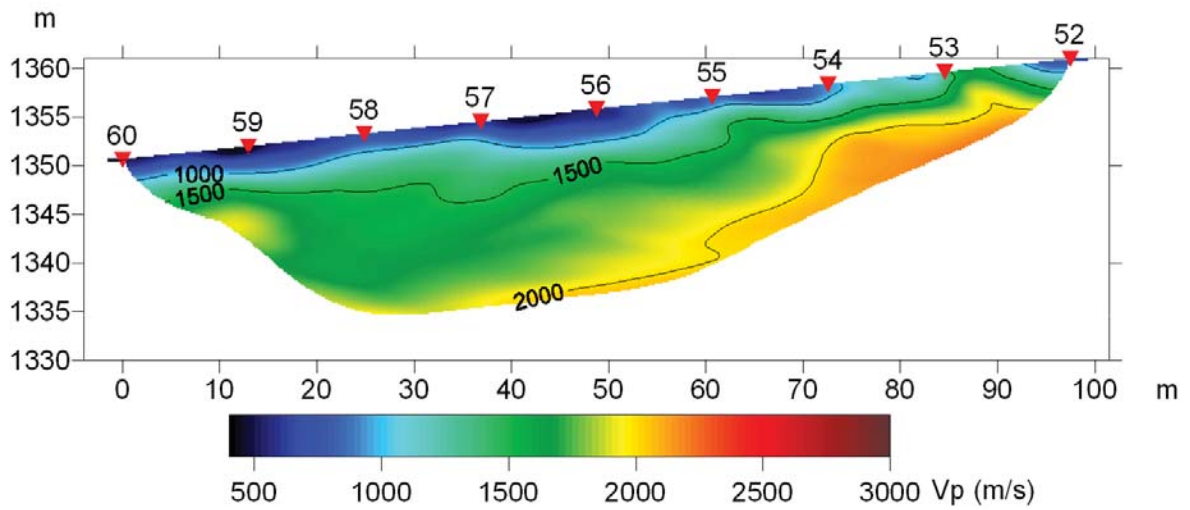


Figura 16 – R2 - Sezione tomografica di velocità delle onde P nel sottosuolo.

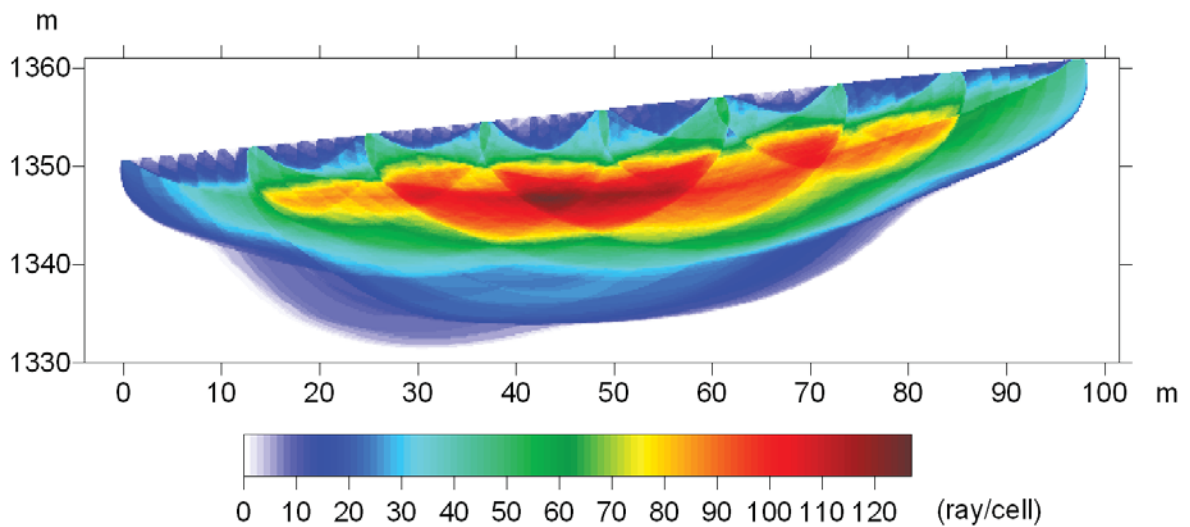


Figura 17 – R2 - Copertura dei raggi sismici della sezione tomografica di Figura 16.

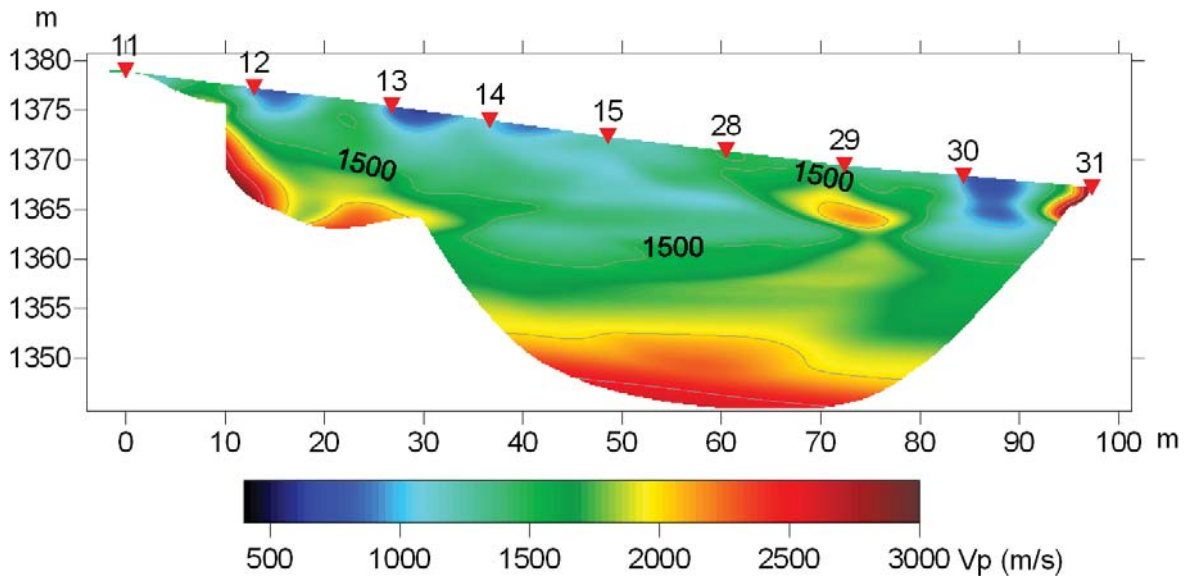


Figura 18 – R3 - Sezione tomografica di velocità delle onde P nel sottosuolo.

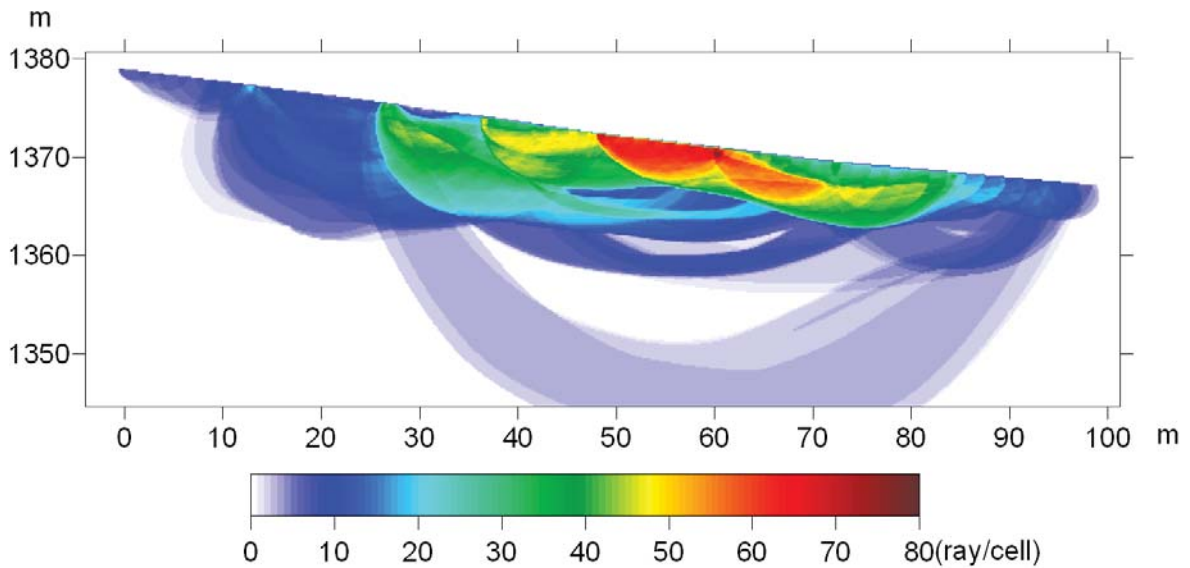


Figura 19 – R3 - Copertura dei raggi sismici della sezione tomografica di Figura 18.

La qualità del picking e dell'inversione è valutata mediante il confronto, per ogni shot, tra le dromocroni sperimentali e quelle calcolate.

A titolo di esempio, la Figura 20, la Figura 21 e la Figura 22 riportano le dromocroni delle tomografia con la traccia n. 88, 55 e 14 rispettivamente in evidenza.

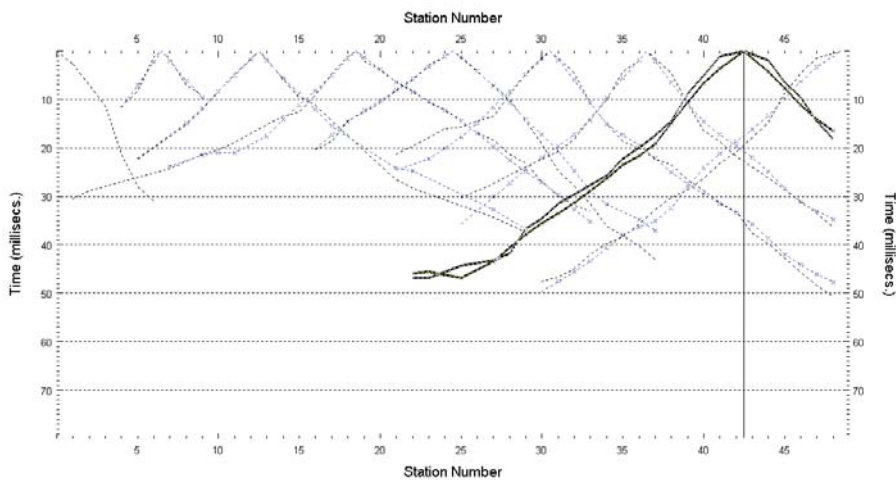


Figura 20 – R1 - Dromocrone della tomografia (in evidenza lo shot n. 88).

