STUDIO
ANDREA GHILINO
GEOLOGO

COMUNE DI ORERO

CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

OGGETTO

**CAVE DI ARDESIA DENOMINATE "FILONE DURO"
SITE IN LOCALITÀ "SERREIE" E "CAUN"**

COMMITTENTE

Spett.le Ditta *"F.LLI DE MARTINI s.r.l."*

RELAZIONE GEOLOGICA

In ottemperanza al D.M. 14 gennaio 2008



Cicagna, 19 luglio 2017

dott. geol. Andrea Ghilino

Via Contrada, 15/C - Cicagna (GE)
Telefono 0185.92252 - Cellulare 347.1062253 - andrea.ghilino@yahoo.it

INDICE DEI CAPITOLI

1. *INTRODUZIONE*

2. *RIFERIMENTI NORMATIVI*

3. *MODELLO GEOTECNICO E GEOMECCANICO*

   3.1 INDAGINE GEOFISICA
   3.2 STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA
   3.3 MODELLO GEOMECCANICO

4. *SISMICITA' DELL'AREA*

5. *VERIFICHE DI STABILITA'*

   5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO
   5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI ARDESIACI
   5.3 PARAMETRI DI PROGETTO DEI MATERIALI
   5.4 STABILITÀ DELLA DISCARICA ALLO STATO ATTUALE E FINALE

6. *CONCLUSIONI*

TAVOLE GRAFICHE ALLEGATE

Tav. 1: COROGRAFIA DELL'AREA SCALA 1:5.000

Tav. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA SCALA 1: 5.000

Tav. 3: PLANIMETRIA TECNICA SCALA 1: 1.000

Tav. 4 e 4.1: SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE A-B e C-D SCALA 1: 1.000

Tav. 5: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

1. INTRODUZIONE

L'indagine geologica commissionata dalla Ditta "*F.lli De Martini s.r.l.*", tramite il Progettista *geom. Ugo Musante*, è stata intrapresa a corredo dell'autorizzazione relativa al proseguimento dell'attività estrattiva del complesso estrattivo denominato *"Filone Duro"*, sito in località "*Serreie*" e "*Caun*", nel *Comune di Orero* (Ge).

Saranno quindi discusse le caratterizzazioni geotecniche/geomeccaniche dei materiali coinvolti e le verifiche di stabilità dell'attuale discarica o struttura di deposito sia allo stato attuale che di sistemazione finale.

Obiettivo dello studio intrapreso è la realizzazione di un *modello geologico (s.l.) di riferimento* del sito, orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, geotecnico/geomeccanici e di pericolosità geologica e sismica del territorio.

Il presente lavoro ha dunque la finalità di fornire un parere di compatibilità geologica della struttura di deposito in oggetto soprattutto dal punto di vista della stabilità nonché di fornire elementi geologico-applicativi per il migliore inserimento ambientale.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

L'area entro la quale è ubicata la struttura di deposito in oggetto è individuabile nella *Carta Tecnica Regionale* scala *1:5.000*, elemento n°*214163 – Orero* (cfr. *Tavola 1*), il cui stralcio è riportato ed utilizzato per la redazione della carta geologico-geomorfologica (cfr. *Tavola 2*).

Questa porzione di territorio ricade pertanto entro la perimetrazione del *Piano di Stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico,* relativo al *Torrente Lavagna;* la consultazione delle cartografie allegate al Piano ha fatto emergere i seguenti aspetti salienti:

- *il sito ricade in classe speciale di tipo A: cave attive, miniere attive e discariche in esercizio (cfr. Carta della Suscettibilità al Dissesto e Carta del Rischio Geologico);*
- *la Carta della Franosità Reale non segnala entro l'area dinamicità quiescenti e attive;*
- *il corpo della struttura di deposito in oggetto non interferisce rivi identificati nella Carta del Reticolo Idrografico;*

- *l'area ricade in zona sottoposta a Vincolo Idrogeologico in ambito con destinazione d'uso alla coltivazione di cave in sotterraneo secondo le indicazioni del Piano Regionale delle Attività di Cava (cfr. Carta dei Principali Vincoli Territoriali).*

Il proseguimento dell'attività estrattiva in oggetto risulta quindi compatibile *sotto il profilo geologico ed idraulico con quanto dettato dal Piano di Bacino del Torrente Lavagna.*

L'area in esame, secondo la legislazione vigente in materia di difesa del suolo, ricade in zona vincolata ai sensi del *R.D. 3267/23* e della *L.R. 4/99*; come verrà specificato nel proseguo della narrativa, la presenza della struttura di deposito è compatibile con le norme che regolano il *Vincolo Idrogeologico*, in quanto la stessa non risulta essere lesiva dell'assetto idrogeologico dei luoghi.

Per quanto riguarda la consultazione della *Carta di Zonizzazione e Suscettività d'Uso del Territorio* allegata alle Norme Geologiche del *P.U.C.* (*Piano Urbanistico Comunale*) di *Orero (Ge)*, l'area entro la quale è presente la struttura di deposito in oggetto si inserisce in *Zona E* (area a suscettività d'uso fortemente condizionata o interdetta).

Esaurite le verifiche normative è stato programmato un sopralluogo per prendere atto dello stato del sito, nel corso del quale sono stati eseguiti i rilievi geologici (s.l.) e le indagini necessari alla redazione del presente elaborato.

3. MODELLO GEOTECNICO E GEOMECCANICO

3.1 INDAGINE GEOFISICA

Il report seguente presenta i risultati delle indagini geofisiche (sismo-stratigrafiche) condotte per la determinazione della categoria di sottosuolo e della stratigrafia per la struttura di deposito in oggetto, ai sensi delle *Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC08* (*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2008*).

Al fine della determinazione della classe di sito e della stratigrafia è stata condotta un'indagine geofisica consistente in quattro misure di rumore ambientale (microtremore), poi elaborate mediante la tecnica *Nakamura* (*Nakamura, 1989*).

Le misure sono state effettuate al fine di determinare la frequenza fondamentale (*f0*) dei siti di studio e per ottenere una stima della velocità di propagazione delle onde di taglio negli strati di terreno (*VS*). Il calcolo del profilo di *VS* è stato realizzato mediante un processo noto come "inversione numerica" o, più precisamente, mediante l'applicazione di un metodo numerico di tipo diretto (*forward modeling*).

L'ubicazione delle misure effettuate (indicate come *S1, S2, S3* ed *S4*) è mostrata nell'allegata *Tavola 3*. Nei paragrafi seguenti sono presentate le metodologie impiegate ed i risultati ottenuti.

L'indagine *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) o metodo di *Nakamura* è un'indagine sismica passiva, sul terreno si rilevano i dati di velocità delle onde sismiche acquisiti da una terna geofonica orientata nelle tre direzioni che vengono poi elaborate e interpretate tramite software per l'ottenimento di alcuni parametri specifici; tramite questa indagine è possibile effettuare delle stime per l'individuazione dei seguenti parametri:

- *Classificazione del terreno di fondazione in base alle attuali NTC (parametro Vs30).*
- *Frequenza propria di risonanza del sito.*
- *Ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.*

All'interno dell'area di studio è stato condotto dal sottoscritto il rilievo dei microtremori con il tromografo modello *Gemini 2Hz* della ditta *PASI S.r.l.* di *Torino*, per verificare le caratteristiche sismiche e stratigrafiche del terreno. Lo strumento utilizzato registra il rumore sismico ambientale presente nella superficie terrestre generato da fenomeni atmosferici, dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre.

