



CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA
DIREZIONE TERRITORIO E MOBILITA'

Servizio Programmazione e Coordinamento Viabilità
Ufficio Lavori Pubblici

C.C. 31/17-PG

SP 226 della Vallescrivia

Lavori di ripristino della carreggiata e consolidamento del corpo stradale a seguito del cedimento delle opere di sostegno di valle dovuto al dissesto di versante al km 10+700 circa in Comune di Montoggio

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOLOGICA

REDATTO DA: Ing. Fabrizio Mansueto	PROGETTISTI: Ing. Fabrizio Mansueto	ALLEGATO	
		2	
ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE (in caso di professionista esterno)	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: Ing. Francesca Villa	TAVOLA N°	
		SCALA	
		DATA	
CONTROLLATO	DATA	AGGIORNATO	DATA
APPROVATO	DATA	AGGIORNATO	DATA

<i>STEFANO MONTALDO</i>		<i>GEOLOGO</i>
Via Corsica 2/1	16128 <u>GENOVA</u>	mail: stefano.montaldo@yahoo.it
Tel/Fax: 010-570.55.85	Cell. 335-8148970	pec; stefano.montaldo@epap.sicurezzapostale.it
C.F. MNT SFN 61E23 D969S	P.IVA. 03657050104	

Richiedente:



Città Metropolitana di Genova

Direzione Territorio e Mobilità
 Servizio Progettazione e Coordinamento Viabilità
 Ufficio Lavori Pubblici
 Largo F. Cattanei, 3 - Genova

Intervento:

Progetto definitivo della porzione di interventi di competenza della Città Metropolitana di Genova sulla S.P. n. 226 della Valle Scrivia al Km 10+700 nel Comune di Montoggio – Genova

Relazione Geologica



Tratto di strada SP n. 226 interessato da tension-cracks

1.0 – Introduzione

Lo scrivente è stato incaricato di approntare uno *studio geologico* propedeutico alla progettazione di consolidamento di un tratto della *strada provinciale SP n. 226*, a partire dalla progressiva Km 10+700, ove è manifesto un evidente stato di *collassamento* in fase di evoluzione.

Il comparto in studio presenta uno *sviluppo lineare* di circa 120 ml.

Al momento della stesura del presente lavoro risulta in atto un'evidente instabilità a carico del settore basale del versante, per cui pare opportuno intervenire in tempi ragionevolmente stretti mediante opere di rinforzo e stabilizzazione dei terreni, per impedire che l'evolversi del fenomeno possa comportare un progressivo deterioramento strutturale alle opere di contenimento.

L'azione di dissesto è da ricondurre, in gran parte, alla presenza di un esteso *paleoaccumulo*, non stabilizzato e in grado di riattivarsi qualora condizionato da fattori esterni quali;

- eventi alluvionali con saturazione dei terreni detritici,
- sovraccarico dinamico veicolare,
- interazione del torrente Scrivia al piede del pendio che, in fase di piena, inficia ripetutamente le forze resistenti del complesso detritico/terroso fino a riattivarne lo scorrimento,
- e quant'altro.

Pare anche opportuno sottolineare come in passato fossero già stati realizzati interventi di consolidamento lungo il settore basale che, tuttavia, hanno restituito solo in parte i risultati attesi.

Lo svolgimento del presente studio si è reso possibile analizzando le risultanze di una *campagna geognostica* svolta da *Ditta specializzata* tra marzo e aprile 2021, e successivamente messe a disposizione del sottoscritto.

L'indagine si è sviluppata attraverso *terebrazioni* e *indagini geofisiche* in sito con un parziale *monitoraggio delle defluenze idriche* nel sottosuolo.

Si deve specificare, tuttavia, che il presente lavoro non si pone come obiettivo di stabilizzare l'intera porzione basale del versante, per il quale si renderebbe necessario acquisire dati qualitativamente non riconducibili a quelli ad oggi a disposizione, ma unicamente è finalizzato al consolidamento della *strada SP 226*, oggi, in evidente stato di “ammaloramento” statico e di un suo circoscritto intorno a monte e a valle.

Per quanto riguarda gli aspetti normativi, il presente lavoro è stato svolto in osservanza al D.M. 17-01-2018 e relativa circolare applicativa del 21/01/2019.

Per concludere, si ricorda che il sito in voce non rimane sottoposto a *vincolo idrogeologico*.

2.0 – Modello geologico del sito

Il sito oggetto di intervento ricade sulla sponda sinistra del t. Scrivia, in prossimità della fascia basale del versante che discende, dal retrostante Monte Bano, fino al fondovalle (**AII. A – Carta Tecnica Regionale – Elemento 214054/Montoggio**, in scala 1/5000); la quota della strada rimane attorno a 450 m circa.

Morfologicamente il comparto evidenzia una decisa rottura di pendenza, intorno all'*isoipsa 500 m*, in contrasto con quella dei retrostanti versanti che circoscrivono, ad anfiteatro, il tratto di fondovalle.

Tale connotazione trova motivazione nella presenza di un ampio *paleoaccumulo detritico* interessato da cospicui spessori che - come messo in risalto dalle terebrazioni svolte sulla SP - possono raggiungere anche i 30.00 m.



Fig. 1 - La traccia gialla indica, in modo generico, il limite superiore dell'ampio paleoaccumolo; da notare il repentino cambio di pendenza dei versante circostanti. Il cerchio rosso, il tratto di strada da consolidare.

Nella sua complessità, mentre alle quote superiori appare uno stato di *equilibrio limite* per la presenza di *frane stabilizzate* o in *stato di quiescenza*, in prossimità della fascia pedemontana, ove maggiori sono le forze in gioco a carico del complesso detritico, è attivo un cinematismo rotazionale che, intersecando il piano topografico della strada provinciale, si materializza secondo *tension cracks* ad andamento sub parallelo.

In ragione delle dinamiche esposte, il fenomeno in atto si può ascrivere tra quelli di tipo *retrogressivo*, ossia capace di arretrare progressivamente verso monte, coinvolgendo porzioni di versante sempre più ampie fino ad attivare uno scorrimento di maggiori proporzioni.

A tale azione destabilizzante concorre significativamente lo scorrimento idrico dello Scrivia che, in occasione di eventi di piena con innalzamento e fuoriuscita idrica dall'alveo attivo, opera un'azione erosiva con asportazione di materiale andando ad inficiare le forze resistenti.

Per quanto riguarda le caratteristiche granulometriche il *paleo-accumulo*, che va aumentando di spessore da monte→valle, appare costituito da *coltri detritico-colluviali* con frammenti/spezzi lapidei da medi a grossolani, coesi da materiali fini limo-argillosi, percentualmente elevati.

Per la composizione del terreno il complesso detritico può accumulare ingenti quantitativi di acqua, fino alla saturazione, che ne vanno ad aumentarne il peso di volume.

Tuttavia, i *tempi di smaltimento* risultano sufficientemente ridotti, come constatato osservando la dispersione del liquido di perforazione, in tempi piuttosto limitati.

Vero è che le misurazioni eseguite entro i *tubi piezometrici* posti nei fori di sondaggio, in un periodo non interessato da eventi piovosi di rilievo, hanno evidenziato livelli idrici a profondità prossime a quelle dell'alveo attivo del t. Scrivia.

* * *

Per quanto riguarda gli aspetti litologici il comparto a tergo della strada provinciale delimitato dalla linea di crinale dei rilievi retrostanti è impostato nella formazione dei "Calcari marnosi di M. Antola".