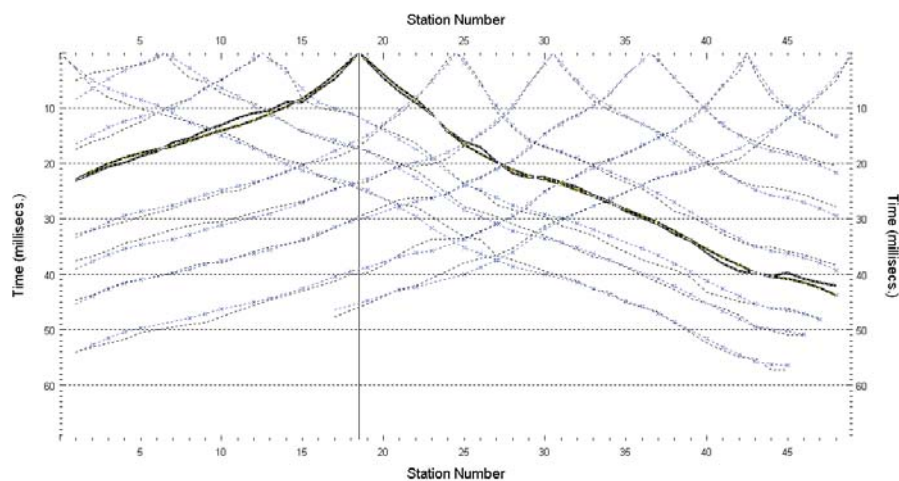


Figura 21 – R2 - Dromocrone della tomografia (in evidenza lo shot n. 55).

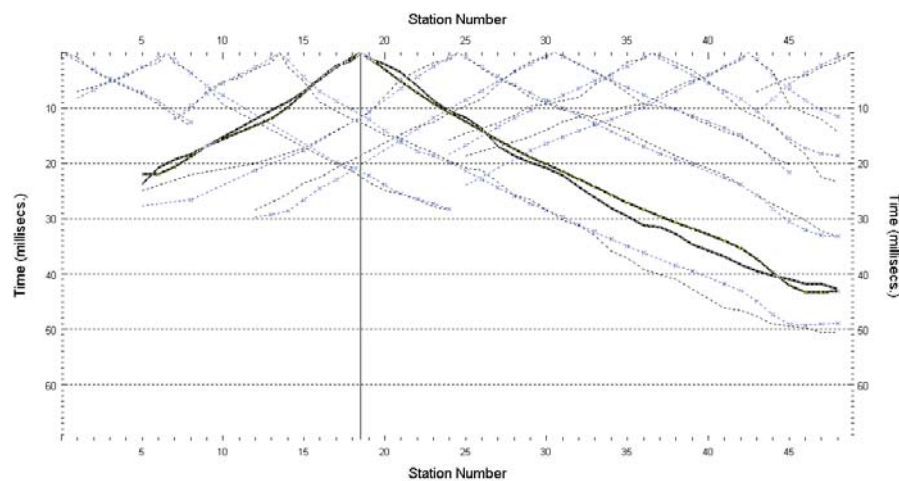


Figura 22 – R3 - Dromocrone della tomografia (in evidenza lo shot n. 14).

6.2 Prova per onde superficiali

Il dataset acquisito di ciascuna prova è composto da più sismogrammi, distribuiti in funzione del numero di energizzazioni acquisite per ogni estremità dello stendimento. Ciascuna registrazione contiene 48 tracce con spaziatura di 2 m.

La Figura 23 e la Figura 24 riportano rispettivamente lo stacking dei sismogrammi relativi all'energizzazione nell'estremo nord di R1 ed R2. In R3 si è scelto di estrarre il solo semi-sismogramma contenente gli ultimi 24 canali, con shot a centro linea, per limitare gli effetti indotti da variazioni laterali (Figura 25).

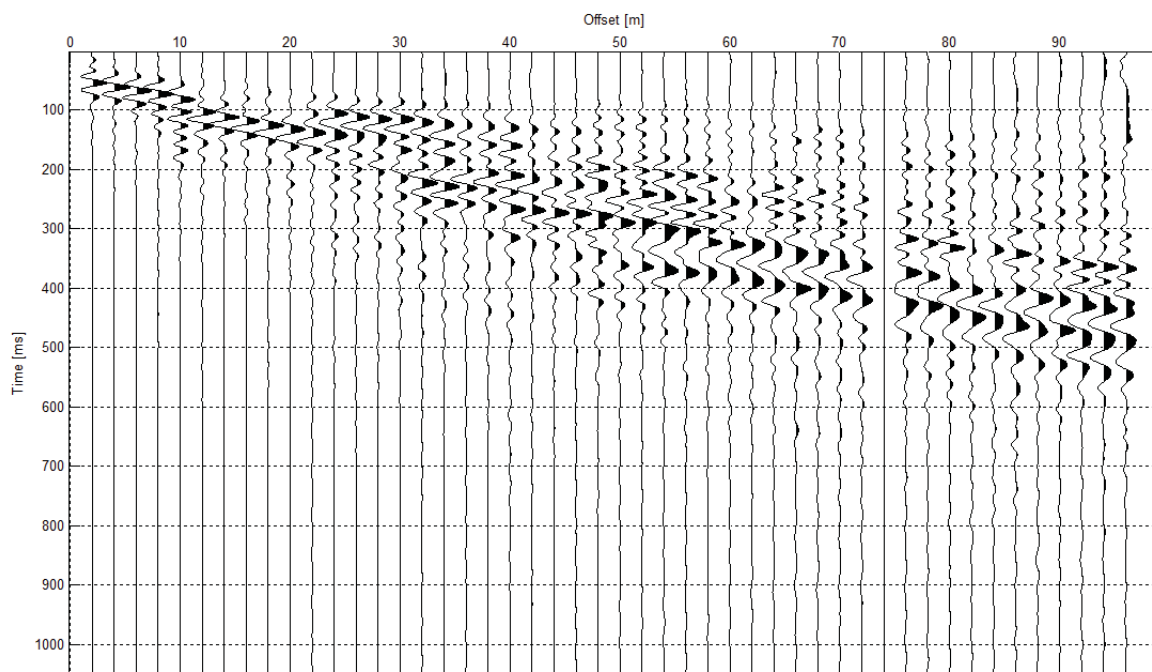
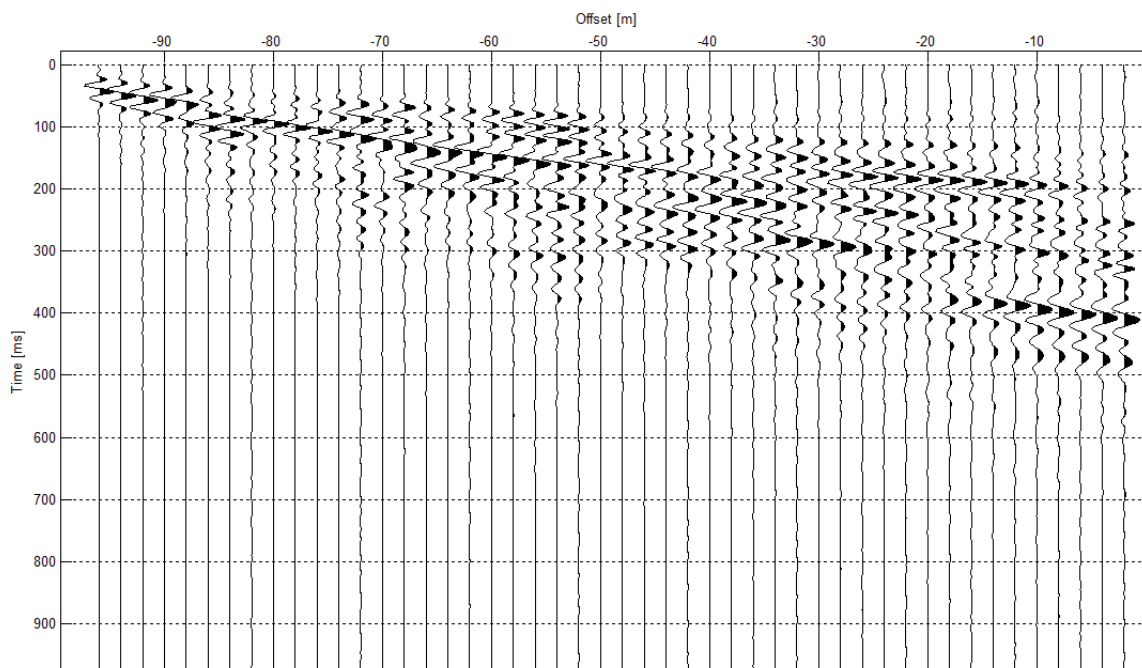
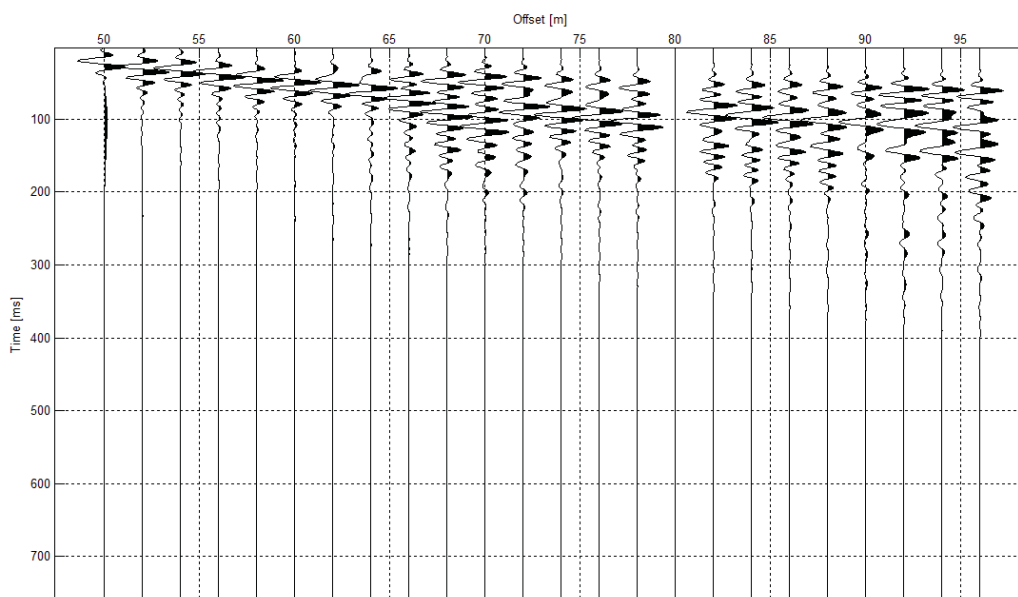


Figura 23 –R1 - Selezione del sismogramma della prova SW
Energizzazione lato nord.



**Figura 24 –R2 - Selezione del sismogramma della prova SW
 Energizzazione lato nord.**



**Figura 25 –R3 - Selezione del sismogramma della prova SW
 Energizzazione centrale.**

Il dato è trasformato in dominio f-k (Figura 26, Figura 27, Figura 28) e sono estratte e pulite le curve di dispersione (Figura 29, Figura 30, Figura 31).