I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole (accelerazioni dell'ordine di 10^{-15} m/s^2), che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione ed altri.

Questi fenomeni sono tali per cui un'onda che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza). La frequenza di risonanza è legata allo spessore (h) ed alla velocità delle onde di taglio *Vs* del primo strato (*Vs1*) dalla seguente relazione:

$$f_0 = Vs/4H$$

La frequenza di risonanza corrisponde al primo picco di amplificazione individuabile sulla curva *H/V* e, nel caso di terreno a comportamento lineare, può essere messa in relazione allo spessore dei sedimenti, *h*, e alla velocità media di propagazione delle onde di taglio, *VS*, nei sedimenti stessi. Utilizzando la formula sopra esposta è possibile risalire alla velocità delle onde *S* del terreno. Una volta ricavato il valore di *Vs*, è possibile ricostruire la stratigrafia dell'area e l'andamento delle discontinuità, se presenti.

L’indagine *HVSR* permette l’individuazione delle frequenze di risonanza caratteristiche del sito, oltre alla ricostruzione dell’andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo; durante la procedura di elaborazione è stato possibile verificare che sono stati rispettati i “*CRITERI SESAME*”.

I segnali acquisiti, come visualizzabile nei grafici frequenze su rapporto *H/V*, sono qualitativamente accettabili e permettono la chiara visualizzazione dei picchi caratteristici. L’analisi globale di questa tipologia d’indagine permette quindi di avvalorare la ripetitività a breve distanza, con una debole variazione dei picchi, corrispondente al variare del passaggio del sismostrato in ogni posizione indagata.

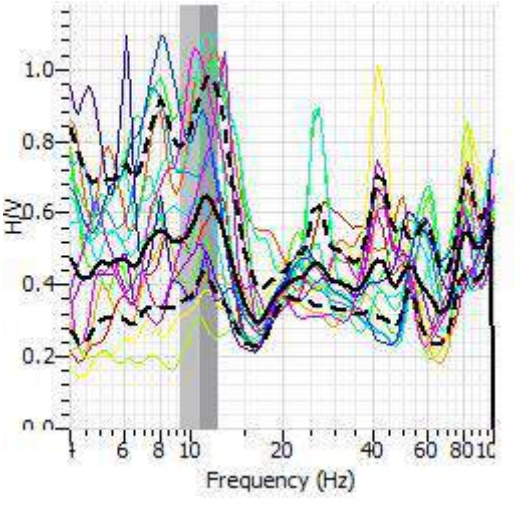


Figura 1: Curva H/V per il sito S1.

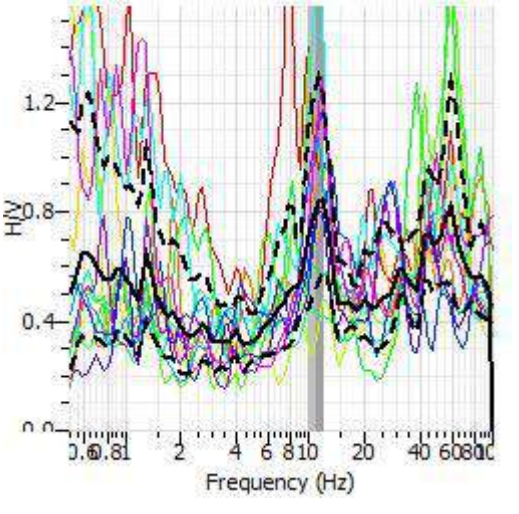


Figura 2: Curva H/V per il sito S2.

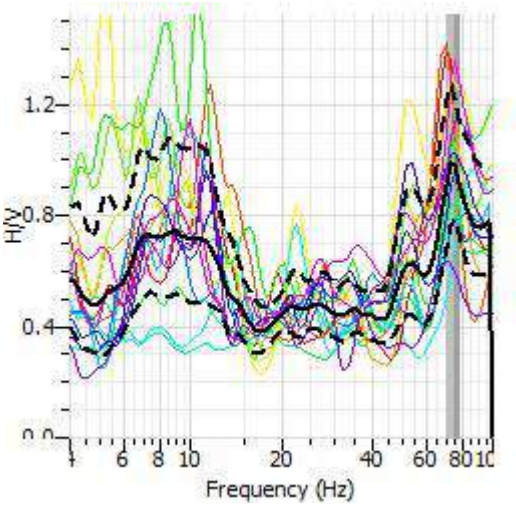


Figura 3: Curva H/V per il sito S3.

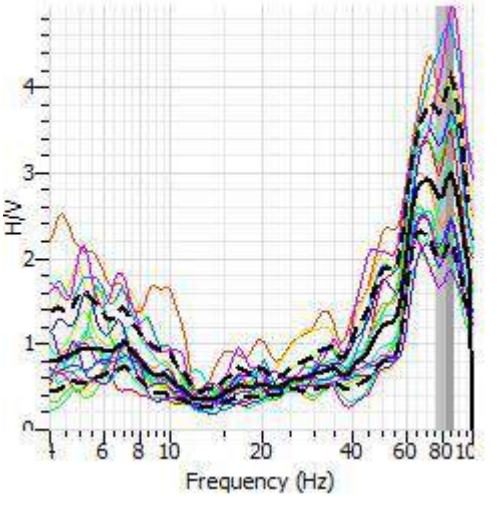


Figura 4: Curva H/V per il sito S4.

Il dato acquisito è stato utilizzato per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio *VS* necessario per la valutazione della velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30m di profondità (*VS, 30*).

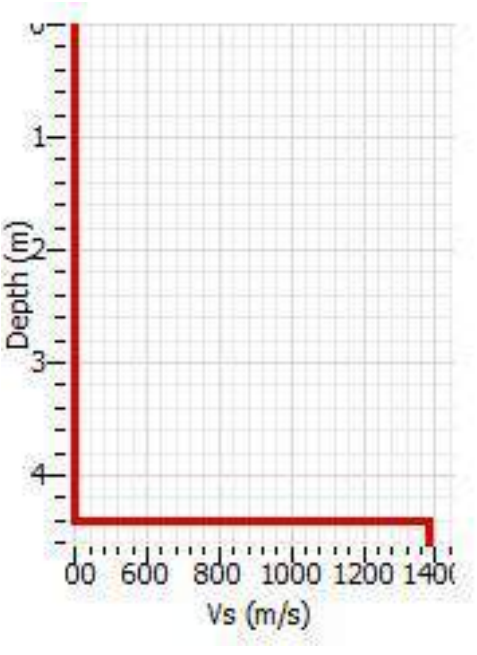


Figura 5: Profilo di velocità (VS) per il sito S1.