Tuttavia, nell'area specifica, la stratigrafia è rappresentata da terreni del *Complesso di base* - meglio conosciuto col nome formazionale delle "Argilliti di Montoggio" - in affioramento lungo le sponde del t. Scrivia laddove non coperto dai propri depositi alluvionali.

Trattasi di scisti argillosi e argilliti fogliettate e fratturate, di colore grigio-scuro localmente rossastro o varicolori, sovente tettonizzati e colmati da matrice argillosa plastica nelle quale è possibile riconoscere la struttura relitta della roccia.

Nell'interpretazione della tettonica su ampia scala, la *formazione calcareo marnosa* appare diffusamente sovra-scorsa al di sopra del *Complesso di base argillitico* che ne diventa un'interfaccia di discontinuità, a ridotta resistenza meccanica.

Affioramenti argillitici possono individuarsi solo presso le due contrapposte sponde dello Scrivia o apprezzare il passaggio (tettonico) con i soprastanti calcari-marnosi.

Il punto di contatto con i calcari marnosi, verso monte, non risulta visibile.

In tale logica, la zona in esame costituisce, da un punto di vista geo-strutturale, una sorta di "finestra tettonica" scoperta dall'erosione del t. Scrivia.

3.0 – Modello geotecnico

Gli accertamenti geognostici si sono articolati attraverso;

1. *Indagine diretta*, rappresentata da n. 3 sondaggi meccanici a rotazione con prelievo continuo di carota;
2. *Indagine indiretta*, definita da una stesa sismica MASW, per la determinazione della velocità delle onde di taglio; a integrazione altre *dieci prospezioni sismiche HVSR*.

In fase di *terebrazione*:

1. si sono eseguite *prove in foro SPT (Standard Penetration Test)* con le quali individuare i *parametri geotecnici* dei vari orizzonti a substrato;
2. sono stati prelevati alcuni *spezzoni di carota* per le successive *analisi e prove* presso laboratorio (cfr. *Certificati di Laboratorio - Rapporto Indagini geognostiche* - m3d srl);
3. è stato valutato l'*assetto piezometrico* del sottosuolo attraverso il monitoraggio dell'acqua nei fori di sondaggi.

3.1 – Indagine diretta

L'*indagine diretta* è consistita nella perforazione di *n. 3 sondaggi meccanici a rotazione con prelievo continuo di carota* con diametro $\varnothing = 101 \text{ mm}$

I lavori sono stati affidati alla *Ditta specializzata m3d srl* che ha operato, mediante una *Sonda Idraulica Beretta T44*, nel periodo compreso tra *19 marzo ÷ 08 aprile 2021*

Le prime due perforazioni - indicate con *S1÷S2* – risultano allineate lungo il ciglio della strada provinciale interessata dalle *tension cracks*; S3 circa 10.00 m a valle dal soprastante allineamento (cfr. *Ubicazione delle terebrazioni – Rapporto Indagini geognostiche* - m3d srl).

Le *terebrazioni* hanno raggiunto le seguenti profondità:

- *S1 → 40.00 m dal p.c.*
- *S2 → 40.00 m dal p.c.*
- *S3 → 30.00 m dal p.c.*

Le perforazioni sono state approfondite fino ad intercettare il *substrato roccioso* caratterizzato da *discreta qualità meccanica*.

Di seguito le *foto* - circa il posizionamento dei *tre sondaggi* - estrapolate dal *Rapporto Indagini Geognostiche (M3D - Costruzioni speciali srl)*.



Foto 1 – Ubicazione S1



Foto 2 – Ubicazione S2



Foto 3 – Ubicazione S3

3.1.1 – Prove SPT in foro

Il numero e la qualità delle prove SPT è stato condizionato dalla composizione granulare grossolana del terreno che, più volte, ha impedito l'avanzamento della punta vanificando la corretta riuscita della prova (cfr. *Documentazione fotografica dei carotaggi – Rapporto Indagini geognostiche* - m3d srl).

Le profondità delle prove N_{spt} vanno da 10.50 m in S3, a 13.00 m in S1

In alcune prove è stato raggiunto il *Rifiuto strumentale* rendendole di fatto concluse.

Di seguito la Tabella con la sintesi delle prove effettuate.

Sondaggio 1	N_1	N_2	N_3	Tot.	Punta
1.50-1.95 m	12	14	15	29	Aperta
3.00-3.45 m				R	Aperta
4.50-4.62 m	16	19	11	30	Aperta
6.00-6.45 m	19	17	19	36	Aperta
11.30-11.75 m	15	18	18	36	Aperta
13.00-13.45 m	13	14	15	29	Aperta
Sondaggio 2					
1.50-1.95 m	22	20	27	47	Aperta
3.00-3.45 m	R			R	Aperta
4.50-4.95 m	R			R	Aperta
6.00-6.45 m	31	R		R	Aperta
9.00-9.45 m	19	21	24	45	Aperta
12.00-12.45 m	23	20	26	46	Aperta
Sondaggio 3					
1.50-1.95 m	30	R		R	Aperta
3.00-3.45 m				R	Aperta
4.50-4.95 m	21	18	16	34	Aperta
6.00-6.45 m	10	17	11	28	Aperta
7.50-7.95 m	23	27	30	57	Aperta
9.00-9.45 m	19	24	28	52	Aperta
10.50-10.95 m	20	R		R	Aperta

Tabella 1

3.1.2 – Analisi e prove in laboratorio

A completamento delle prove in sito sono stati prelevati alcuni *campioni semi-indisturbati* per le previste *analisi e prove* in laboratorio.

I *campioni* prelevati risultano tutti allo *stato semi-indisturbato*, a causa della granulometria grossolana dei terreni che ha impedito l'infissione della fustella necessaria a campionare quelli *indisturbati*.

Di seguito una tabella di sintesi, con i campioni prelevati e le prove eseguite.

Per tutti i dettagli quantitativi e qualitativi si rimanda ai *Certificati di Laboratorio – Rapporto Indagini geognostiche* - m3d srl.

<u>Campione S1</u>	<u>Prove eseguite</u>
- S1-C1 → 5.00-5.50 m	- Passante vaglio n. 200 (0.074 mm)
- S1-C2 → 8.00-8.50 m	- Passante vaglio n. 200 (0.074 mm)
- S1-C3 → 16.00-16.60 m	- Passante vaglio n. 200 (0.074 mm) - Prova di taglio diretta consolidata drenata
- S1-C4 → 26.00-26.50 m	- Passante vaglio n. 200 (0.074 mm) - Limiti di consistenza - Prova di taglio diretta consolidata drenata
- S1-C5 → 33.00-33.50 m	- Passante vaglio n. 200 - Limiti di consistenza
<u>Campione S2</u>	<u>Prove eseguite</u>
- S2-C1 → 11.00-11.50 m	- Passante vaglio n. 200 (0.074 mm)
- S2-C2 → 14.50-15.50 m	- Passante vaglio n. 200 (0.074 mm)
- S2-C3 → 20.00-20.50 m	- Passante vaglio n. 200 (0.074 mm)
- S1-C4 → 26.00-26.50 m	- Prova di taglio diretta consolidata drenata
<u>Campione S3</u>	<u>Prove eseguite</u>
- S3-C1 → 8.00-8.50 m	- Passante vaglio n. 200 (0.074 mm)
- S3-C2 → 19.00-19.50 m	- Limiti di consistenza - Passante vaglio n. 200 (0.074 mm) - Prova di taglio diretta consolidata drenata

Tabella 2

3.1.3 – Assetto piezometrico locale

L'*assetto piezometrico* del sottosuolo è stato esaminato mediante alcune letture eseguite con *freatimetro elettrico* all'interno dei *tubi piezometrici* installati nei fori di sondaggio S1÷S2÷S3, durante la sola fase delle perforazioni.