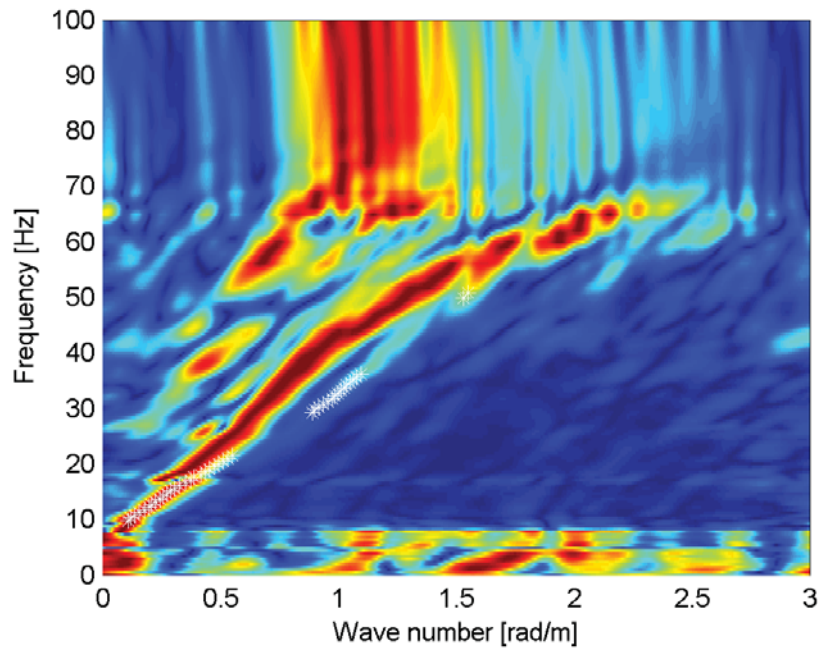


Figura 26 – R1 - Spettro f-k del sismogramma.

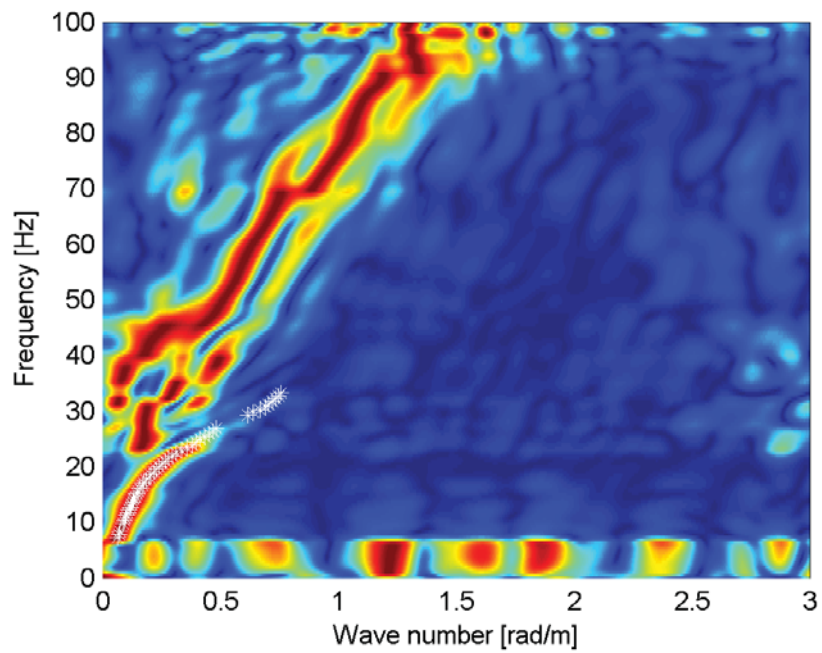


Figura 27 – R2 - Spettro f-k del sismogramma.

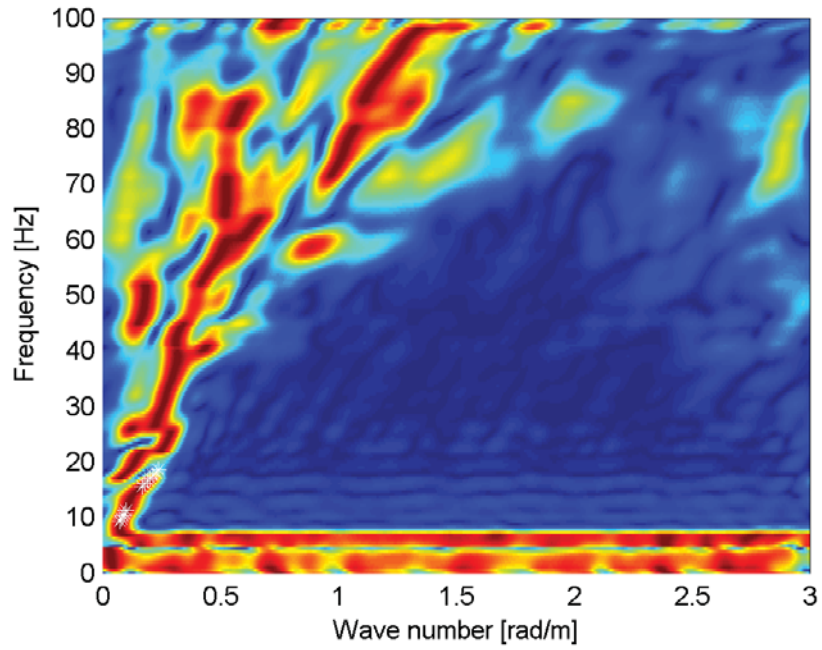


Figura 28 – R3 - Spettro f-k del sismogramma.

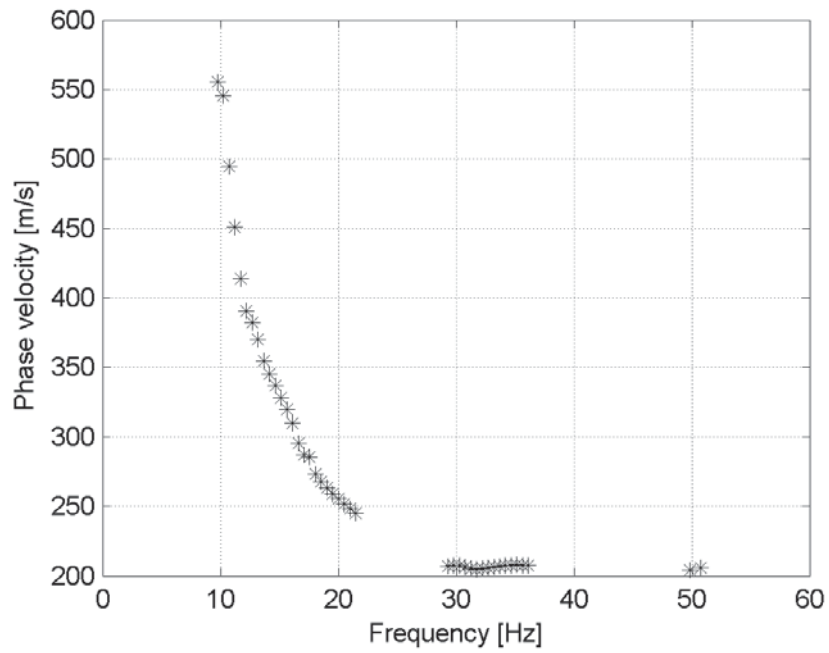


Figura 29 – R1 - Curva di dispersione estratta dallo spettro.

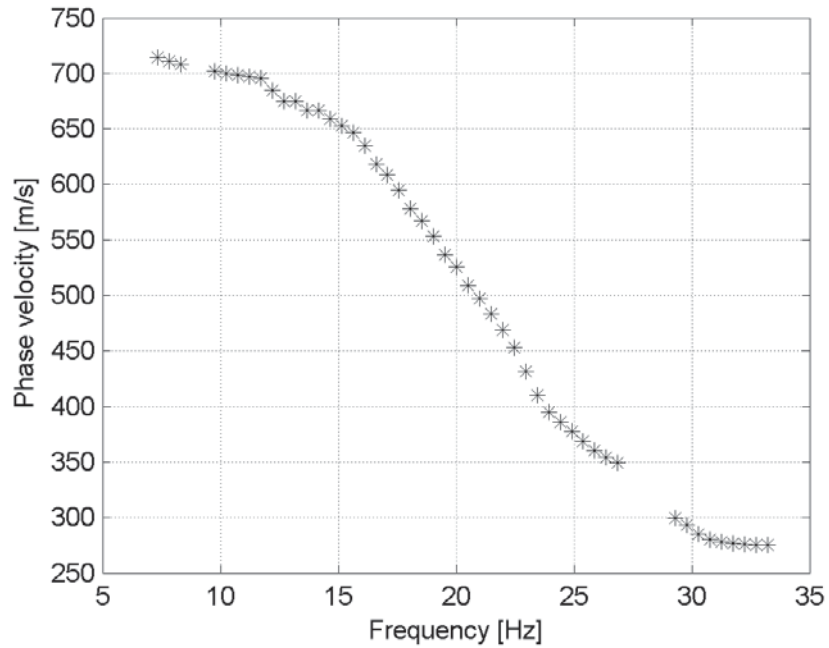


Figura 30 – R2 - Curva di dispersione estratta dallo spettro.

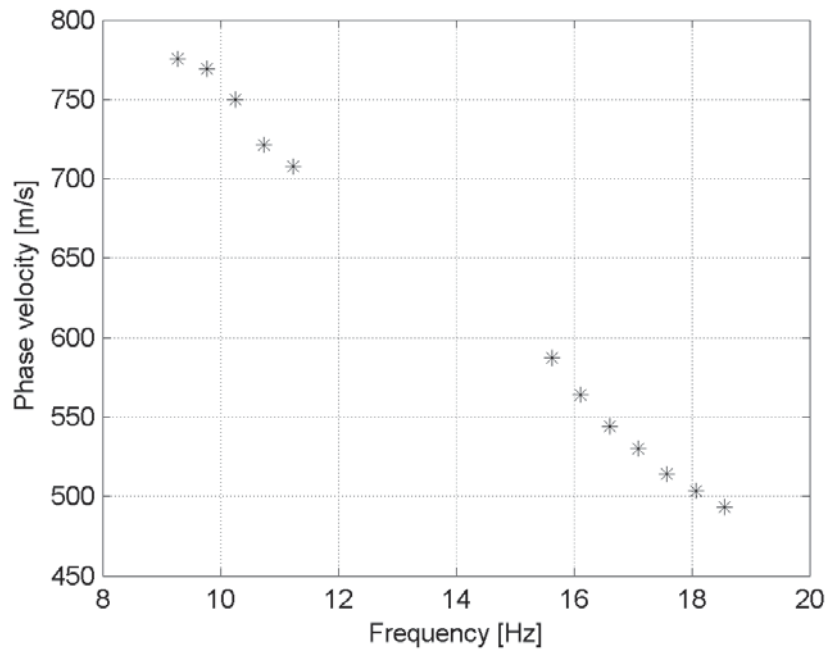


Figura 31 – R3 - Curva di dispersione estratta dallo spettro.