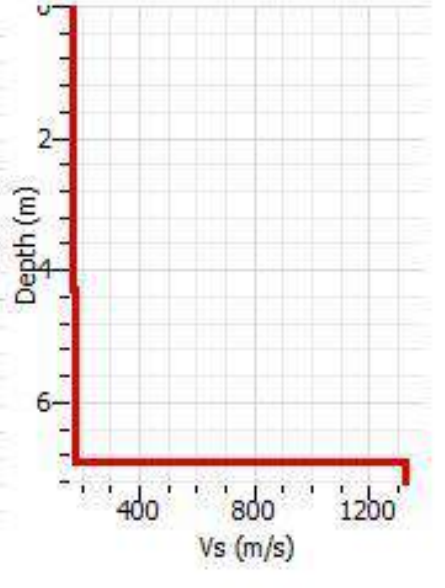


Figura 6: Profilo di velocità (VS) per il sito S2.

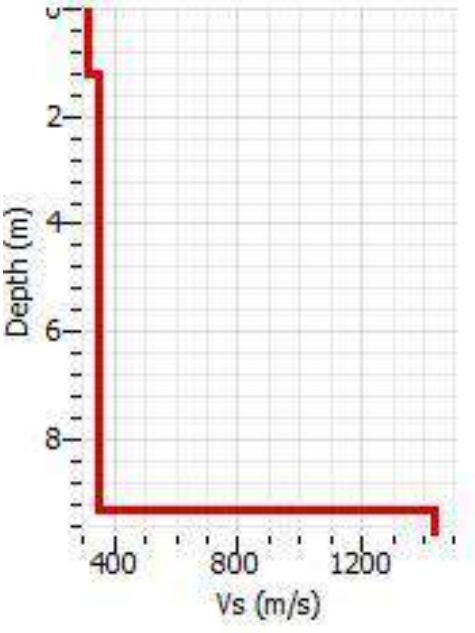


Figura 7: Profilo di velocità (VS) per il sito S3.

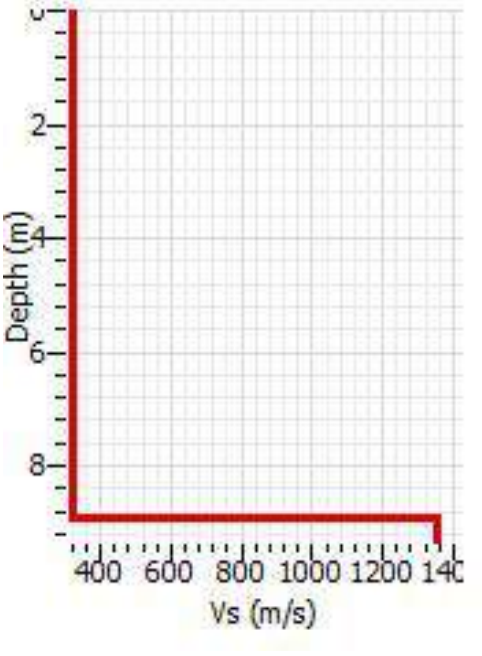


Figura 8: Profilo di velocità (VS) per il sito S4.

Tabella 1: Valori numerici del profilo di VS per il sito S1.

Profondità (m)	***V*S (m/s)**
0.0	395
4.4	1380

Tabella 2: Valori numerici del profilo di VS per il sito S2.

Profondità (m)	***V*S (m/s)**
0.0	210
6.9	1320

Tabella 3: Valori numerici del profilo di VS per il sito S3.

Profondità (m)	***V*S (m/s)**
0.0	345
9.3	1435

Tabella 4: Valori numerici del profilo di VS per il sito S4.

Profondità (m)	***V*S (m/s)**
0.0	320
8.9	1360

Dai profili di velocità in Figure 5, 6, 7 e 8 e dalle Tabelle 1, 2, 3 e 4 è evidente il netto incremento della velocità delle onde sismiche a partire da una profondità variabili da circa 4.4m fino a 9.3m, profondità alle quali corrisponde l'interfaccia tra la coltre detritica ardesiaca/coltre naturale ed il sottostante substrato roccioso.

Determinazione della classe di sottosuolo

Le *NTC08* prevedono che la classe di sottosuolo sia determinata nota la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30m di profondità (*VS, 30*):

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove *hi* e *VS,*i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato di terreno compreso nei primi 30m di profondità a partire dal piano di fondazione.

Nel caso in questione, in base a quanto ottenuto dalle indagini geofisiche, considerato che lo spessore dei terreni non risulta superiore a 20m, si afferma che i siti *S1*, *S2*, *S3* ed *S4* sono compatibili con quanto previsto dalle *NTC08* per la categoria di suolo ***E***.

La normativa *(D.M. 14 gennaio 2008)*, inoltre, tiene conto anche degli *"effetti di sito"* indotti dal profilo stratigrafico e della morfologia dell'area di progetto. In relazione alle caratteristiche litotecniche e stratigrafiche dei terreni sopra menzionate, è stata quindi valutata la zonazione di massima in prospettiva sismica.

Per quanto attiene all'amplificazione determinata dalle condizioni morfologiche del sito, essendo ubicata la struttura di deposito nella porzione medio-sommitale di un versante a medio-elevata acclività, si ritiene necessario considerare l'effetto d'amplificazione topografica dell'onda sismica: viene assegnato pertanto un coefficiente di amplificazione topografica $T_2 = 1.20$.

ooOoo

L'ubicazione delle misure effettuate (indicate come *S1, S2, S3* ed *S4*) è mostrata nell'allegata *Tavola 3*. Nei paragrafi seguenti sono presentate le metodologie impiegate ed i risultati ottenuti.

Onde rappresentare le risultanze del presente studio, sono stati riportati i risultati delle indagini geofisiche realizzate nelle due sezioni geologiche rappresentative della struttura di deposito, riportate nelle allegate *Tavole 4* e *4.1.*

Nelle sezioni viene inserita l'ubicazione delle indagini geofisiche realizzate: le sezioni permettono di confermare lo spessore dei detriti ardesiaci.

3.2 STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

Per quanto riguarda la *Ricostruzione Stratigrafica* del comparto, sulla base delle e osservazioni e dei rilievi geologici di superficie compiuti in situ, possono essere distinti i seguenti orizzonti di interesse:

Orizzonte A – orizzonte superficiale "vegetale" o terreno agricolo, costituito da argilla-limosa ed alto contenuto di sostanza organica e vegetale con radici abbondanti; presenta struttura granulare fine ed è molto friabile con molti micropori; la sua colorazione è bruna-grigio scura; lo spessore di questo sottile orizzonte non supera i 30-40cm da p.c.; la resistenza dinamica risulta molto bassa;

Orizzonte B – orizzonte eluvio-colluviale, costituito sostanzialmente da breccia in matrice argillosa a resistenza dinamica variabile in relazione alla presenza di un alto contenuto in pietre di dimensioni medie 2-6cm aventi forma subangolare, la struttura è di tipo poliedrica subangolare. La colorazione di tale orizzonte è marroncina;

Orizzonte C – zona di alterazione superficiale del substrato roccioso ("cappellaccio"), orizzonte litologico individuabile al tetto del substrato avente spessore variabile da 0.5 a 1m, configurabile come un *"cappellaccio"* di alterazione del substrato roccioso. E' caratterizzato da bancate arenacee alternate a pacchi argilloscistosi fratturati e talvolta disarticolati da fenditure riempite da materiali residuali. L'assenza di continuità laterale del cappellaccio roccioso più provocare pericoli nel corso di eventuali scavi per scoscendimento di "sacche detritiche" geotecnicamente scadenti, ma lo stesso fenomeno può anche coinvolgere grossi blocchi disarticolati e quindi non più ancorati alla roccia sana;

Orizzonte D - substrato roccioso "sano", con questo termine si intende l'ammasso roccioso sottostante il cappellaccio nel quale il reticolo delle discontinuità tende a chiudersi verso il basso fino a giungere a condizioni di sostanziale integrità. In questo orizzonte si rilevano generalmente "condizioni geomeccaniche di picco", destinate tuttavia a trasformarsi in "condizioni residue" in concomitanza di giaciture sfavorevoli.