Le letture hanno evidenziato presenza idrica alle seguenti profondità:

- ✓ S1 → 21.80 m
- ✓ S2 → 29.90 m
- ✓ S3 → 19.00 m

I valori individuati si riferiscono ad un periodo con precipitazioni non abbondanti; infatti, i livelli piezometrici sono riconducibili all'incirca alla quota dell'alveo attivo del t. Scrivia.

A parere del sottoscritto sarebbe opportuno estendere il *monitoraggio* per un ulteriore periodo di tempo, allo scopo di accertare, in modo più attendibile, le eventuali oscillazioni del livello idrico nel sottosuolo.

4.0 – Stratigrafia dei carotaggi

Si analizzano ora le stratigrafie emerse in fase di terebrazione.

Per i dettagli si rimanda alle *stratigrafie* allegate nel “*Rapporto delle indagini geognostiche*” della *Ditta m3d srl*.

SONDAGGIO 1

(19 - 25 marzo 2021)

- **Piano campagna (p.c.) – 2.30 m** → *terreno di riporto, naturale rimaneggiato, mediamente addensato*, afferente le pregresse attività di realizzazione del sottofondo stradale. In superficie 0.15 m di asfalto;
- **2.30 m – 4.50 m** → *Ghiaie e ciottoli grossolani, poligenici, debolmente sabbiosi* che hanno arrestato l'avanzamento della prova N_{spt} andata sempre a rifiuto.
- **4.50 m – 28.00 m** → (paleoaccumulo) *Ghiaie sabbiose e limose* con disperse passate ciottolose poligeniche; *da moderatamente addensate* fino a *addensate*: presenza di *blocchi lapidei calcarei*, tra 6.50-8.00 m → 9.00-11.30 m → 21.00-23.00 m a denotare lo scorrimento per gravità dai retrostanti versanti con trasporto del materiale lapideo litologicamente differenti;
- **28.00 m – 33.50 m** → *Cappellaccio di alterazione del substrato roccioso argillitico* privo della struttura relitta dell'ammasso lapideo ed equiparabile da un punto di vista meccanico ad un terreno sciolto;
- **33.50 m – 40.00 m** → *Substrato roccioso argillitico molto fratturato e moderatamente alterato*, con discontinuità planari ravvicinate fino a risultare frantumato; si tenga presente che il *grado di frantumazione* può risentire delle manovre di campionamento da parte del carotiere.

Valore medio di $RQD = 30$ in miglioramento con la profondità.

SONDAGGIO 2

(31 marzo – 08 aprile 2021)

- **Piano campagna (p.c.) – 2.00 m** → *terreno di riporto, naturale rimaneggiato, addensato*, afferente le pregresse attività di realizzazione del sottofondo stradale. In superficie 0.15 m di asfalto;
- **2.00 m – 8.80 m** → *Ghiaie con ciottoli grossolani, poligenici, da sabbiosi a debolmente sabbiosi, localmente limosi*; prove N_{spt} andate sempre a rifiuto.
- **8.80 m – 25.00 m** → (paleoaccumulo) *Ghiaie con ciottoli grossolani, poligenici, da sabbiosi a debolmente sabbiosi; livello addensato* con prove N_{spt} prossime a 50 colpi;
presenza di *blocchi lapidei* tra 13.00-14.00 m a denotare lo scorrimento per gravità dai retrostanti versanti con trasporto del materiale lapideo;
- **25.00 m – 40.00 m** → *Substrato roccioso argillitico, moderatamente fratturato e poco alterato*, con discontinuità planari molto ravvicinate.
Valore medio di $RQD = 51$

SONDAGGIO 3

(26 – 31 marzo 2021)

- **Piano campagna (p.c.) – 0.80 m** → *terreno vegetale, con ghiaia limo-sabbiosa, medio fine*;
- **0.80 m – 19.60 m** → (paleoaccumulo) *Ghiaie con ciottoli grossolani, poligenici, da sabbiosi a debolmente sabbiosi, localmente limosi*; tre prove N_{spt} andate a rifiuto per presenza di clasti grossolani;
- **19.60 m – 24.40 m** → *Cappellaccio di alterazione del substrato roccioso argillitico* in cui è evidente la struttura relitta della roccia ed equiparabile per quanto concerne le risposte meccaniche ad un ammasso lapideo tenero;
- **24.40 m – 30.00 m** → *Substrato roccioso argillitico, moderatamente fratturato e poco alterato*, con discontinuità planari molto ravvicinate;
Valore medio di $RQD = 66$

5.0 – Unità Geotecniche di riferimento

In ragione degli accertamenti stratigrafici svolti, è ora possibile distinguere *quattro Unità Geotecniche* ossia *livelli di terreno* caratterizzati da analoghe *caratteristiche composizionali* e di *resistenza meccanica* cui fare riferimento in fase di progettazione geotecnica/strutturale.

A partire dal piano campagna si riconoscono le seguenti *Unità*:

La **prima “Unità R”** (*materiale rimaneggiato di riempimento stradale*) di potenza compresa tra 0.00 ÷ 4.50 m, rappresenta il sottofondo stradale vero e proprio costituito da ghiaia eterometrica mediamente addensata, passante al materiale di riempimento a tergo del muro di contenimento maggiormente ciottolosa e debolmente limosa; lieve aumento della densità con la profondità;

In ragione della composizione e dello spessore, i due orizzonti possono considerarsi equiparabili in questa unica *Unità Geotecnica (R)*.

La **seconda “Unità CDC”** è rappresentata dalle *coltri detriche-colluviali* mobilizzate e destrutturate, caratterizzanti il paleo-accumulo, costituite da ghiaia eterometrica sabbiosa e limosa, con locali passate ciottolose di granulometria eterometrica e dispersi alcuni trovanti calcareo-marnosi, di grosse dimensioni, provenienti dai retrostanti versanti e trasportati dallo scorrimento.

Lo spessore, come individuato dai carotaggi varia da 15.00 m (S3) a 23.50 m (S1).

La **terza “Unità CP”** rappresenta il livello alterato e fratturato del substrato roccioso, meglio noto come “*cappellaccio di alterazione*”, la cui struttura originaria non risulta sempre riconoscibile.

Da un punto di vista meccanico tale orizzonte presenta risposte equiparabili più a un *terreno sciolto* che ad un *ammasso lapideo*.

La presenza di interstrati limo-argillosi a varie profondità, possono generare potenziali superfici di scorrimento con conseguente graduale abbassamento del soprastante piano stradale.

In tale ottica, l'intervento potrà essere mirato alla “cucitura di tali strati fino al raggiungimento degli orizzonti maggiormente consistenti.

La **quarta “Unità AM”** rappresenta il substrato roccioso, ossia la struttura portante del versante rappresentata dalle argilliti di Montoggio.

Trattasi di un A.R. mediamente fratturato e alterato per la presenza di discontinuità a tratti molto ravvicinate.

Occorre, tuttavia, ribadire come la roccia in posto possa risultare di migliore qualità meccanica e meglio strutturata rispetto quella campionata, sia per il disturbo arrecato in fase di campionamento dalla rotazione del carotiere sia per i processi di decompressione una volta estratte le carote che - non più confinate - tendono a espandersi interessando i piani di minor resistenza (discontinuità planare).

Di seguito, una tabella riassuntiva con i distinti orizzonti in ciascun foro di sondaggio.