Il modo fondamentale delle curve di dispersione può essere mostrato in funzione della lunghezza d'onda λ diviso 2.5 (Figura 32, Figura 33, Figura 34) che dà un'idea qualitativa della profondità indagata e permette una valutazione preliminare sull'affidabilità dei risultati in funzione della profondità. La scala colori rappresenta la velocità di propagazione delle onde S per ogni lunghezza d'onda.

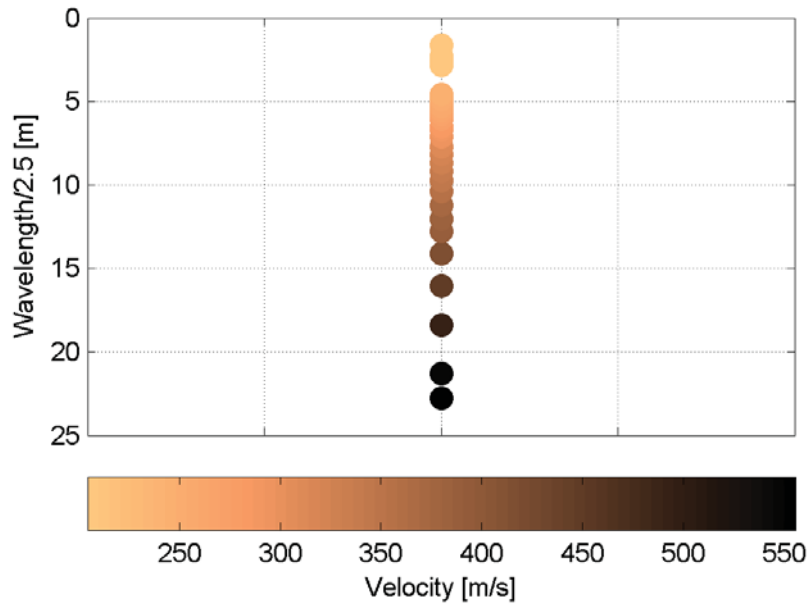


Figura 32 – R1 - Modo fondamentale delle curve di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

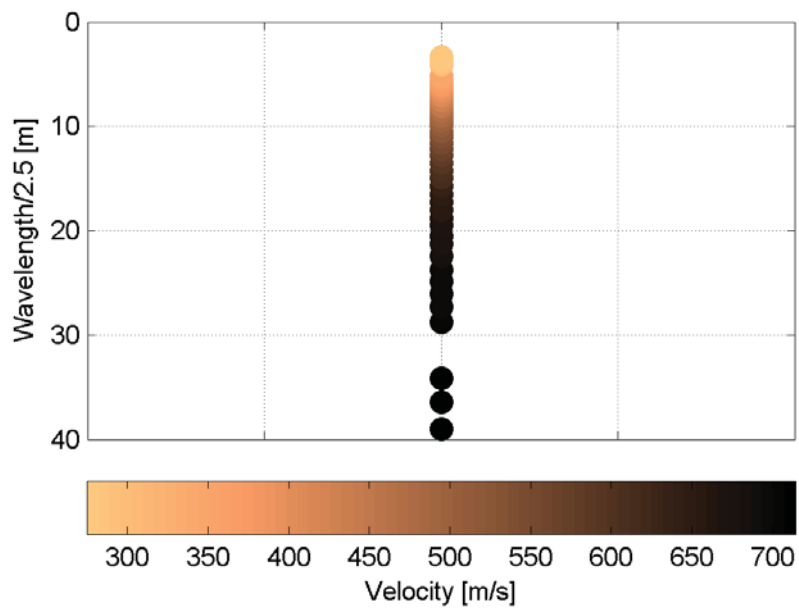


Figura 33 – R2 - Modo fondamentale delle curve di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

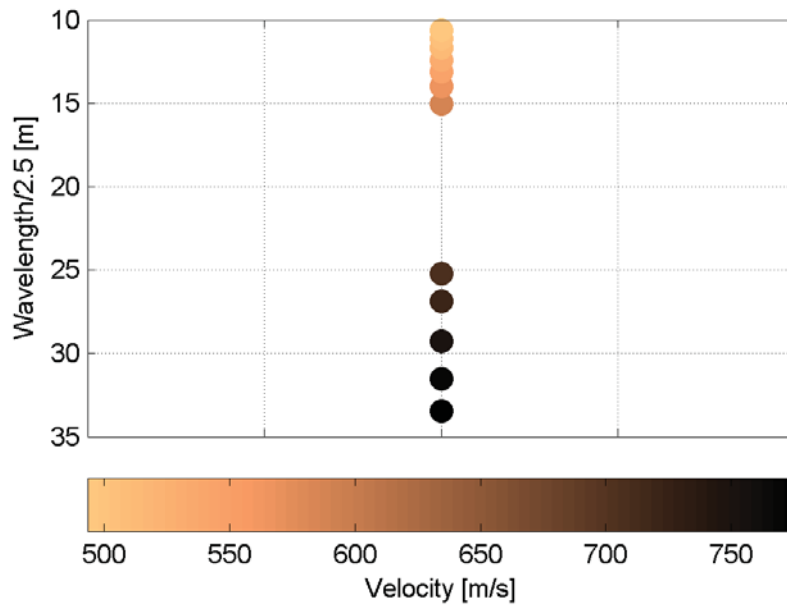


Figura 34 – R3 - Modo fondamentale delle curve di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

Si definisce un intervallo di variabilità dei parametri di modello (spessore degli strati, velocità delle onde di taglio, densità, coefficiente di Poisson), compatibile con la geologia del sito e si producono alcune migliaia di modelli di Vs compatibili con l'intervallo di variabilità dei parametri (Tabella 3 e Tabella 4)

Tabella 3. R1 - Intervallo di variabilità dei parametri di modello.

Numero di profili generati	10000
Numero di strati	3
Densità associata ad ogni strato (kg/dm ³)	1.8 – 1.9 – 2.2
Coefficiente di Poisson	0.3 – 0.3 – 0.25
Vs minima (m/s)	190 - 250 - 500
Vs massima (m/s)	220 – 500 - 850
Spessore minimo (m)	3 -3 - semispazio
Spessore massimo (m)	8 -8 - semispazio

Tabella 4. R2, R2 - Intervallo di variabilità dei parametri di modello.

Numero di profili generati	10000
Numero di strati	3
Densità associata ad ogni strato (kg/dm ³)	1.8 – 1.9 – 2.2
Coefficiente di Poisson	0.3 – 0.3 – 0.25
Vs minima (m/s)	220 - 400 - 700
Vs massima (m/s)	300 – 650 - 950
Spessore minimo (m)	3 -3 - semispazio
Spessore massimo (m)	6 -6 - semispazio

Il problema diretto viene risolto per tutti i modelli estratti. Tramite un test statistico, si individuano i soli modelli in cui si minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali e il set di dati calcolati (Figura 35, Figura 36, Figura 37 e Figura 38, Figura 39, Figura 40).