Per quanto attiene la distribuzione stratigrafica dei vari orizzonti individuati, si rimanda alle sezioni geologiche interpretative realizzate (cfr. *Tavola 4* e *4.1*).

Sotto il profilo geotecnico, per gli orizzonti sciolti attraversati durante numerose prove penetrometriche medio-leggere, realizzate dal sottoscritto nel corso di precedenti studi geologici in terreni similari e limitrofi al sito, è possibile proporre i seguenti parametri geotecnici *medi*:

Orizzonte A e B

- *peso dell'unità di volume "secco":* γ *= 1.51 t/mc*
- *peso dell'unità di volume "saturo":* γ *= 1.92 t/mc*
- *coesione: c = 0.05 Kg/cmq*
- *angolo di attrito:* φ'_{Medio} *= 30°*

3.3 MODELLO GEOMECCANICO

Dal punto di vista *geomeccanico* l'ammasso roccioso è stato classificato con il metodo proposto da *Bieniawski*: questa classificazione si basa sul rilievo di cinque parametri che determinano un valore base dell'indice *RMR* (*Rock Mass Rating*).

Il rilievo e l'analisi dei principali parametri da inserire nella classificazione sono stati effettuati nei principali affioramenti rocciosi reperiti (cfr. *Tavola 5*) ove la messa a "nudo" dell'ammasso roccioso, in tali affioramenti, risulta sufficientemente estesa e rappresentativa per ricavare i dati necessari che vengono elencati di seguito:

❖ R1: resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta

La resistenza a compressione uniassiale della roccia è stata valutata basandosi su alcune serie di prove condotte con lo sclerometro per cls. i cui indici di rimbalzo sono stati poi opportunamente correlati a quelli del martello di Schmidt secondo la relazione (*Bagalà*,1998): $R_N = 22{,}1 + 0{,}7\ R_L$
con:
R_N = lettura del rimbalzo allo sclerometro per calcestruzzi
R_L = lettura del rimbalzo al martello di Schmidt

I risultati così ottenuti hanno permesso di ricavare: σ_c = 100-200 MPa

INDICE R1 = 12

❖ *R2: indice RQD*

E' stato valutato indirettamente attraverso la relazione *Priest-Udson* nella forma:

$RQD = 100 \times e^{-0{,}1n} \times (0{,}1\ n + 1) = 96\%$ *N = numero di fratture a metro = 3*

INDICE R2 = 20

❖ *R3: Spaziatura dei giunti*

Valutata sulla base dell'osservazione diretta dell'ammasso roccioso e delle sue caratteristiche strutturali: *s = 0.3cm-1m*

INDICE R3 = 20

❖ R4: Condizione di giunti

Superfici rugose mediamente alterate con persistenza media da 1 a 3m;
pareti di roccia dura.

INDICE R4 = 15

❖ R5: Condizione idrauliche

Umidità

INDICE R5 = 7

Dalla somma algebrica dei coefficienti numerici dei primi cinque parametri si ottiene:

RMRbase = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 = 74 *(II classe – ammasso roccioso buono)*

Una volta noto il valore *RMR* è possibile effettuare verifiche sulla resistenza geomeccanica dell'ammasso; può essere dunque proposta la seguente parametrizzazione geomeccanica *media*:

Orizzonte C – ammasso roccioso

- *peso dell'unità di volume:* γ *= 2.3 t/mc*
- *coesione: c = 2.0 Kg/cmq*
- *angolo di attrito:* φ *= 42°*

Orizzonte D - basamento roccioso "sano" (materiale roccia)

- *peso dell'unità di volume: γ = 2.8 t/mc*
- *coesione: c = 3.0 Kg/cmq*
- *angolo di attrito: φ = 45°*

4. SISMICITA' DELL'AREA

Dal punto di vista sismico, ai sensi dell'*Ordinanza* della *Presidenza* del *Consiglio* dei *Ministri n°3519/2006*, ed alla *D.G.R. n°216 del 17/03/2017*, il territorio comunale di *Orero (Ge) è stato classificato sismico ed inserito in zona **3** (p.g.a. = 0.150g)* e contrassegnato con il *Numero Identificativo 60 nella mappa sismica*.

La normativa definisce l'accelerazione sismica orizzontale (*ag*) relativamente alle diverse zone simiche: tale valore è attribuito a formazioni litoidi con velocità media di propagazione nei primi 30m di profondità delle onde sismiche di taglio (*Vs30*) maggiore di 800 m/s.

In particolare in *Zona 3* il valore dell'accelerazione sismica orizzontale è pari a *ag = 0.150g*, tale valore rappresenta l'accelerazione massima orizzontale attesa nel caso in cui le strutture in progetto siano fondate su substrato roccioso di buone caratteristiche geomeccaniche o in prossimità dello stesso ed in condizioni geomorfologiche favorevoli.

Come anticipato, sulla base dello studio sismico effettuato e, considerato che lo spessore dei terreni non risulta superiore a 20m, si afferma che i siti *S1*, *S2*, *S3* ed *S4* sono compatibili con quanto previsto dalle *NTC08* per la categoria di suolo ***E*** mentre il sito ove è presente muro di sostegno di valle della struttura di deposito, poiché si presume che lo stesso sia fondato direttamente su roccia, è compatibile con quanto previsto dalle *NTC08* per la categoria di suolo ***A***. Le verifiche di stabilità dovranno essere realizzate considerando la categoria di suolo ***E***, situazione più sfavorevole.

La normativa *(D.M. 14 gennaio 2008)*, inoltre, tiene conto anche degli *"effetti di sito"* indotti dal profilo stratigrafico e della morfologia dell'area di progetto. In relazione alle caratteristiche litotecniche e stratigrafiche dei terreni sopra menzionate, è stata quindi valutata la zonazione di massima in prospettiva sismica.