Sond	Unità R	Unità CDC	Unità CP	Unità AM
S1	0.00 - 2.30 m	2.30 - 28.00 m	28.00 m - 33.50 m	33.50 → fondo foro (40 m)
S2	0.00 - 2.00 m	2.00 - 25.00 m	**	25.00 → fondo foro (40 m)
S3	**	0.00 - 15.00 m	15.00 m - 19.70 m	19.70 → fondo foro (30 m)

Tabella 3

Le suddette **Unità** vengono visualizzate nella *Sezione litotecnica interpretativa* - dell'**Allegato B**.

5.1 – Parametri delle Unità Geotecniche

Per le Unità sopra descritte è quindi possibile estrapolare - attraverso *formule, grafici e abachi* - i *parametri* cui fare riferimento in fase di progettazione strutturale.

I risultati sono stati mediati, in via cautelativa, per difetto.

● 1° Unità Geotecnica R

Materiale di riempimento e naturale rimaneggiato

• Densità		→ addensato
• Peso di Volume	$\gamma_{nat.}$	= 19.50/2.00 Kn/m ³
• Angolo di attrito efficace	ϕ'	= 30°
• Coesione	c'	= 3.00 Kn/m ²
• Modulo Elasticità	E	= 40.00 MPa

● 2° Unità Geotecnica CDC

• Densità sciolta	→	mediamente addensato
• Peso di Volume	$\gamma_{nat.}$	= 20.00 KN/m ³
• Angolo di attrito efficace	ϕ'	= 28°
• Coesione	c'	= 5.00 Kn/m ²
• Modulo Elasticità	E	= 45.00 KPa

● 3° Unità Geotecnica CP

• Peso di Volume	γ	= 22/24.0 KN/m ³
• Angolo di attrito	ϕ	= 32°
• Coesione	c	= 10.0 Kn/m ²
• Modulo Elasticità	E	= 55 - 60 MPa

● 4° Unità Geotecnica AM

• Peso di Volume	γ	= 25/26.0 Kn/m ³
• Angolo di attrito	ϕ	= 35°
• Coesione	c	= 200.0 KN/m ²
• Modulo Elasticità	E	= 5.0/6.0 GPa

6.0 – Aspetti sismici del sito

6.1 – Stesa sismica MASW

Il documento integrale afferente l'*Indagine geofisica* - elaborata per conto della *Ditta M3D srl* - rimane allegata alla documentazione progettuale.

La caratterizzazione sismica dei terreni è consistita nell'esecuzione di un profilo sismico con la metodologia *MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)* per la *determinazione della stratigrafia sismica V_s e del parametro V_{Seq}*

Tuttavia, poiché dalla stratigrafia emerge che il bed-rock (*sismo-strato*) con $V_s > 800$ m/sec, non è stato intercettato nei primi 30 m allora $V_{Seq} \equiv V_{s30}$

6.2 – Indagine sismica passiva HVSR

La tecnica di acquisizione ed analisi dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o “metodo di Nakamura” o “metodo di H/V”), è basata sullo studio dei valori del rapporto di ampiezza tra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano orizzontale e verticale.

La misura della funzione H/V richiede l'acquisizione del rumore sismico ambientale in un punto per tempi dell'ordine di diverse decine di minuti. Questa durata ha lo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da più sorgenti poste in diverse direzioni nello spazio.

La misura va effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tri-direzionale caratterizzato da sufficiente sensibilità.

Gli effetti in sito sono determinati soprattutto dal contrasto di impedenza (prodotto densità-velocità) causato dal passaggio dell'onda sismica all'interfaccia roccia-terreno.

Inoltre, la risposta sismica locale varia anche in base a caratteri geometrici e meccanici del sottosuolo, quali;

- irregolarità morfologiche superficiali e profonde;
- eterogeneità verticali, orizzontali e laterali;
- comportamento non-lineare e dissipativo dei terreni.

La valutazione degli effetti del sito può essere stimata tramite la tecnica dei rapporti spettrali (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR) tra le componenti orizzontale e verticale dei *microtremori*, cioè oscillazioni continue di suolo di piccola ampiezza (1-10 μm) originate dalla sovrapposizione di effetti generati da sorgenti naturali e disturbi artificiali.

Le assunzioni principali della metodologia HVSR sono:

- i *microtremori*, composti da diversi tipi di onde che si propagano in strati superficiali di terreno sovrapposti ad un substrato rigido in roccia;
- le sorgenti del *microtremore* sono locali; quindi si trascura qualsiasi contributo dovuto a sorgenti profonde;
- le sorgenti superficiali non influiscono sulle caratteristiche del moto alla sommità del bedrock;
- la componente verticale del moto non risente degli effetti di amplificazione da parte dello strato superficiale;
- i rapporti tra le componenti orizzontali $H(f)$ e verticali $V(f)$ in superficie e alla base dello strato sedimentario dipendono solo dall'ampiezza del moto misurato in superficie e alla base del bedrock.

Nakamura (1989) ha verificato sperimentalmente che alla base dello strato superficiale, per tutte le frequenze, l'ampiezza della componente orizzontale H_s è all'ncirca la stessa di quella verticale, cioè pari a 1.

Perciò si determina che la stima del fattore di amplificazione di sito $R(f)$ è data dal rapporto spettrale:

$$R(f) = H_s(f)/V_b(f)$$

Questa tecnica è estremamente vantaggiosa, poiché consente la valutazione della risposta di sito senza uno spettro di riferimento come, invece, avviene con un'altra

tecnica (SSR: Standard Spectral Ratios) in cui si utilizza un rapporto su spettri calcolati, su una finestra temporale comune, tra il sito di riferimento su basamento roccioso e i siti su terreni sedimentari.

L'esito della prova HVSR è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto tra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alle quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura e dipende dalla velocità media V_s e dallo spessore h della coltre rispetto al substrato roccioso.

Infatti, le frequenze di picco a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla relazione: $f=V_s/4h$ (formula semplificata) dove V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato che risuona e h è lo spessore di detto strato.

Dal grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontale e verticale si evidenzia la frequenza (o più frequenze se si è in presenza di un profilo stratigrafico multistrato con più contrasti di impedenza significativi) attraverso un "picco" della curva (in genere dovuto ad un minimo della componente verticale), riscontrabile negli spettri delle singole componenti.

La frequenza fondamentale del sito è da intendersi quella più significativa a bassa frequenza. Eventuali altre frequenze evidenziate (picchi secondari) possono essere comunque significative.

In alcuni casi alcuni dei picchi evidenziati dal grafico H/V sono dovuti direttamente a sorgenti di rumore locale piuttosto che a risonanza dovuta alle discontinuità stratigrafiche; in tali casi questi picchi H/V vanno scartati.

* * *

Nello specifico, sono state eseguite *n. 10 prove tomografiche*: la loro ubicazione viene riportata nella sottostante figura tratta dalla *Relazione di sintesi delle indagini* di M3D srl.