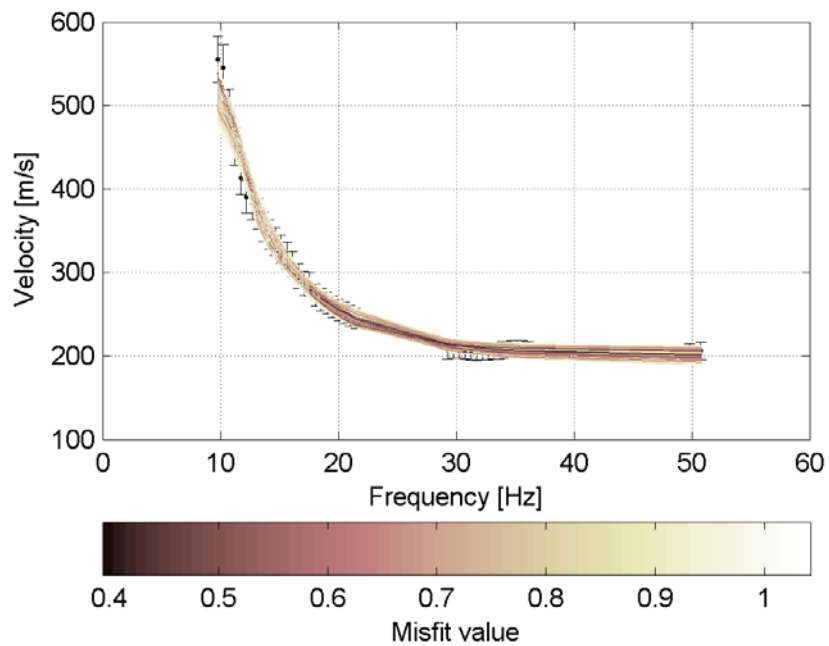


Figura 35 – R1 - Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

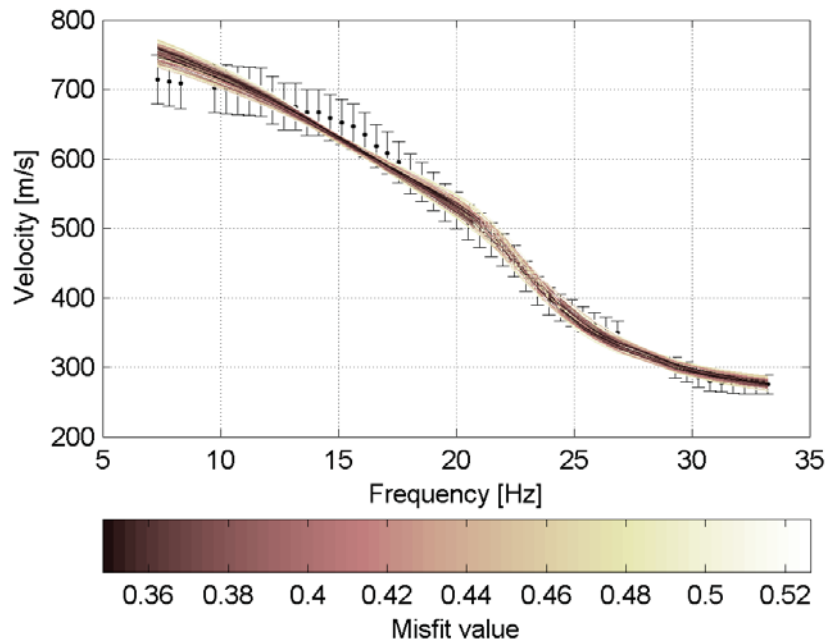


Figura 36 – R2 - Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

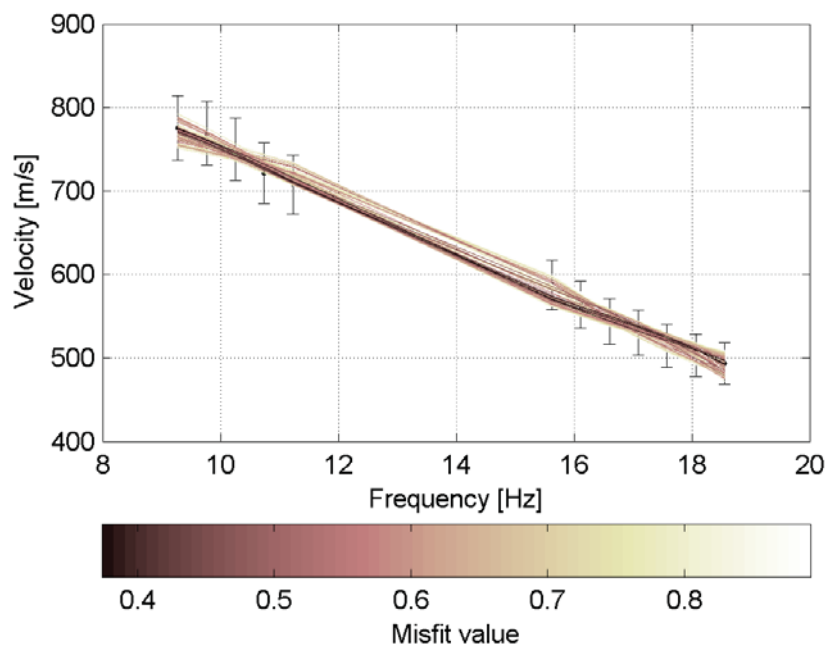


Figura 37 – R3 - Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

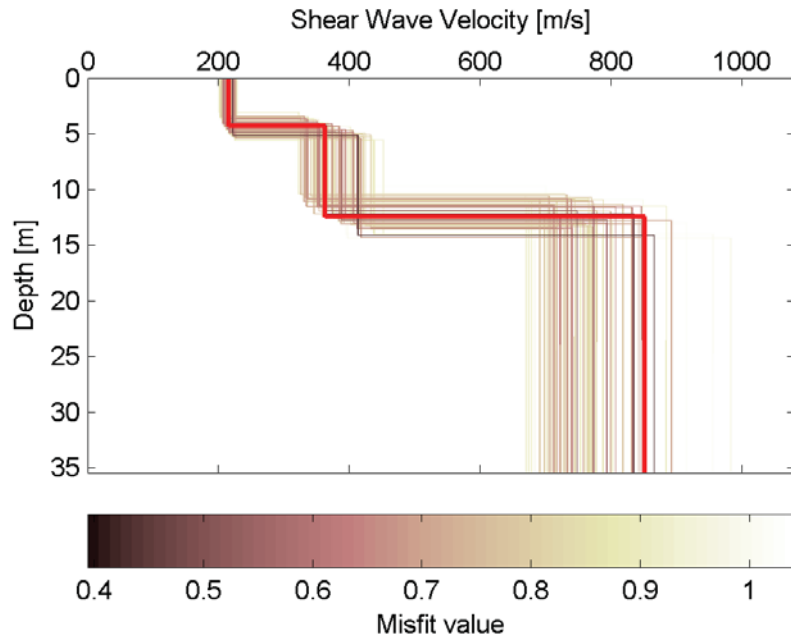


Figura 38 – R1 - Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

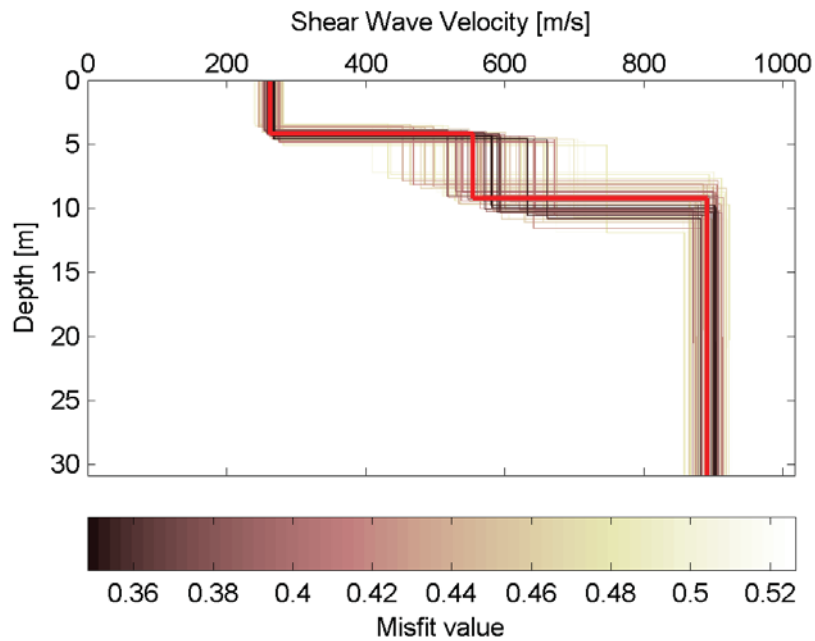


Figura 39 – R2 - Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

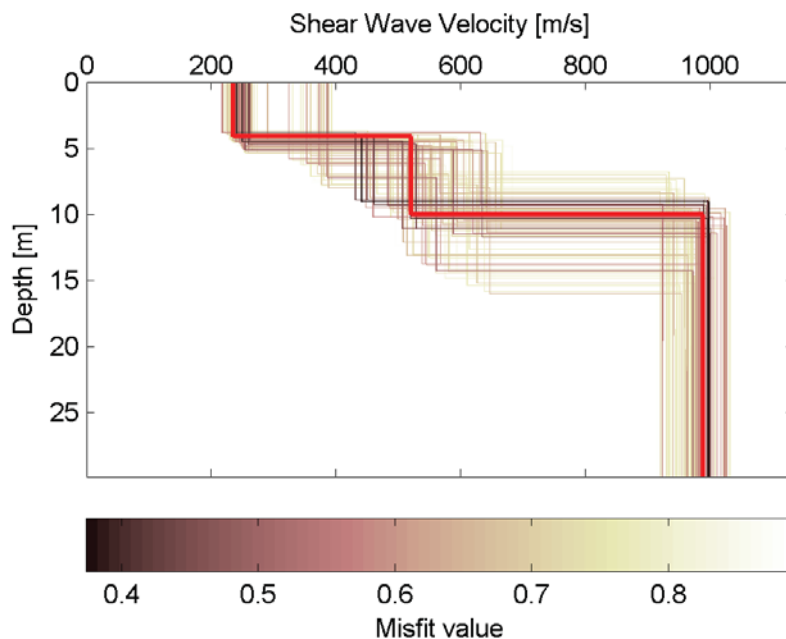


Figura 40 – R3 - Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

Per ognuno di questi modelli si calcola il valore di V_{s30} dal piano di imposta delle fondazioni, secondo la formulazione proposta nel D.M. 14/01/2008. Dalla distribuzione di tutti i valori di V_{s30} stimati (Figura 41, Figura 42, Figura 43) è possibile ricavare valore medio e relativa deviazione standard:

Tabella 5. V_{s30} - Media e deviazione standard del set di modelli delle possibili soluzioni.

Profilo	Velocità media (m/s)	STD (m/s)
R1	464	9
R2	622	2
R3	619	6

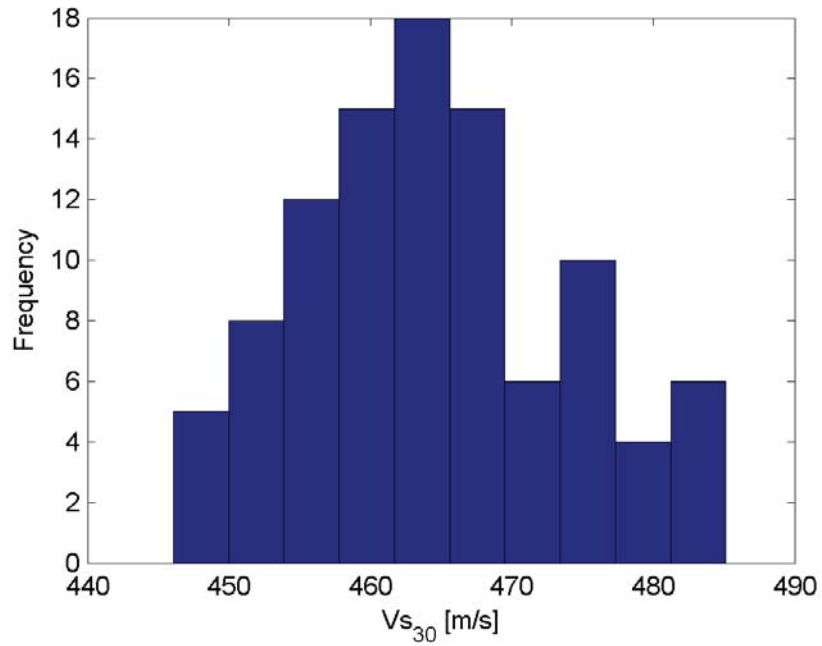


Figura 41 – R1 - Istogramma di distribuzione dei valori di Vs30 stimati dal piano di imposta delle fondazioni.

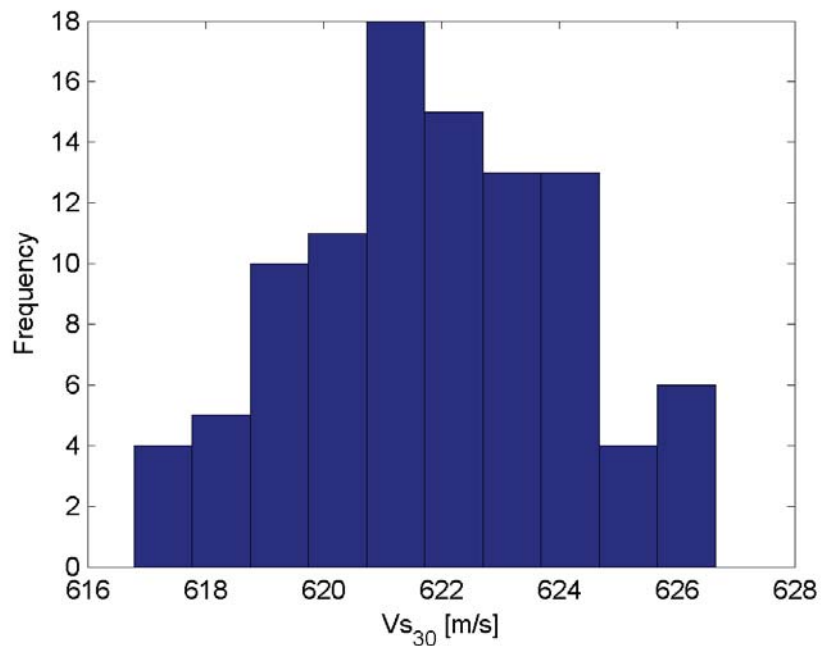


Figura 42 – R2 – Istogramma di distribuzione dei valori di Vs30 stimati dal piano di imposta delle fondazioni.