Per quanto attiene all'amplificazione determinata dalle condizioni morfologiche e topografiche del sito, essendo la struttura di deposito localizzata nelle porzioni medio-sommitale di un versante caratterizzato da medio-elevata acclività, si ritiene opportuno considerare l'effetto d'amplificazione topografica dell'onda sismica, pertanto viene assegnato un coefficiente di amplificazione topografica T_2*=1.20.*

Sulla base delle disposizioni previste dalle *"Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14/01/2008),* le tabelle seguenti riepilogano le considerazioni sismiche sulla struttura di deposito in oggetto, le caratteristiche sismiche del sito, l'analisi dei parametri e dei coefficienti sismici, calcolati con il programma *"GEOSTRU PS"*:

COORDINATE GEOGRAFICHE DELLA LOCALITA' IN ESAME				
Longitudine:			9,277399	
Latitudine:			44,418617	
COORDINATE GEOGRAFICHE DEI 4 PUNTI DEL RETICOLO (SITI DI RIFERIMENTO)				
	ID	LON	LAT	DIST m
Sito 1	16700	9,2180	44,4581	6441,021
Sito 2	16701	9,2879	44,4605	4735,155
Sito 3	16922	9,2215	44,4081	4591,989
Sito 4	16923	9,2914	44,4106	1422,704

VITA DELLA STRUTTURA	
Vita nominale delle opere:	$V_N \geq 50$ anni
Classe d'uso:	I (presenza occasionale di persone)
Coefficiente d'uso:	$C_U = 0.7$
Periodo di riferimento per le azioni sismiche strutturali:	$V_R = V_N \times C_U = 35$
CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO	
Topografia:	T2
Coefficiente Topografico:	$S_T = 1.20$
Categoria Suolo:	E

	PARAMETRI SISMICI						COEFFICIENTI SISMICI			
	SL	**P_{vr}**	**T_r**	**a_g**	**F_o**	**T_c***	**Kh**	**Kv**	**Amax**	**Beta**
sle	*Operatività (SLO)*	81%	30	0,033g	2.499	0.205	0.013	0.006	0.620	0.200
sle	*Danno (SLD)*	63%	35	0.035g	2.509	0.211	0.013	0.007	0.661	0.200
slu	*Salv.Vita (SLV)*	10%	332	0.086g	2.517	0.279	0.033	0.017	1.625	0.200
slu	*Collasso (SLC)*	5%	682	0.113g	2.492	0.287	0.052	0.026	2.133	0.240

SL = Stato Limite Considerato (sle = stato limite di esercizio; slu = stato limite ultimo); **P_{vr}** = Probabilità di superamento dello Stato Limite Considerato**; T_r** = Tempo di Ritorno (anni); **a_g** = Accelerazione massima al sito; **F_o** = Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; **T_c*=** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (sec); **Kh** = coefficiente sismico orizzontale; **Kh** = coefficiente sismico verticale; **Amax =** accelerazione massima attesa al sito.

5. VERIFICHE DI STABILITÀ

La stabilità della discarica di materiale ardesiaco è stata valutata in relazione alle condizioni attuali della stessa; sono state dunque condotte verifiche sulle sezioni geologiche interpretative *A-A* e *B-B* (cfr. *Tavola 4* e *4.1*).

5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche sono state eseguite con il cosiddetto metodo *"dell'equilibrio limite"*, che consiste nell'individuare diverse possibili superfici di scivolamento coinvolgenti uno o più materiali e nell'analizzare, per ciascuna di esse, l'equilibrio allo scivolamento del cuneo di materiali soprastanti, considerato come se fosse rigido.

I vari metodi di calcolo dell'equilibrio limite disponibili in letteratura, si basano tutti sulle ipotesi seguenti:

- il coefficiente di sicurezza (*FS*) è definito come rapporto tra resistenza al taglio e sforzo di taglio mobilitato lungo la ipotetica superficie di scorrimento;
- il coefficiente di sicurezza è assunto costante in tutti i punti della superficie di scorrimento;
- la rottura avviene per il raggiungimento, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento, della resistenza al taglio limite.

Le analisi sono condotte con il metodo di *Jambu*, implementato all'interno di un programma di calcolo specifico per tale tipo di analisi: è stato utilizzato il programma di calcolo "*Slope 2010"* della *Geostru Software.* Il calcolo è stato svolto seguendo le recenti indicazioni delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (*D.M. 14 Gennaio 2008*)

Secondo queste ultime norme le analisi di stabilità dei rilevati in terreni sciolti o granulari devono essere effettuati verificando che sia soddisfatta la condizione: *Ed ≤ Rd* avendo indicato con *Ed* il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e *Rd* il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (terreno).

In tal senso, in campo statico i valori caratteristici dei parametri geotecnici dei materiali e delle azioni vengono, rispettivamente, divisi e moltiplicati per i coefficienti parziali previsti dalla combinazione di carico *A2+M2+R2 (dimensionamento GEOtecnico)*, con l'impiego di un coefficiente parziale della resistenza del sistema geotecnico *gR* (corrispondente ad *FS* precedentemente definito) pari ad 1.1.

In presenza di sollecitazioni sismiche (campo pseudostatico) vengono adoperati i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze dei materiali lasciando al giudizio del progettista la scelta dei valori più idonei da assegnare al coefficiente *gR*.

5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI ARDESIACI

Prima di descrivere le analisi effettuate, occorre definire i parametri geotecnici dei materiali ardesiaci, i quali non sono stati trattati nel Capitolo 4.

Il comportamento meccanico dei materiali ardesiaci è, in linea di massima, assimilabile a quello di un materiale granulare; comparando tali materiali alla classificazione dei terreni proposta dal *Sistema Unificato di Classificazione dei Terreni* (*U.S.C.S.)*, gli stessi possono essere identificati al gruppo *GW* ed in subordine al gruppo *GM.*

Nel primo gruppo *(GW)* rientrano le ghiaie ben classate mentre nel secondo *(GM)* le ghiaie limose: è spesso presente infatti una minima percentuale di frazione fine.

Il peso di volume unitario di tali materiali ardesiaci è valutato intorno a 2.1-2.3 t/mc e, in relazione all'elevato coefficiente di permeabilità (*k≥1cm/sec*), si devono ritenere sostanzialmente sempre in condizioni aride (asciutti).

Per quanto attiene circa le caratteristiche di resistenza al taglio, si evidenzia che si tratta di terreni granulari e, considerate le notevoli dimensioni medie di pezzatura, si giustifica un grado di grado di addensamento da medio ad elevato: si ritiene dunque corretto associare a tali materiali un angolo di attrito pari a 42°/43° e coesione nulla.

Si evidenzia che i detriti ardesiaci presentano un contenuto di carbonati oscillante tra il 20% ed il 40% (*Pandolfi D. e O., 1991, "La Cava", Ed. Sagno*) e pertanto si verifica un discreto grado di cementazione secondaria fra i frammenti lapidei.

5.3 PARAMETRI DI PROGETTO DEI MATERIALI

Le simulazioni di stabilità, sono state eseguite utilizzando le parametrizzazioni fornite nel Capitolo 4 e quelle sopra riportate, sulla base dei parametri caratteristici, divisi per i rispettivi coefficienti parziali definiti nelle *Norme Tecniche* (*D.M. 14 gennaio 2008).*

Si ottengono così i parametri di progetto, in modo che, ai fini della situazione schematizzata, i parametri utilizzati nelle verifiche di stabilità siano, oltre che rappresentativi, adeguatamente cautelativi.