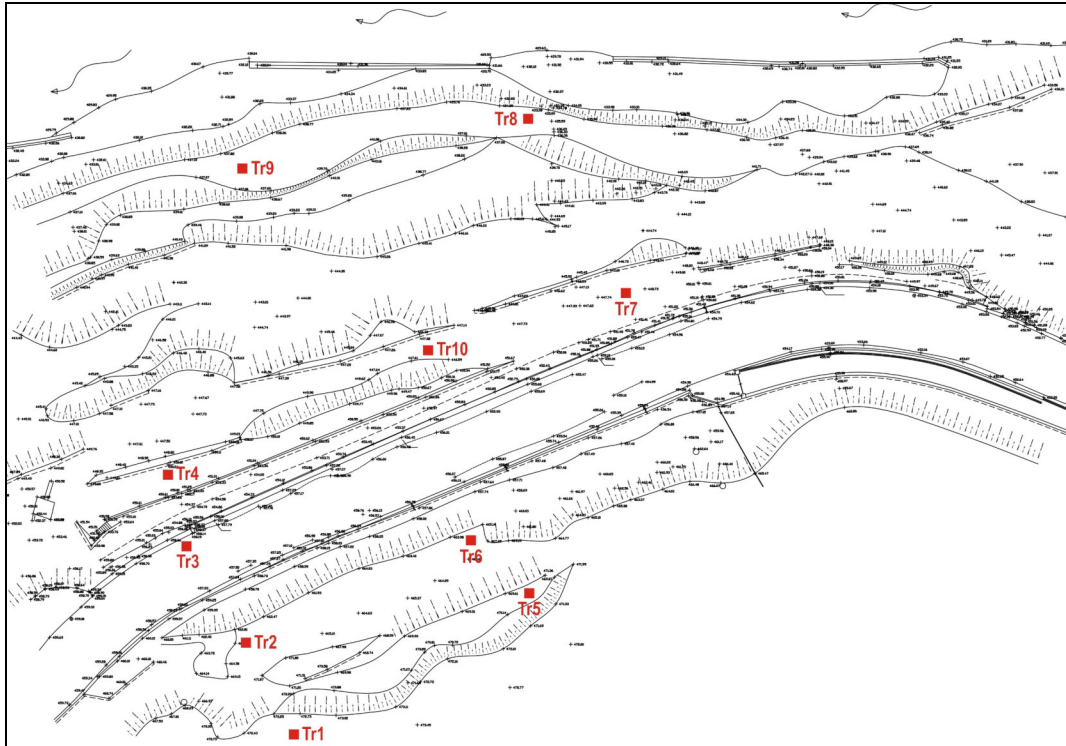


Figura 1 – Ubicazione delle prove HVSR

Come si nota, delle prove HVSR (in seguito chiamate TR) ne sono state realizzate *n. 4 a monte della strada, n. 6 a valle, n. 1 sulla strada.*

Prova tromografica	Vs (m/s)	Passaggio coltre/substrato roccioso
MONTE STRADA		
TR01	320	35.50 m
TR02	330	35.00 m
TR05	334	39.50 m
TR06	329	37.00 m
Media	328.25	
STRADA		
TR03	362	25.30 m
VALLE STRADA		
TR04	383	21.50 m
TR07	428	22.00 m
TR08	419	19.30 m
TR09	435	18.60 m
TR010	396	20.00 m
Media	412.2	

Tabella 4

I dati riportati nella soprastante *tabella* evincono, come era logico attendersi, un minor approfondimento del substrato da monte verso valle e conseguentemente una maggior velocità media delle Vs verso valle essendo, appunto, il *bed-rock* presente a minore profondità.

Stratigraficamente, quanto asserito, trova conferma rispetto quanto individuato attraverso le *terebrazioni* e in buona parte anche con le risultanze della MASW.

In ragione di tutte le risultanze sopra individuate, lungo l'intera colonna stratigrafica fino al *sismo-strato*, è possibile stimare un $V_{s,eq}$ inteso come velocità di propagazione fino al reperimento del substrato roccioso (o terreno molto rigido) con Vs non inferiore a 800 m/s è possibile classificare i terreni nella **Categoria C** dei terreni dei suoli di fondazione (NTC - D.M. 17/01/2018) e più precisamente:

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”

Per la *Categoria topografica* pare corretto assumere quella **T2**

Alla luce delle risultanze delle indagini svolte è quindi possibile, attraverso il Programma Geostru, individuare i sottostanti *parametri sismici* di seguito riportati.

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii NTC 2018

Muro rigido: 0

<u>Sito in esame:</u>		<u>Parametri sismici:</u>	
<i>Latitudine:</i>	44.514283 gradi	<i>Categoria suolo:</i>	C
<i>Longitudine:</i>	9.041114 gradi	<i>Categoria topografica:</i>	T2
<i>Classe d'uso:</i>	II	<i>Periodo di riferimento:</i>	50 anni
<i>Vita nominale:</i>	50 anni	<i>Coefficiente Cu:</i>	1

	Probabilità Superamento (%)	Tr (anni)	Ag (g)	Fo	Tc (s)
Operatività (SLO)	81	30	0.028	2.481	0.198
Danno (SLD)	63	50	0.035	2.530	0.214
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0.090	2.460	0.285
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0.119	2.460	0.285

Coefficienti sismici Opere di sostegno NTC 2018

	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv(-)	Amax (m/s ²)	Beta (-)
SLO	1.500	1.790	1.200	0.000	--	0.487	--
SLD	1.500	1.750	1.200	0.029	0.015	0.615	0.470
SLV	1.500	1.600	1.200	0.061	0.031	1.587	0.380
SLC	1.500	1.590	1.200	0.000	--	2.099	--

7.0 – Ricerca delle potenziali superfici di scorrimento

Analizzando il rapporto *forze di rottura/resistenti*, possono individuarsi le potenziali superfici di scivolamento a carico degli strati precedentemente individuati.

L'analisi viene sviluppata ipotizzando le *condizioni stratigrafiche* riportate nell'**All. B - Sez. Litotecnica** elaborata sulla *Sezione grafica – stato di progetto*.

Le elaborazioni sono state eseguite tramite il programma I.L.A. 8 (Interactive Landslides Analysis) elaborato dalla Geo&Soft di Torino; il programma è basato sul metodo dell'equilibrio limite proposto da S.K. Sarma (1974/75) e sviluppato da E. Hoek (1981/1983/1987).

Nella verifica, si è tenuto conto delle defluenze idriche presenti nelle *coltri detritiche*, ipotizzate ad un livello superiore rispetto quello individuato durante la fase della campagna geognostica.

In fase di verifica è stata applicata la componente sismica orizzontale $K_h = 0.061$ e quella verticale $K_v = 0.031$ - riportate nel paragrafo sugli aspetti sismici.

Con la seguente verifica vengono ricercate le potenziali superfici di scorrimento nella porzione di versante indagata con S1 e S3, con una congrua estensione a monte e a valle, che rappresenta il comparto interessato dalla SP sottoposta ai fenomeni di collassamento in atto.