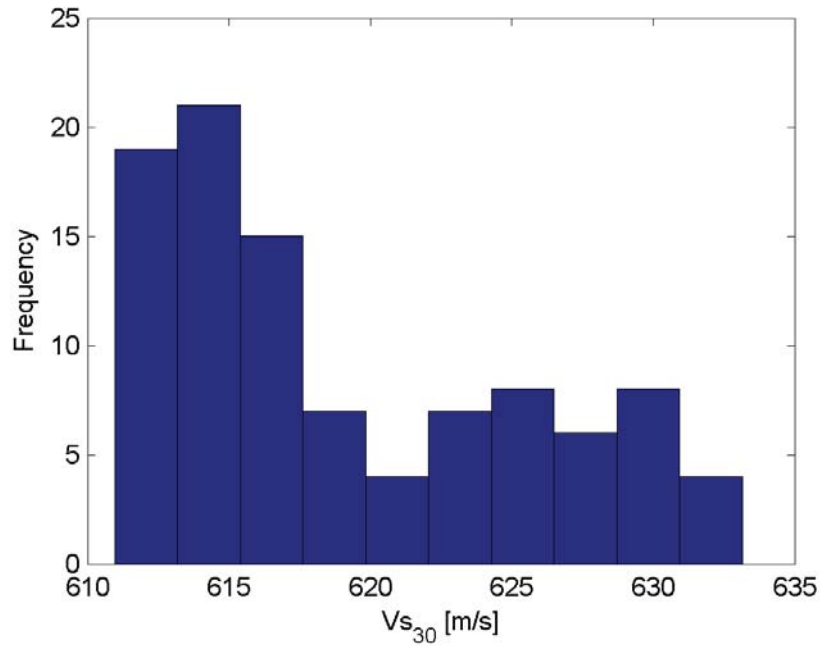


Figura 43 – R3 – Istogramma di distribuzione dei valori di Vs30 stimati dal piano di imposta delle fondazioni.

In assenza di informazioni geologiche, si selezionano ulteriormente i modelli che descrivono il dato in modo statisticamente equivalente tramite l'analisi qualitativa del fitting delle curve di dispersione sui modi superiori.

Il profilo che meglio si adatta a queste valutazioni è illustrato in Figura 44, Figura 45 e Figura 46.

La profondità di indagine è riferita alla quota media del piano campagna.

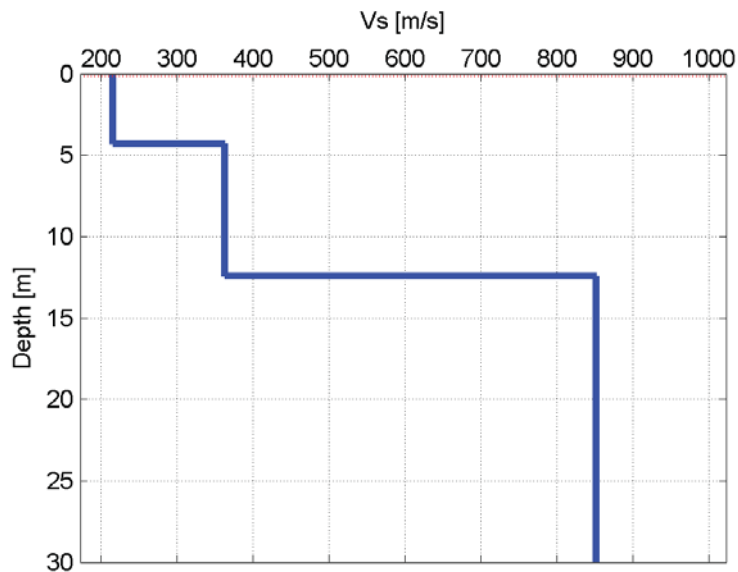


Figura 44 – R1 - Profilo stratigrafico di Vs (profondità da piano campagna).

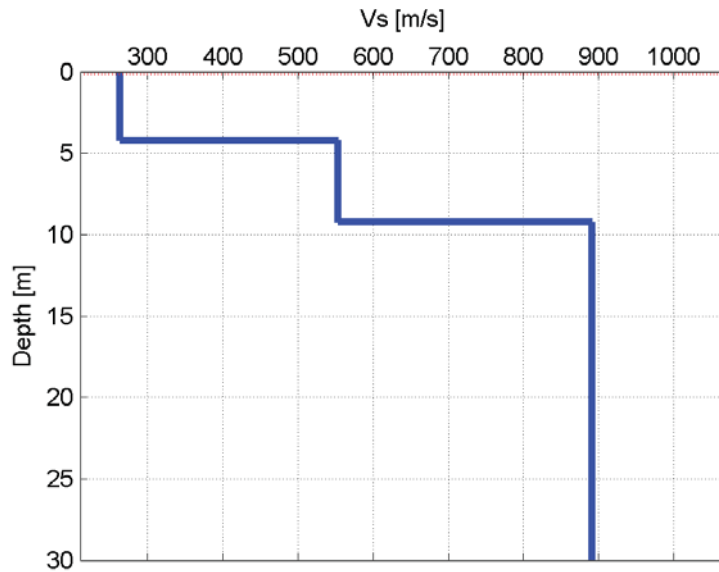


Figura 45 – R2 - Profilo stratigrafico di Vs (profondità da piano campagna).

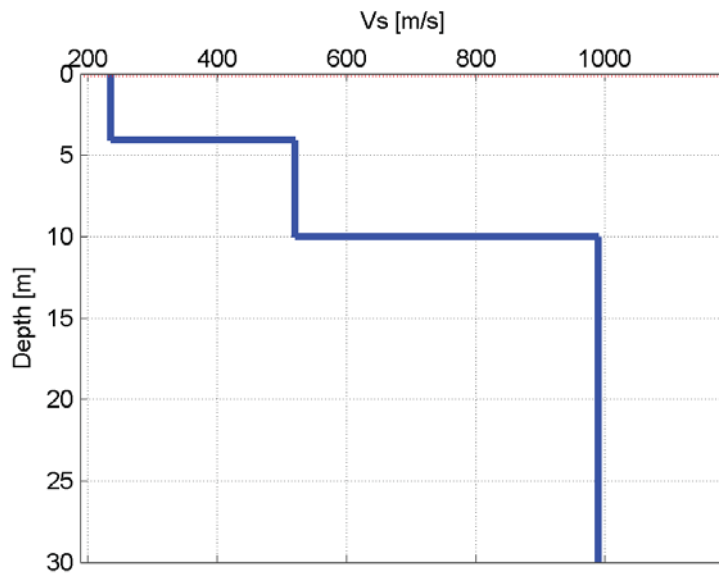


Figura 46 – R3 - Profilo stratigrafico di Vs (profondità da piano campagna).

In Figura 47, Figura 48 e Figura 49 le curve di dispersione relative ai profili scelti sono sovrapposte agli spettri f-k, mentre in Figura 50, Figura 51 e Figura 52 sono sovrapposte alle curve di dispersione sperimentali.

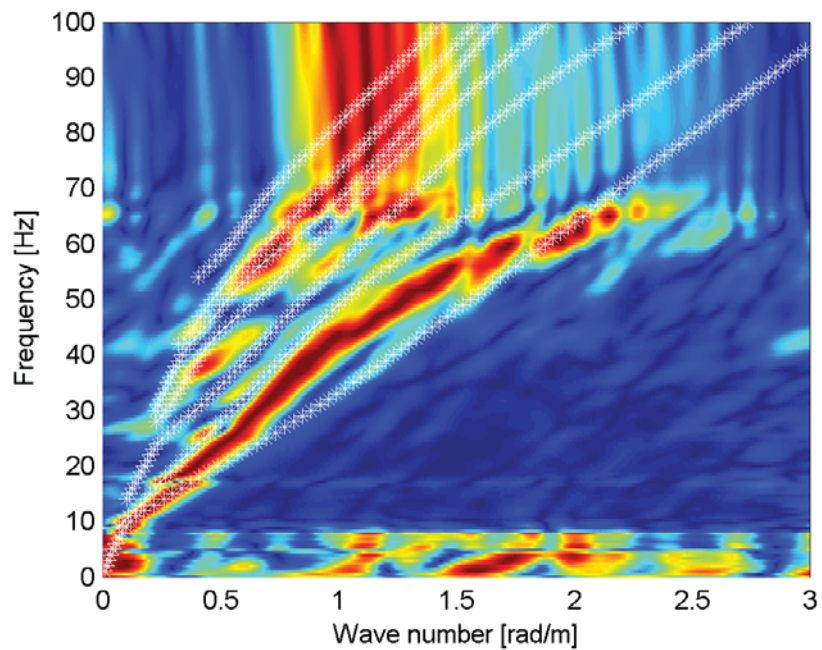


Figura 47 – R1 - Spettri f-k normalizzati e fitting delle curve di dispersione.

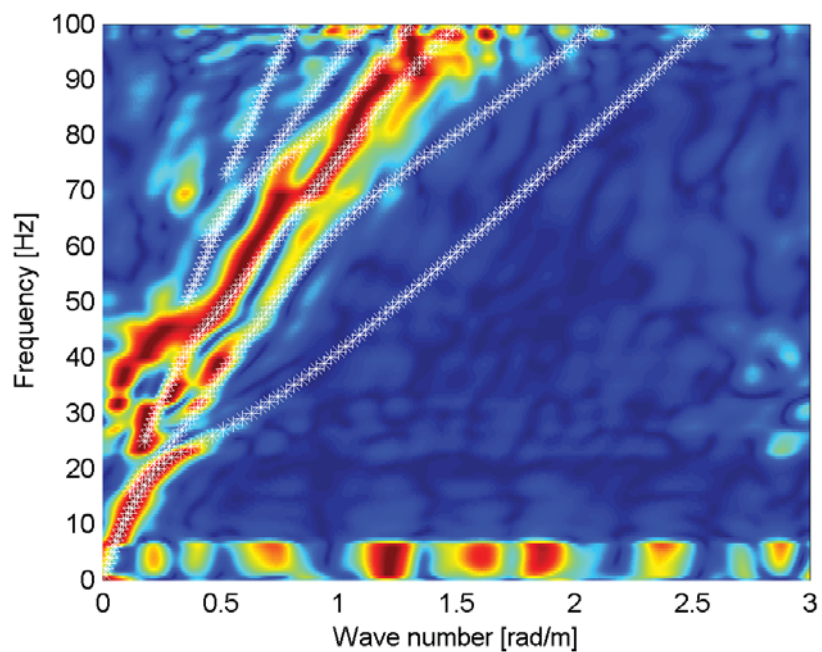


Figura 48 – R2 - Spettri f-k normalizzati e fitting delle curve di dispersione.