Secondo quando definito dalla *Norme Tecniche e dalle Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CNLP)*, nel caso in cui il volume significativo sia notevole e/o quando è coinvolto un notevole volume di terreno possono essere considerati uguali ai parametri medi ($V_M = V_K$). Le Norme Tecniche stabiliscono inoltre l'assoluta responsabilità del progettista sui parametri geotecnici da utilizzare, sulla base della precisione del modello geologico (s.l.) ottenuto.

Ciò premesso, sulla base del rilievo geologico di dettaglio, delle indagini meccaniche in situ e soprattutto sulla scorta dei dati derivanti dalla modellazione del pendio allo stato attuale, si è ritenuto corretto e necessario considerare uguali i valori dei parametri medi a quelli caratteristici.

Le analisi di stabilità vengono dunque condotte considerando i valori dei parametri riportati nella tabella seguente:

Parametro	u.m.	Valore Caratteristico	Valore di Progetto
Coltri sciolte di copertura			
peso dell'unità di volume (γ)	*Kg/m^3*	*1510-1920*	*1510-1920*
coesione (c)	*Kg/cm^2*	*0.05*	*0.04*
angolo di attrito (φ)	°	*30*	*24*
Cappellaccio di alterazione			
peso dell'unità di volume (γ)	*Kg/m^3*	*2200-2300*	*2200-2300*
coesione (c)	*Kg/cm^2*	*2*	*1.6*
angolo di attrito (φ)	°	*42*	*33.6*
Substrato Roccioso			
peso dell'unità di volume (γ)	*Kg/m^3*	*2700-2800*	*2700-2800*
coesione (c)	*Kg/cm^2*	*3*	*2.4*
angolo di attrito (φ)	°	*45*	*36*
Detriti Ardesiaci			
peso dell'unità di volume (γ)	*Kg/m^3*	*2100-2200*	*2100-2200*
coesione (c)	*Kg/cm^2*	*0*	*0*
angolo di attrito (φ)	°	*42*	*36*

5.4 STABILITÀ DELLA DISCARICA O STRUTTURA DI DEPOSITO ALLO STATO ATTUALE E FINALE

La verifica di stabilità globale della discarica o struttura di deposito in esame, sono state eseguite in condizioni non drenate (presenza di falda) ed in condizioni sismiche, valutate mediante il metodo pseudo-statico allo stato limite ultimo di collasso (*SLU-SLC*); i parametri geotecnici utilizzati sono quelli di progetto. Alla rotabile è stato assegnato un capito distribuito di 0.5 kg/cmq.

Mediante il metodo pseudo-statico (in condizioni sismiche) occorre considerare il coefficiente sismico *kh*, che viene così calcolato (cfr. par. 7.11.3.5 delle Norme Tecniche):

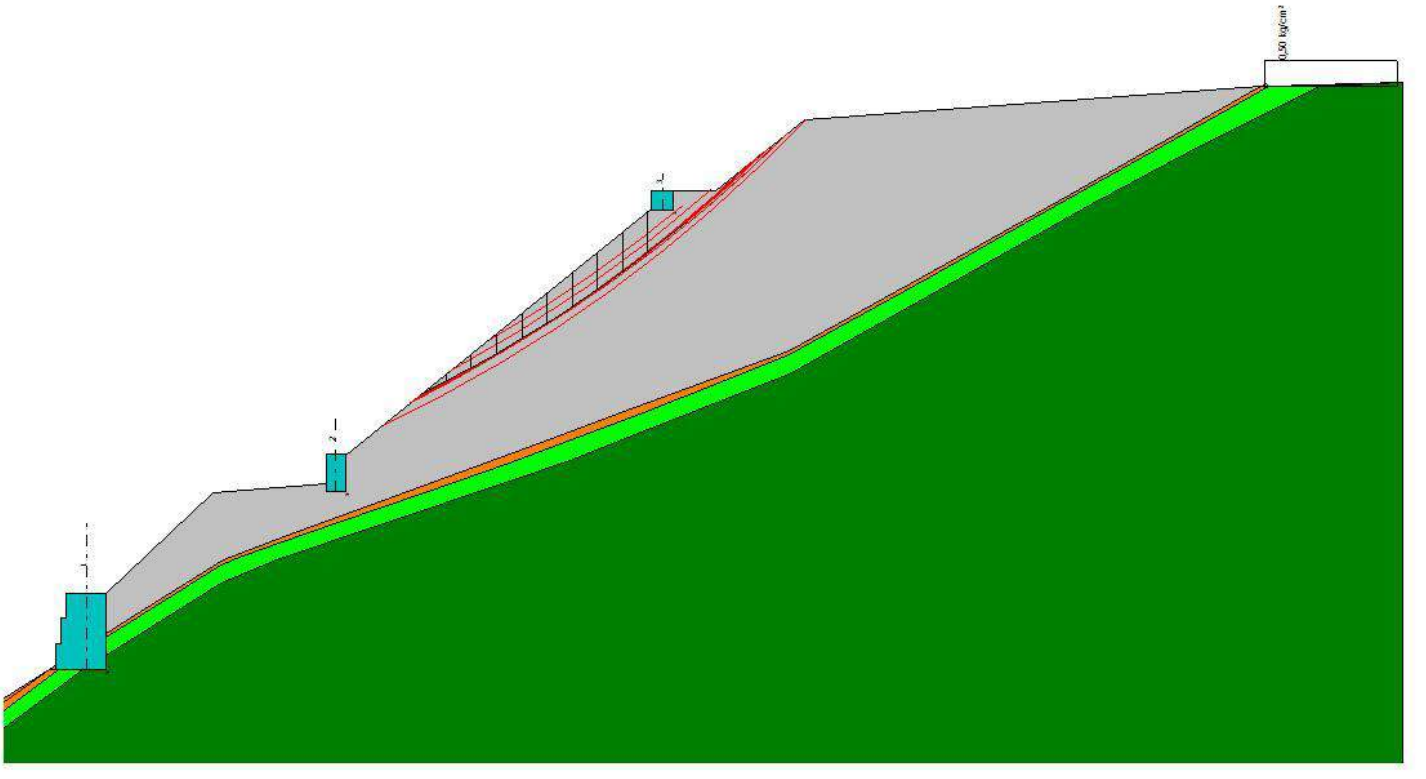
$kh = \beta_S * amax/g$ con:

$\beta_S = 0.24$ (coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito);
amax = accelerazione massima attesa al sito $S_S * S_T * ag$;