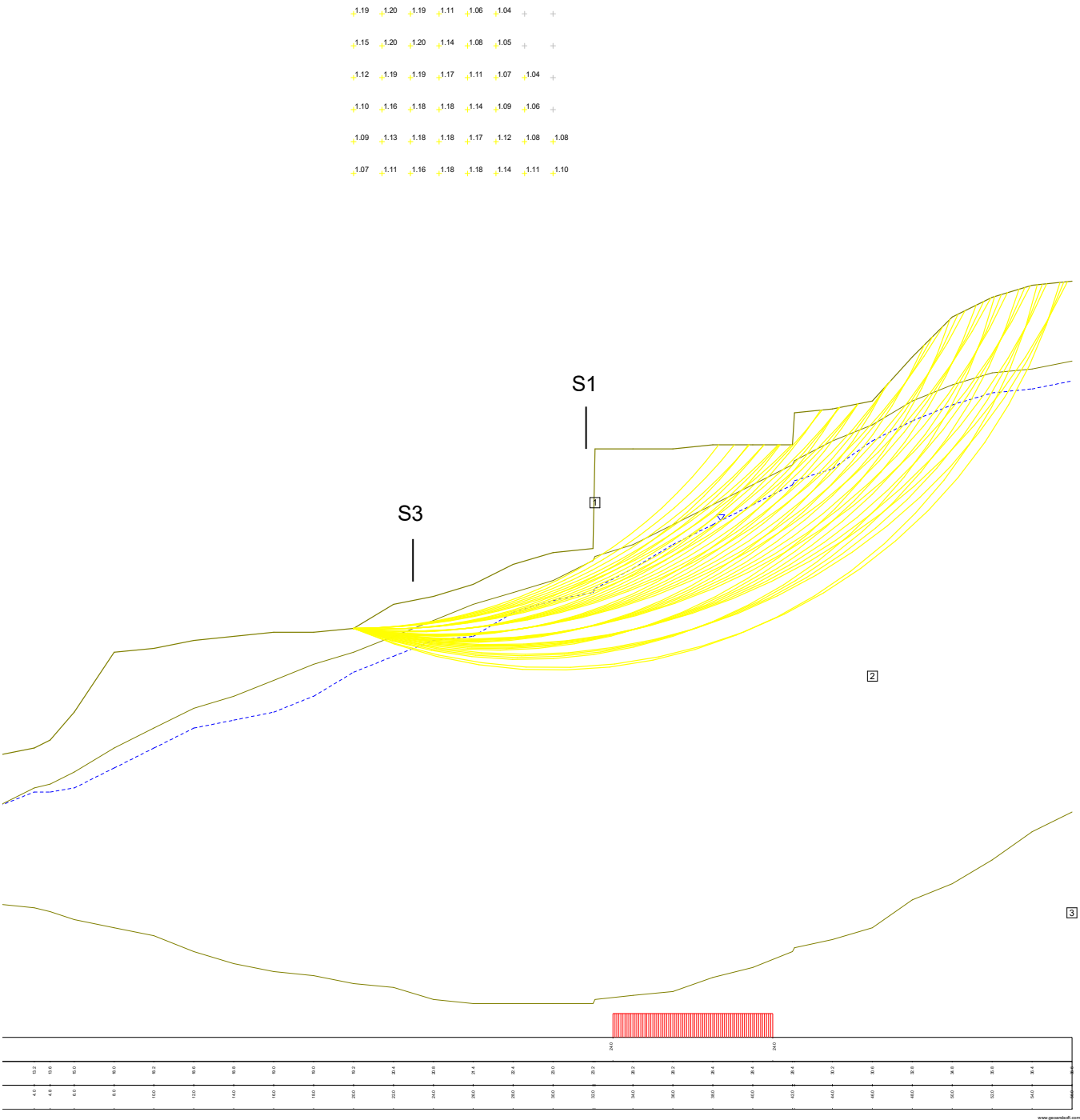
Con questa configurazione, i grafici evidenziano superfici di scorrimento che si approfondiscono all'interno delle coltri detritiche del paleoaccumulo, aventi coefficienti G_s prossimi all'equilibrio limite tra resistenza/rottura, come d'altronde era logico attendersi.

Le *opere di consolidamento* andranno approfondite fino a “cucire” le potenziali superfici di scorrimento individuate “immorsandosi” adeguatamente all'interno degli orizzonti più profondi dotati di migliori caratteristiche geotecniche.

Ferme restando le insindacabili disposizioni del *Progettista*, si ritiene che le fondazioni profonde dovranno essere spinte almeno entro l'orizzonte rappresentato dal *cappellaccio* del substrato roccioso.

Potenziali superfici di scorrimento
a vale dell'allineamento S1-S3
scala 1:100

Litotipo 1: phi [°] = 30 c [kN/m²] = 3 gamma [kN/m³] = 19.5
Litotipo 2: phi [°] = 28 c [kN/m²] = 5 gamma [kN/m³] = 20
Litotipo 3: phi [°] = 32 c [kN/m²] = 10 gamma [kN/m³] = 22
Gamma acqua [kN/m³] = 10 Comp. sismica orizz. = .061 Comp. sismica vert. = .031
Metodo: Sarma



Potenziuali superfici di scorrimento
a valle dell'allineamento S1-S3
con opere di forza attiva
scala 1:100

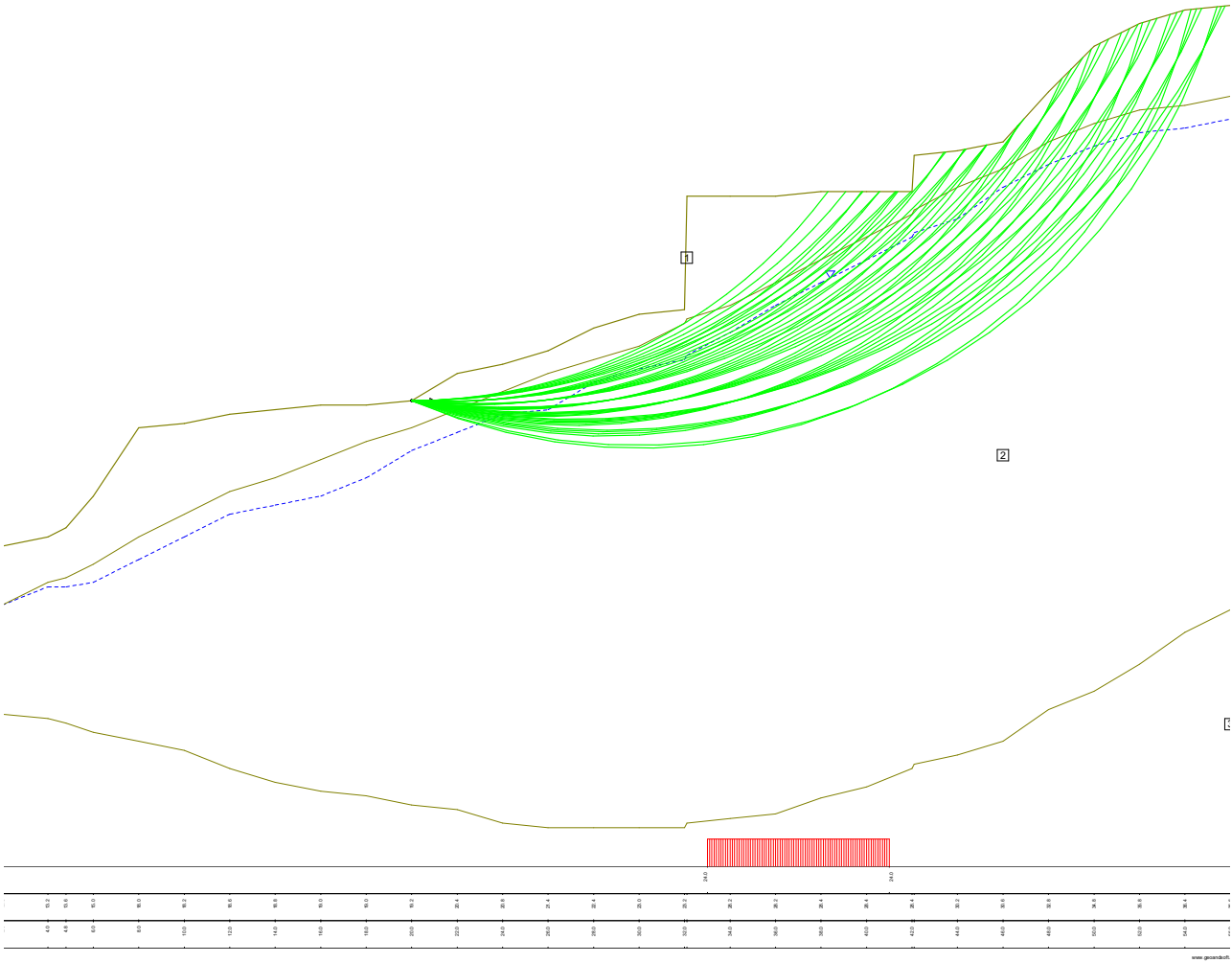
Litotipo 1: phi [°] = 30 c [kN/m²] = 3 gamma [kN/m³] = 19.5
Litotipo 2: phi [°] = 28 c [kN/m²] = 5 gamma [kN/m³] = 20
Litotipo 3: phi [°] = 32 c [kN/m²] = 10 gamma [kN/m³] = 22
Gamma acqua [kN/m³] = 10 Comp. sismica orizz.=.061 Comp. sismica vert.=.031