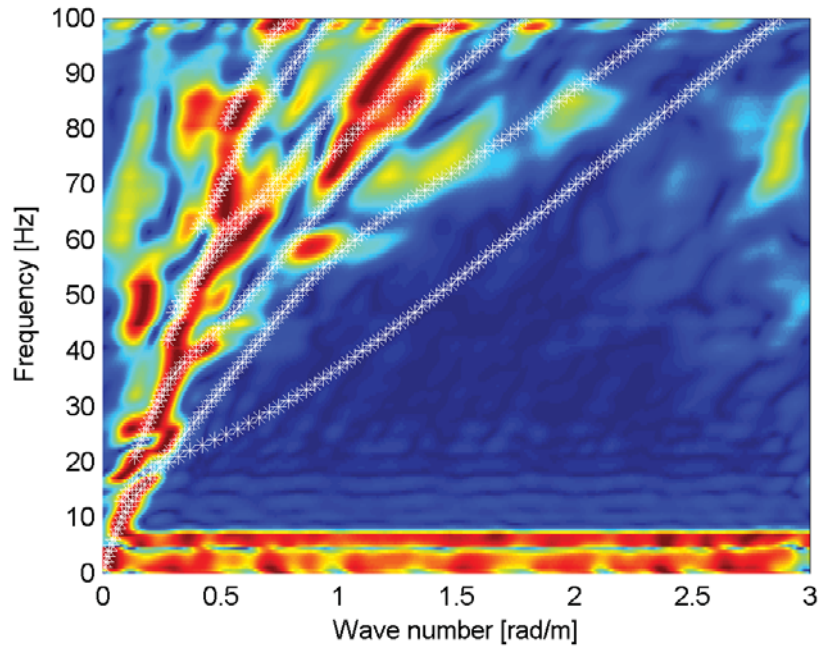


Figura 49 – R3 - Spettri f-k normalizzati e fitting delle curve di dispersione.

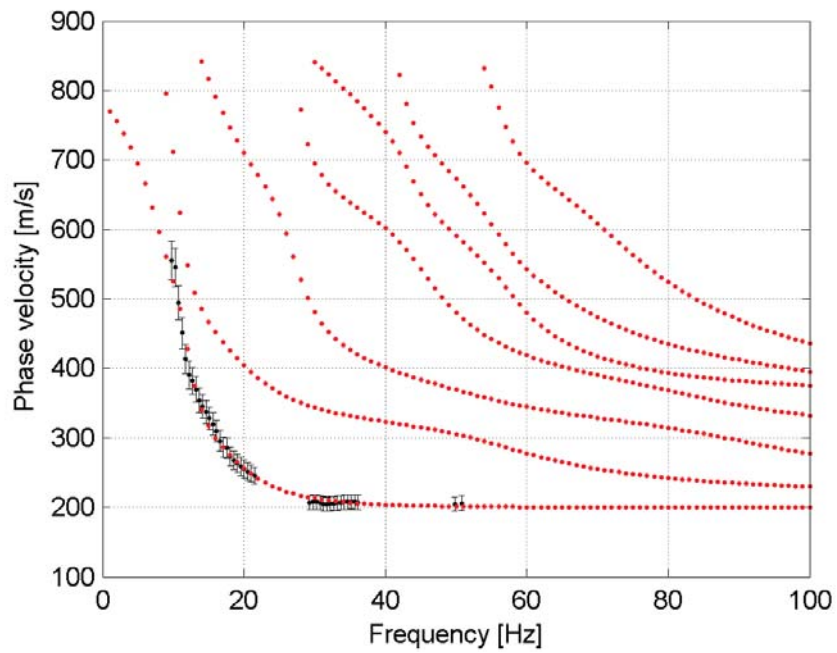


Figura 50 – R1 - Curve di dispersione da modello (punti rossi) e curve di dispersione sperimentali (asterischi neri).

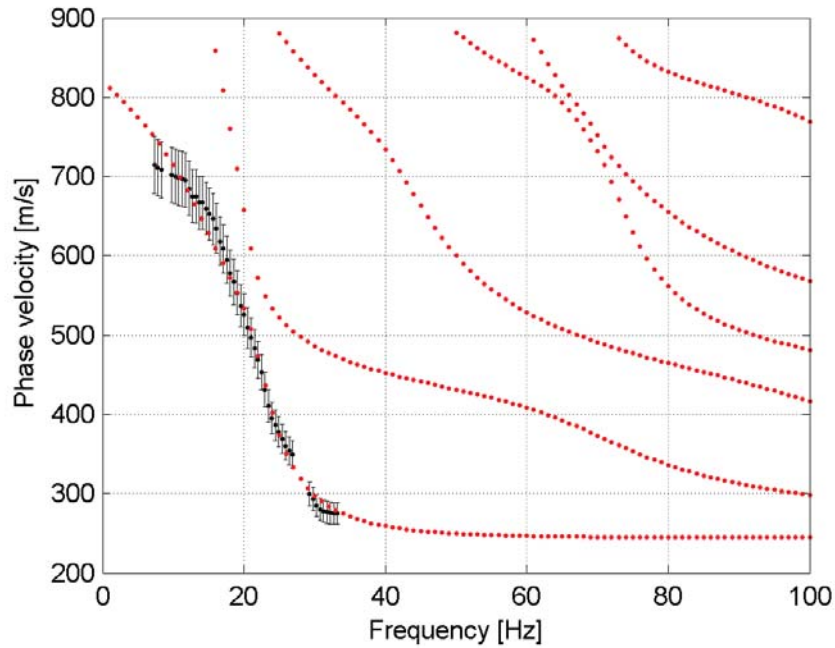


Figura 51 – R2 - Curve di dispersione da modello (punti rossi) e curve di dispersione sperimentali (asterischi neri).

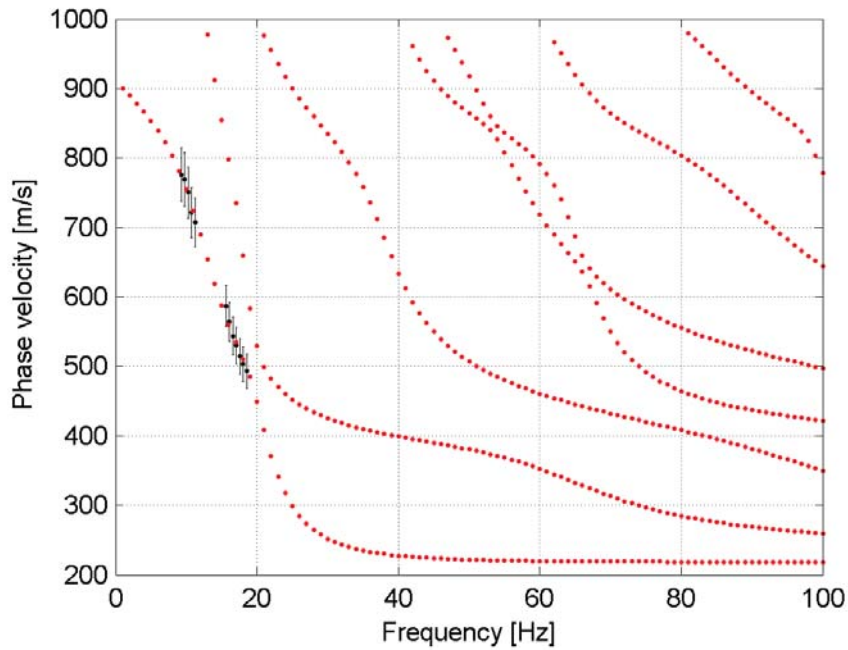


Figura 52 – R3 - Curve di dispersione da modello (punti rossi) e curve di dispersione sperimentali (asterischi neri).

I parametri del modello di Figura 44 sono riportati in Tabella 6, i parametri del modello di Figura 45 sono riportati in Tabella 7 e i parametri del modello di Figura 46 sono riportati in Tabella 8.

Tabella 6. R1 - Profilo Vs - Parametri del modello di Figura 44.

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

Tabella 7. R2 - Profilo Vs - Parametri del modello di Figura 45.

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

Tabella 8. R3 - Profilo Vs - Parametri del modello di Figura 46.

Strato (numero)	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

Il valore di V_{s30} del modello finale, calcolato alla quota del piano campagna è riportato nella seguente tabella.

Tabella 9. V_{s30} del modello finale.

Profilo	V_{s30} (m/s)
R1	477
R2	622
R3	612

7 INTERPRETAZIONE GEOFISICA

L'analisi delle tomografie sismiche a rifrazione in onde P e delle relative mappe di copertura dei raggi sismici (da Figura 14 a Figura 19) permette le seguenti considerazioni:

R1

- Il substrato è 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 si perde, oltre la massima profondità di indagine.
- La copertura presenta valori abbastanza omogenei, con $V_p < 1200$ m/s.
- Si è constatata una forte attenuazione del segnale in onde P, che ha permesso il picking su pochi canali al lati di ogni sorgente. Questo ha prodotto scarsa profondità di indagine e mappa di copertura dei raggi sismici scadente.
- Non è possibile distinguere il passaggio da riporto a copertura naturale.

R2

- La sezione non è omogenea e si osserva un incremento della velocità in profondità all'aumentare delle progressive.
- Tra progressiva 50 e 100 m, la sezione vede materiale di copertura omogeneo ($V_p < 1800$ m/s) fino alla profondità di circa 15m.
- Nella prima parte dello stendimento, il margine inferiore della sezione vede un incremento di velocità, con valori significativi (V_p massima circa 2300 m/s). Questo materiale potrebbe essere interpretato come substrato fratturato.

R3

- La tortuosità della sede stradale 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.

I profili di V_s (Figura 44, Figura 45, Figura 46 e Tabella 6, Tabella 7, Tabella 8) mostrano:

R1

- Si individuano due strati superficiali che descrivono il materiale di riporto costituente il piazzale (V_s compresa tra 200 e 350 m/s).
- Il contatto con il substrato è a profondità di circa 12 m, con passaggio a $V_s > 800$ m/s.
- La profondità del substrato è un valore medio, che subisce l'esistenza di variazioni laterali, che non permettono un fitting perfetto delle curve di dispersione con lo spettro sperimentale, specie sui modi superiori (Figura 47).

R2

- La prova per onde superficiali è di buona qualità con un valore di misfit contenuto.
- Si incontra un primo incremento di velocità a circa 5 m e uno successivo a 10 m, ascrivibile al passaggio in roccia compatta. Le variazioni laterali individuate nella tomografia escludono la presenza del contatto a profondità costante lungo l'intera linea.

R3

- La prova è di scarsa qualità, con forti variazioni laterali e misfit abbastanza elevato.
- La curva di dispersione sperimentale contiene pochi punti, compresi nella fascia stretta tra 9 e 19 Hz; questo 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.
- La presenza di valori simili a quelli di un substrato competente posto a circa 10 m è un'ipotesi poco verosimile, che non può trovare conferma nella tomografia per onde P.

8 CONCLUSIONI

Dall'analisi dei risultati delle tecniche utilizzate si fanno le seguenti considerazioni sulla geometria della copertura:

R1

- Copertura spessa 10 m a inizio linea, spessa probabilmente 15-20 m a fine linea.

R2

- Copertura spessa circa 5 m a inizio linea.
- Copertura > 15 m a fine linea.

R3

- Substrato assente nei primi 10 m, probabilmente presente intorno a 20 m.

Le velocità dei profili di Vs sono abbastanza congruenti con i valori di Vp ricavati dalle tomografie. È possibile individuare, a partire da piano campagna, due strati distinti:

1. *Riporto o copertura superficiale*
 - $250 < V_s < 550$ m/s
 - $1200 < V_p < 1800$ m/s
2. *Substrato*
 - $850 < V_s < 1000$ m/s
 - $V_p > 2300$ m/s

Il valore del parametro V_{s30} riferito al piano campagna è riassunto nella seguente tabella:

Profilo	V_{s30} (m/s)
R1	477
R2	622
R3	612

9 PARAMETRO VS30

Il D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, oltre alla valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

La definizione dell'azione sismica a cui gli edifici sono soggetti è legata alla determinazione di alcuni fattori importanti per l'edificio stesso, tra i quali la classificazione del suolo di fondazione su cui l'edificio verrà costruito.