Si ottiene quindi:

kh = 0.052
kv = 0.026

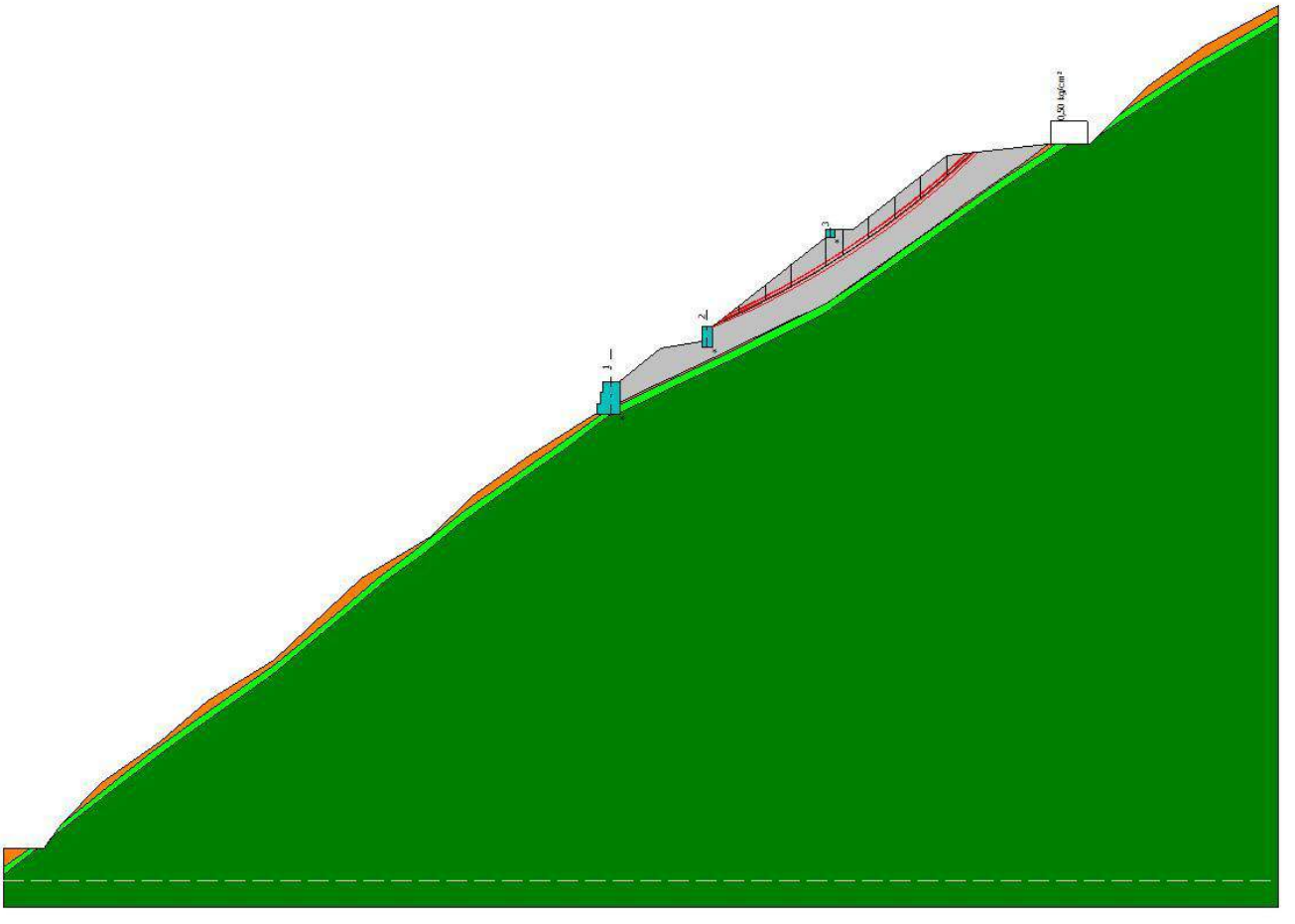
- ✓ *Sezione A-A – stato attuale*



La verifica di stabilità globale della sezione *A-A* allo stato attuale ha mostrato, come superficie di scorrimento più critica (semicerchio nero), quella passante in corrispondenza del ciglio di testa della discarica, fino a circa la fine della prima gradonatura, con un coefficiente minimo *Fs di 1.17*, comprendente esclusivamente i detriti ardesiaci.

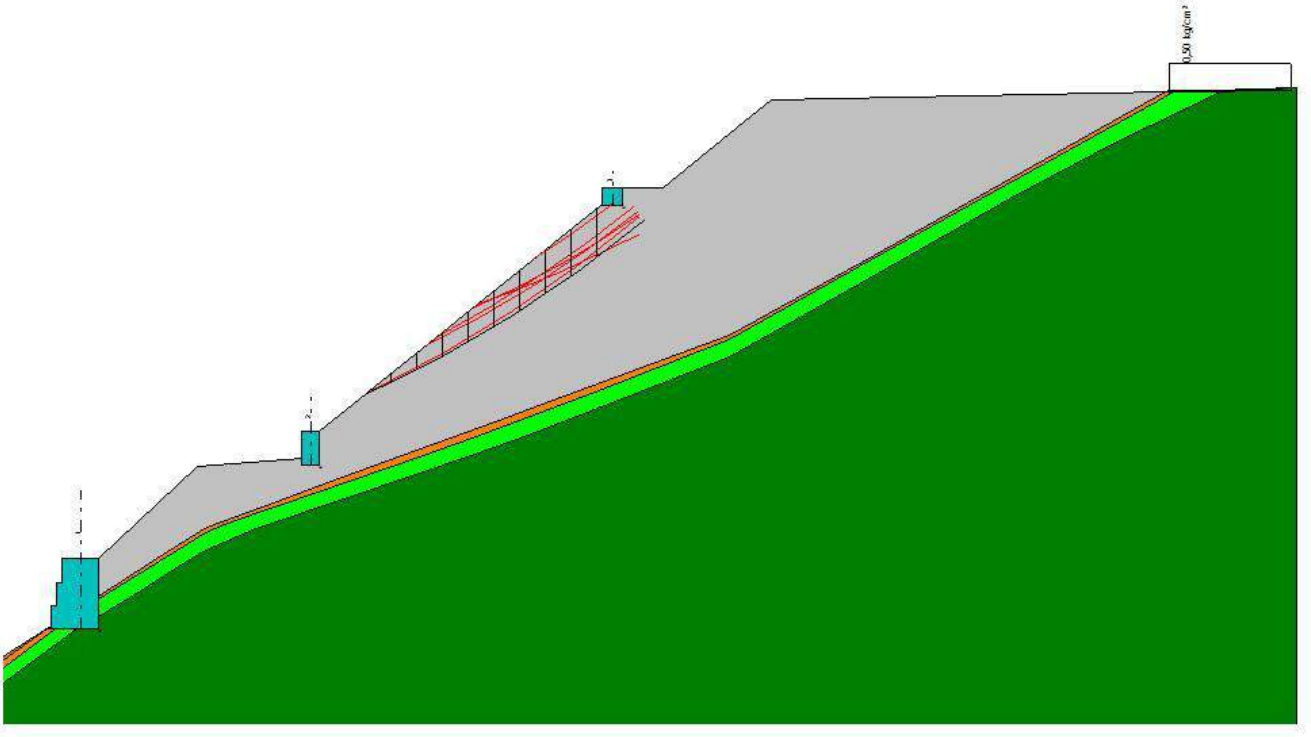
✓ *Sezione B-B – stato attuale*

Si riporta in seguito lo schema relativo alla sezione *B-B* allo stato attuale; la verifica di stabilità ha mostrato come superficie di scorrimento più critica (semicerchio nero), quella passante fra il ciglio di testa ed il muro del secondo gradone, con un coefficiente minimo *Fs di 1.32.*