Metodo: Sarna

C (res. critica)= 280
P (precarico)= 0
R (res. residua)= 0

FS: fatt. sicurezza ottenibile
RN: resz. per avere FS= 1.3
RT: res. a rottura del terreno
X%: utilizzo resistenza critica
L=lineare; T=rottura terreno
P=precarico; R=residuo

40,130 40,130 63,130 132,130 200,130 266,130 + +
L 14° L 14° L 22° L 46° L 71° L 94°
51,130 42,130 50,130 101,130 176,130 247,130 + +
L 18° L 14° L 17° L 35° L 63° L 89°
60,130 44,130 52,130 74,130 145,130 217,130 279,130 +
L 21° L 15° L 18° L 26° L 51° L 77° L 98°
63,130 52,130 51,130 63,130 112,130 196,130 248,130 +
L 22° L 18° L 18° L 22° L 39° L 68° L 88°
62,130 51,130 52,130 63,130 86,130 158,130 214,130 261,130
L 22° L 21° L 18° L 22° L 30° L 58° L 79° L 93°
61,130 65,130 56,130 60,130 72,130 120,130 193,130 223,130
L 21° L 23° L 19° L 21° L 25° L 42° L 68° L 79°



Potenziamenti superficiali di scorrimento a valle dell'allineamento S1-S3 con opere di forza attiva

Metodo: Sarma

PIANO DI CAMPAGNA PARAMETRI GEOTECNICI

Angolo di attrito [°]	30.0
Coesione [kN/m²]	3.0
Peso di volume [kN/m³]	19.5

PUNTI

N. punto	Progressiva [m]	Quota [m]
1	2.0	12.8
2	4.0	13.2
3	4.8	13.6
4	6.0	15.0
5	8.0	18.0
6	10.0	18.2
7	12.0	18.6
8	14.0	18.8
9	16.0	19.0
10	18.0	19.0
11	20.0	19.2
12	22.0	20.4
13	24.0	20.8
14	26.0	21.4
15	28.0	22.4
16	30.0	23.0
17	32.0	23.2
18	32.1	28.2
19	34.0	28.2
20	36.0	28.2
21	38.0	28.4
22	40.0	28.4
23	42.0	28.4
24	42.1	30.0
25	44.0	30.2
26	46.0	30.6
27	48.0	32.8
28	50.0	34.8
29	52.0	35.8
30	54.0	36.4
31	56.0	36.6

SUPERFICIE FALDA

Peso di volume dell'acqua [kN/m³]	10
-----------------------------------	----

PUNTI

N. punto	Progressiva [m]	Quota [m]
1	2.0	10.2
2	4.0	11.0
3	4.8	11.0
4	6.0	11.2
5	8.0	12.2
6	10.0	13.2
7	12.0	14.2
8	14.0	14.6
9	16.0	15.0
10	18.0	15.8
11	20.0	17.0
12	22.0	17.8
13	24.0	18.6
14	26.0	18.8
15	28.0	20.0
16	30.0	20.6
17	32.0	21.0
18	32.1	21.2
19	34.0	22.2
20	36.0	23.4
21	38.0	24.4
22	40.0	25.4
23	42.0	26.4
24	42.1	26.6
25	44.0	27.2
26	46.0	28.6

27	48.0	29.6
28	50.0	30.4
29	52.0	31.0
30	54.0	31.2
31	56.0	31.6

DISCONTINUITA' n. 1
PARAMETRI GEOTECNICI

Angolo di attrito [°]	28
Coesione [kN/m ²]	5
Peso di volume [kN/m ³]	20

PUNTI

N. punto	Progressiva [m]	Quota [m]
1	2.0	10.2
2	4.0	11.2
3	4.8	11.4
4	6.0	12.0
5	8.0	13.2
6	10.0	14.2
7	12.0	15.2
8	14.0	15.8
9	16.0	16.6
10	18.0	17.4
11	20.0	18.0
12	22.0	18.8
13	24.0	19.6
14	26.0	20.4
15	28.0	21.0
16	30.0	21.6
17	32.0	22.6
18	32.1	22.8
19	34.0	23.4
20	36.0	24.4
21	38.0	25.4
22	40.0	26.4
23	42.0	27.4
24	42.1	27.6
25	44.0	28.6
26	46.0	29.4
27	48.0	30.6
28	50.0	31.4
29	52.0	32.0
30	54.0	32.2
31	56.0	32.6

DISCONTINUITA' n. 2
PARAMETRI GEOTECNICI

Angolo di attrito [°]	32
Coesione [kN/m ²]	10
Peso di volume [kN/m ³]	22

PUNTI

N. punto	Progressiva [m]	Quota [m]
1	2.0	5.4
2	4.0	5.2
3	4.8	5.0
4	6.0	4.6
5	8.0	4.2
6	10.0	3.8
7	12.0	3.0
8	14.0	2.4
9	16.0	2.0
10	18.0	1.8
11	20.0	1.4
12	22.0	1.2
13	24.0	0.6
14	26.0	0.4
15	28.0	0.4
16	30.0	0.4
17	32.0	0.4
18	32.1	0.6

19	34.0	0.8
20	36.0	1.0
21	38.0	1.7
22	40.0	2.2
23	42.0	3.0
24	42.1	3.2
25	44.0	3.6
26	46.0	4.2
27	48.0	5.6
28	50.0	6.4
29	52.0	7.6
30	54.0	9.0
31	56.0	10.0

CARATTERISTICHE DELL'OPERA DI SOSTEGNO

Progressiva dell'opera [m]	20
Pretensionamento [kN/m]	0
Carico di rottura [kN/m]	280
Inclinazione reazione [°]	0

COMPONENTI SISMICHE

Componente sismica orizzontale	0.061
Componente sismica verticale	0.031

SOVRACCARICHI VERTICALI APPLICATI

Progressiva [m]	Carico [kN/m²]
33	24
41	24

SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

TIPOLOGIA SUPERFICI: CIRCOLARI PASSANTI PER UN PUNTO

DESCRIZIONE MAGLIA DEI CENTRI

Altezza maglia [m]	8.0
Larghezza maglia [m]	10.0
N. centri base	8.0
N. centri lato	6.0
Inclinazione maglia [°]	0.0
Ascissa punto passaggio [m]	20.0
Ordinata punto passaggio [m]	19.2