V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = spessore (in m);

V_i = velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori;

N = numero di strati.

9.1 *Stima del Parametro VS30*

E' stato dimostrato (Comina et al., 2010) che, data un'adeguata profondità di investigazione, la non unicità della soluzione non costituisce un problema per la stima della V_{S30} . e che il metodo delle onde superficiali fornisce risultati comparabili a quelli ottenuti con metodi invasivi quali down-hole test (DH) o seismic dilatometer test (SDMT).

Per questo motivo, la metodologia proposta non fornisce un unico profilo di Vs, ma un set di possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

Per ogni modello si calcola il valore di V_{S30} secondo la formulazione proposta nel D.M. 14/01/2008 e dalla distribuzione dei valori di V_{S30} stimati è possibile ricavare un valore modale che rappresenta il parametro V_{S30} del sito.

10 **TOMOGRAFIA SISMICA – Nota tecnica**

10.1 *Introduzione teorica*

La tomografia sismica per onde P è una tecnica che sfrutta la velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione, al fine di ottenere informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali che sono attraversati dal fronte d'onda. Tale metodo di indagine, rispetto ai metodi classici quali la sismica a rifrazione, non schematizza il terreno sottostante a strati con caratteristiche omogenee, ma permette di determinare la velocità di propagazione in funzione della profondità, evidenziando eventuali discontinuità laterali e interfacce non piane tra gli strati a diverse caratteristiche.

L'acquisizione dei dati avviene posizionando uno stendimento di geofoni a spaziatura preferibilmente costante sulla direzione lungo la quale si intende ottenere una sezione con l'andamento delle velocità ed energizzando in un numero generalmente dispari di punti (uno al centro dello stendimento e gli altri distribuiti simmetricamente). Ogni singola acquisizione è sommata alle successive al fine di aumentare il rapporto segnale/rumore.

10.2 *Modalità di acquisizione*

L'energizzazione in più punti prestabiliti lungo la linea è stata eseguita con mazza da 4 kg su piastra metallica di ripartizione, impiegando un trigger elettrico. In ogni punto di energizzazione i colpi sono

ripetuti e il segnale sommato (operazione di stacking) fino a quando l'operatore al sismografo non ritenga che il rapporto segnale/rumore sia accettabile.

10.3 Elaborazione dei dati tomografici

L'elaborazione dei dati prevede l'esecuzione del picking manuale dei primi arrivi delle onde P, il cui risultato è generalmente visualizzato sotto forma di dromocrone (grafici rappresentanti i tempi di primo arrivo in funzione della distanza dalla sorgente).

I tempi di primo arrivo, espressi in millisecondi, insieme alle coordinate spaziali di ogni geofono, sono poi forniti in input al programma di inversione, il quale effettua una prima interpretazione attraverso il metodo classico della sismica a rifrazione e crea un modello di primo tentativo per poter inizializzare il processo di inversione. Il programma procede suddividendo la sezione in celle alle quali assegna un certo valore di velocità delle onde di compressione, dedotto dal modello di primo tentativo creatosi in precedenza. Successivamente viene simulata l'energizzazione in ogni punto di scoppio.

Si suppone che la traiettoria dei raggi sismici dal punto di scoppio al singolo geofono sia curvilinea e che la velocità di propagazione lungo tale traiettoria sia differente a seconda della velocità che è stata assegnata dal programma ad ogni singola cella attraversata dal percorso sismico. Ne risulta che per ogni punto di energizzazione:

$$T_i = \int_S^R \frac{1}{V} ds$$

dove:

T_i = tempo di primo arrivo al geofono i -esimo;

S = punto di energizzazione;

R = ricevitore;

V = velocità di propagazione delle onde di compressione;

ds = tratto infinitesimo di percorso.

I tempi di primo arrivo ricavati dalla simulazione vengono poi confrontati con i tempi di primo arrivo sperimentali e, in base agli scarti, vengono corrette le velocità relative alle celle attraversate dai percorsi sismici. Il processo di inversione è iterativo e si ottiene il risultato finale quando il valore degli scarti è inferiore ad un valore soglia deciso dall'operatore oppure dopo un particolare numero di iterazioni anch'esso deciso dall'operatore.

Il risultato consiste in una sezione verticale con andamento delle velocità delle onde P nel sottosuolo e una sezione con i valori di "copertura" che riporta per ogni cella della sezione stessa il numero di raggi sismici che la attraversano nell'ultima iterazione. La sezione con i valori di copertura è utile alla definizione di affidabilità delle velocità ottenute, poiché alti valori di copertura sottintendono una maggiore accuratezza.

11 PROVE PER ONDE SUPERFICIALI – Nota tecnica

11.1 Introduzione teorica

Il metodo delle onde superficiali attive (anche detto S.W.M. – Surface Wave Method) è un metodo di caratterizzazione sismica basato sull'analisi della dispersione geometrica delle onde superficiali. La procedura consiste nella valutazione delle caratteristiche dispersive del sito a partire dall'acquisizione e il trattamento dei dati sismici e nella loro successiva analisi per determinare le proprietà meccaniche del sottosuolo. La velocità di propagazione delle onde di Rayleigh in un semispazio elastico, omogeneo e isotropo, è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi a una profondità circa pari a una lunghezza d'onda. La profondità raggiunta dalla perturbazione dipende, quindi, dalla lunghezza d'onda e, in mezzi omogenei, a diverse lunghezze d'onda corrisponde un'unica velocità di fase (V_R). In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito, cioè, da strati aventi proprietà meccaniche differenti, il comportamento delle onde superficiali diventa dispersivo: a frequenze diverse corrispondono differenti velocità di fase. Lunghezze d'onda diverse interessano, infatti, strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche specifiche: ogni lunghezza d'onda (e quindi ogni frequenza) si propaga a una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche degli strati interessati dalla propagazione.

Nel caso di un mezzo eterogeneo, quindi, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma diverse velocità di fase in corrispondenza delle diverse frequenze: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo, è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo, è un fenomeno multimodale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse velocità di propagazione, a ognuna delle quali corrisponde un modo di vibrazione del sito. Differenti modi di vibrazione possono manifestarsi simultaneamente.

Da un punto di vista teorico, per quanto riguarda il modo fondamentale, alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse

frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità. La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni; infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e può essere utilizzata per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

11.2 Modalità di acquisizione

La fase di acquisizione prevede l'utilizzo di una sorgente, impulsiva o controllata, tramite la quale viene creata una perturbazione che si propaga lungo la superficie libera e viene rilevata da uno o più ricevitori posti lungo dispositivi lineari sul piano campagna. La sorgente è posta a un estremo dello stendimento di misura e di norma si effettuano energizzazioni ai due lati opposti dello stendimento per avere ridondanza di informazione e gestire eventuali disomogeneità del sottosuolo. L'obiettivo è indagare la propagazione delle onde superficiali in una banda di frequenza più ampia possibile, poiché ciò consente di ottenere informazioni sulle proprietà degli strati profondi, che influenzano le componenti a bassa frequenza, e di risolvere con adeguata risoluzione gli strati più superficiali, che influenzano in maniera significativa soprattutto le componenti ad alta frequenza. Questo implica la scelta di corretti parametri di acquisizione (nello spazio e nel tempo) atti a permettere un'adeguata risoluzione spettrale nella fase di elaborazione.

Il campionamento temporale deve garantire che tutto il treno d'onda relativo alla propagazione delle onde superficiali sia registrato, quindi la durata dell'acquisizione (T) deve essere maggiore o uguale al tempo necessario per l'armonica più lenta a raggiungere il sensore più lontano. L'intervallo di campionamento (dt) deve garantire la stima delle armoniche di interesse in base alle regole del campionamento (frequenza di campionamento almeno doppia (meglio pari a cinque volte) della frequenza più alta da registrare).

Il campionamento spaziale deve consentire di stimare in modo affidabile le lunghezze d'onda di interesse. In particolare la lunghezza dello stendimento di misura (L) non deve essere inferiore alla metà della massima lunghezza d'onda e la distanza intergeofonica (dl) deve essere metà della minima lunghezza d'onda.

Inoltre, poiché dal punto di vista fisico le onde di superficie sono sensibili alle proprietà del mezzo in cui si propagano, fino ad una profondità pari a circa 0.4 volte la lunghezza d'onda massima, la lunghezza L deve essere definita anche in funzione della profondità d'indagine desiderata.

11.3 *Elaborazione dati di onde superficiali*

Obiettivo dell'elaborazione è la stima della curva di dispersione caratteristica del sito, che esprime la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

La procedura può essere sintetizzata nei seguenti punti:

- I dati di campagna vengono trasformati tramite una doppia trasformata di Fourier in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I massimi di energia sono associabili alle onde di Rayleigh (Tselentis and Delis, 1998) e vengono riconosciuti gli eventi coerenti in ampi intervalli di frequenza, discriminando gli eventi associabili ai diversi modi di propagazione.
- Le curve di dispersione sperimentali sono ricavate con un algoritmo di ricerca dei massimi spettrali. Per ogni frequenza f , il picco spettrale è associato a un determinato valore del numero d'onda k , da cui è possibile ricavare la velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso la relazione:

$$V_R(f) = \frac{2\pi f}{k}$$

- Il modello di sottosuolo viene schematizzato come un mezzo elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.
- Si definisce uno spazio dei parametri di modello (spessore degli strati, velocità delle onde di taglio, densità, coefficiente di Poisson), compatibile con la geologia del sito.
- Tramite un algoritmo di inversione probabilistica, si producono alcune migliaia di profili di Vs (modelli) compatibili con il range di variabilità dei parametri.
- Il problema diretto viene risolto per tutti i modelli estratti e si individuano i soli modelli in cui si minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione simulata). La procedura è condotta con tecniche di ricerca globale della soluzione (Wathelet et al, 2004; Socco and Boiero, 2008).

12 BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Ryden, N. and Park, C.B., 2006. Fast simulated annealing inversion of surface waves on pavement using phase-velocity spectra. *Geophysics* 71, R49-R58.
- Socco, L.V., Strobbia, C., 2004. Surface-wave method for near-surface characterization: a tutorial. *Near Surface Geophysics* 2, 165-185.
- Socco, L.V., and D. Boiero, 2008, Improved Monte Carlo inversion of surface wave data: *Geophysical Prospecting*, 56, 357-371.
- Tselentis, G.A., and G. Delis, 1998, Rapid assessment of S-wave profiles from the inversion of multichannel surface wave dispersion data: *Annali di Geofisica*, 41, 1-15.
- Wathelet, M., D. Jongmans, and M. Ohrnberger, 2004, Surface-wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements: *Near Surface Geophysics*, 2, 211-221.