RISULTATI DEL CALCOLO

N.	Asc.	Ord.	F.N.	R.A.	%	Cond.	FS
1	20.00	42.00	60.64	60.64	21.66	tratto lineare	1.30
2	21.43	42.00	64.95	64.95	23.20	tratto lineare	1.30
3	22.86	42.00	55.80	55.80	19.93	tratto lineare	1.30
4	24.29	42.00	59.27	59.27	21.17	tratto lineare	1.30
5	25.71	42.00	71.12	71.12	25.40	tratto lineare	1.30
6	27.14	42.00	119.30	119.30	42.61	tratto lineare	1.30
7	28.57	42.00	192.49	192.49	68.75	tratto lineare	1.30
8	30.00	42.00	222.79	222.79	79.57	tratto lineare	1.30
9	20.00	43.60	61.99	61.99	22.14	tratto lineare	1.30
10	21.43	43.60	60.40	60.40	21.57	tratto lineare	1.30
11	22.86	43.60	51.98	51.98	18.57	tratto lineare	1.30
12	24.29	43.60	62.23	62.23	22.22	tratto lineare	1.30
13	25.71	43.60	85.22	85.22	30.44	tratto lineare	1.30
14	27.14	43.60	158.21	158.21	56.50	tratto lineare	1.30
15	28.57	43.60	213.60	213.60	76.28	tratto lineare	1.30
16	30.00	43.60	260.94	260.94	93.19	tratto lineare	1.30
17	20.00	45.20	62.44	62.44	22.30	tratto lineare	1.30
18	21.43	45.20	51.15	51.15	18.27	tratto lineare	1.30
19	22.86	45.20	50.93	50.93	18.19	tratto lineare	1.30
20	24.29	45.20	62.35	62.35	22.27	tratto lineare	1.30
21	25.71	45.20	111.67	111.67	39.88	tratto lineare	1.30
22	27.14	45.20	195.81	195.81	69.93	tratto lineare	1.30
23	28.57	45.20	247.80	247.80	88.50	tratto lineare	1.30
25	20.00	46.80	59.29	59.29	21.17	tratto lineare	1.30
26	21.43	46.80	43.89	43.89	15.67	tratto lineare	1.30
27	22.86	46.80	51.03	51.03	18.23	tratto lineare	1.30
28	24.29	46.80	73.68	73.68	26.32	tratto lineare	1.30
29	25.71	46.80	145.04	145.04	51.80	tratto lineare	1.30

30	27.14	46.80	216.08	216.08	77.17	tratto lineare	1.30
31	28.57	46.80	278.30	278.30	99.39	tratto lineare	1.30
33	20.00	48.40	50.92	50.92	18.19	tratto lineare	1.30
34	21.43	48.40	41.30	41.30	14.75	tratto lineare	1.30
35	22.86	48.40	49.55	49.55	17.70	tratto lineare	1.30
36	24.29	48.40	100.26	100.26	35.81	tratto lineare	1.30
37	25.71	48.40	178.88	178.88	63.89	tratto lineare	1.30
38	27.14	48.40	246.49	246.49	88.03	tratto lineare	1.30
41	20.00	50.00	39.49	39.49	14.10	tratto lineare	1.30
42	21.43	50.00	39.79	39.79	14.21	tratto lineare	1.30
43	22.86	50.00	62.28	62.28	22.24	tratto lineare	1.30
44	24.29	50.00	131.35	131.35	46.91	tratto lineare	1.30
45	25.71	50.00	199.40	199.40	71.21	tratto lineare	1.30
46	27.14	50.00	265.63	265.63	94.87	tratto lineare	1.30

LEGENDA

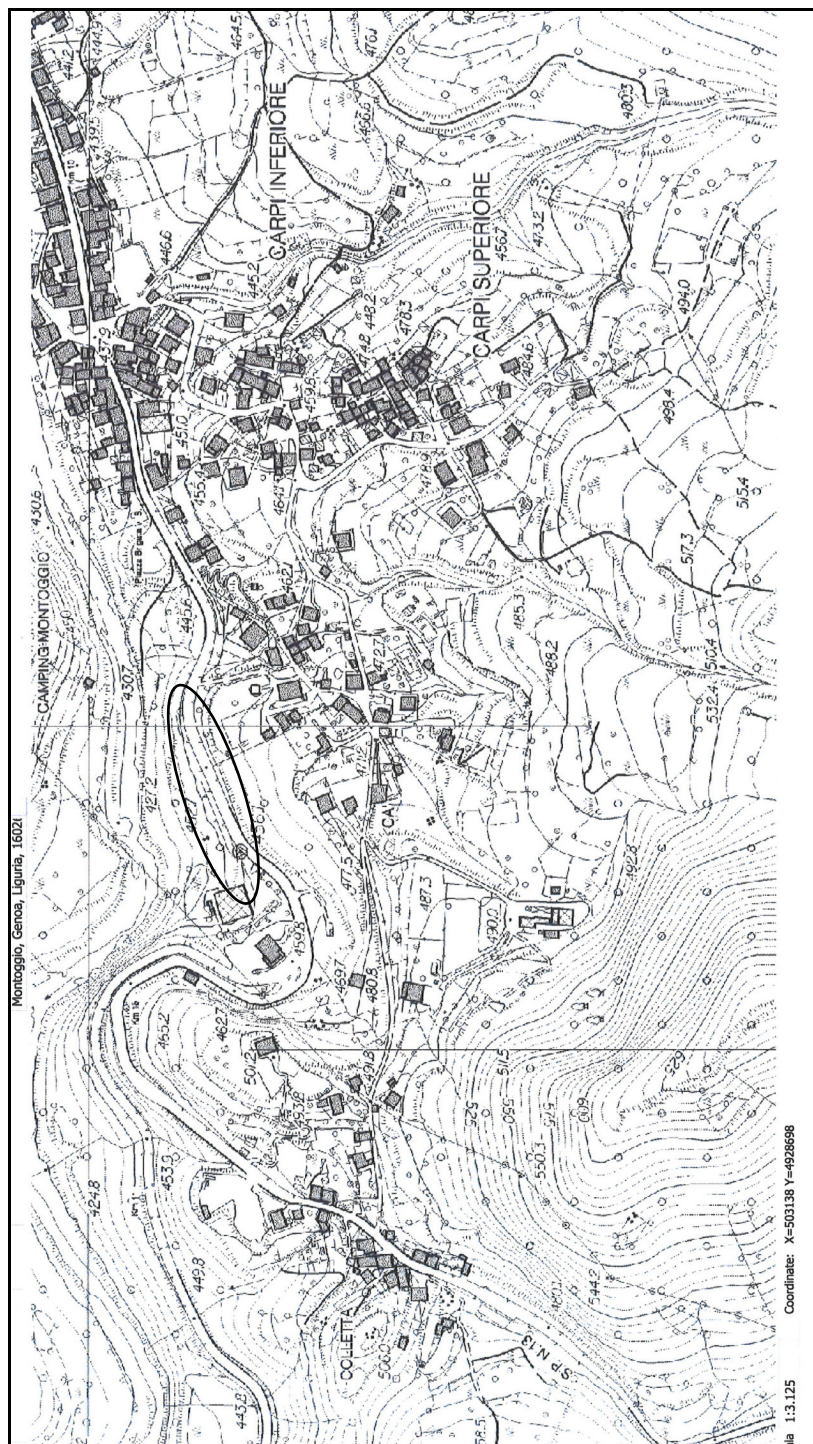
CODICE	DESCRIZIONE
N.	Numero superficie
Asc.	Ascissa del centro [m]
Ord.	Ordinata del centro [m]
F.N.	Forza necessaria alla stabilizzazione [kN/m]
R.A.	Reazione effettivamente applicata [kN/m]
%	Percentuale di utilizzo dell'opera [%]
Cond.	Condizioni di carico opera sostegno
FS	Fattore di sicurezza

Genova, 03 maggio 2021

Geol. Stefano Montaldo



ALL. A – Stralcio Carta Tecnica Regionale



Al. B – Sezione Litotecnica Interpretativa