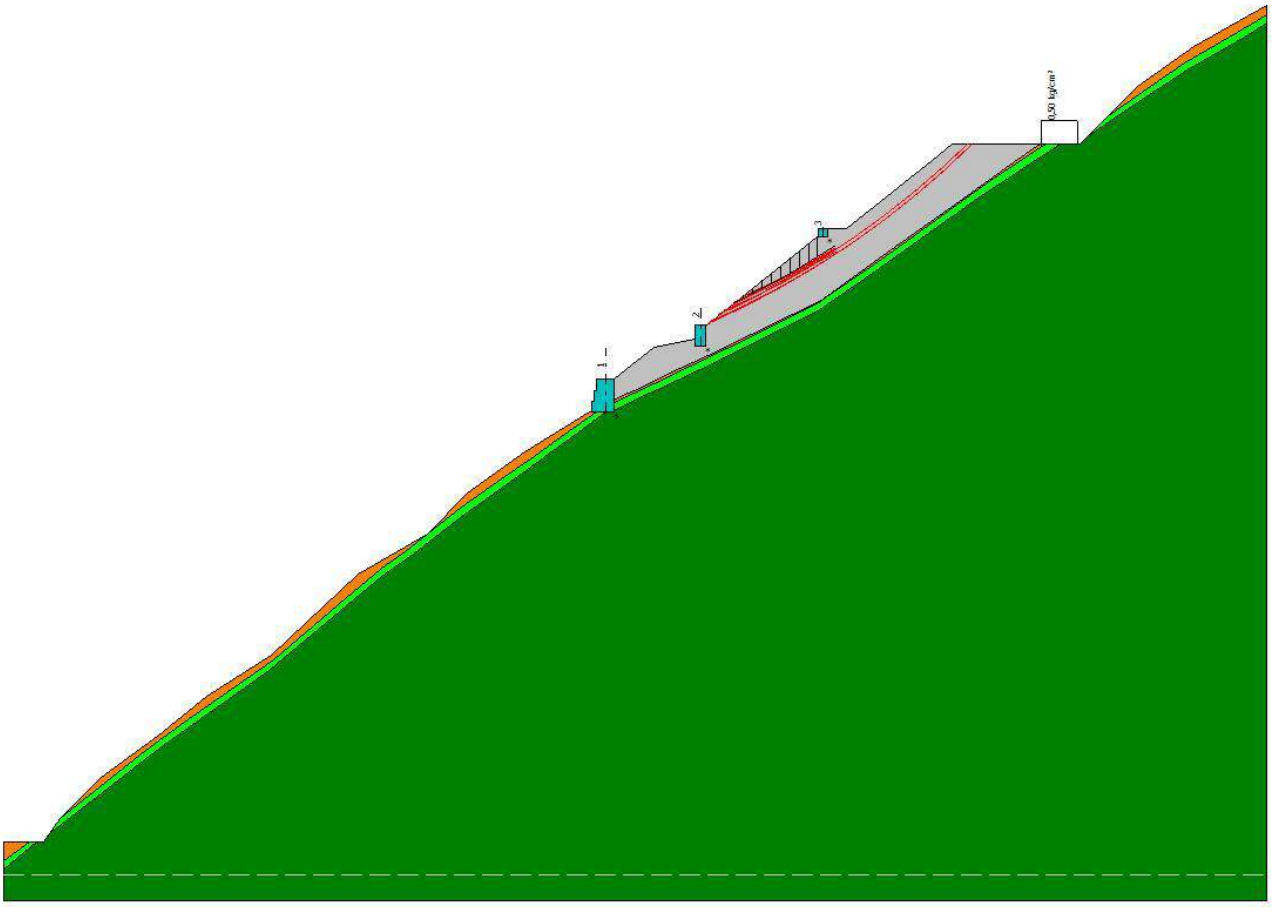


✓ *Sezione A-A - stato finale*

La verifica di stabilità globale della sezione *A-A* allo stato finale ha mostrato, come superficie di scorrimento più critica (semicerchio nero), quella passante in corrispondenza del ciglio di testa della discarica, fino a circa la fine della prima gradonatura, con un coefficiente minimo *Fs di 1.14*, comprendente esclusivamente i detriti ardesiaci.



✓ *Sezione B-B - stato finale*



La verifica di stabilità della sezione *B-B* allo stato finale ha mostrato come superficie di scorrimento più critica (semicerchio nero), quella passante fra il ciglio di testa ed il muro del secondo gradone, con un coefficiente minimo *Fs di 1.23.*

Per tutte le sezioni i detriti ardesiaci sono rappresentati con il colore grigio, l'orizzonte sciolto con il colore marrone, il "cappellaccio" con il colore verde chiaro ed il basamento roccioso "sano" con verde scuro; il cerchio nero evidenzia la superficie di scorrimento a coefficiente minore.

Le analisi di stabilità hanno evidenziato come allo stato attuale la discarica non presenta condizioni di criticità sotto il profilo della stabilità: i fattori di sicurezza ottenuti sono infatti sempre risultati in linea con le prescrizioni dettate dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni (Fs>1.1).*

6. CONCLUSIONI

L'insieme dei dati raccolti e delle analisi effettuate permette di formulare un *positivo parere di compatibilità geologica (s.l.) della discarica o struttura di deposito in esame*, la cui buona adattabilità alle realtà accertate in sito pare essere confermata dalle attuali condizioni di equilibrio del pendio entro il quale è presente la discarica stessa.

Al termine dell'attività la superficie esterna del corpo di discarica verrà ricoperta con terreno vegetale avente caratteristiche fisico-chimiche simili a quelle dei terreni circostanti, favorendo così l'inerbimento e l'attecchimento di specie arbustive ed arboree autoctone.

La vegetazione gioca un ruolo rilevante sugli effetti di stabilizzazione: le piante, gli arbusti e le loro relative radici hanno la capacità di influire positivamente sulla stabilità dei versanti, in quanto modificano sia le condizioni idrologiche del versante che le caratteristiche meccaniche del terreno.

Tali effetti si possono valutare attraverso i parametri che esprimono la resistenza al taglio del terreno: la pressione neutra diminuisce a causa dell'evapotraspirazione e della minore infiltrazione nel terreno; si incrementa la resistenza al taglio mobilizzabile e la coesione dovuta al rinforzo della matrice di radici. La presenta della vegetazione limita inoltre notevolmente i fenomeni di *creep* superficiale e durante gli eventi di pioggia, determina un ritardo nei tempi di saturazione e di scomparsa delle pressioni neutre negative, che risultano in partenza più alte rispetto a quelle di terreni privi di vegetazione.

Relativamente al corpo di discarica, con lo scopo di prevenire eventuali situazione di dissesto idrogeologico, dovuti all'azione erosiva da parte delle acque superficiali, sono state regimate le acque superficiali di ruscellamento e subsuperficiali onde evitare scarichi entro il materiale di smarino.

Si raccomanda di provvedere alla pulizia sistematica delle canalizzazioni o fossi esistenti con rimozione del materiale solido e vegetazionale, ogni qualvolta se ne presenti la necessità, onde favorire il deflusso idrico e contrastare il dissesto idrogeologico.

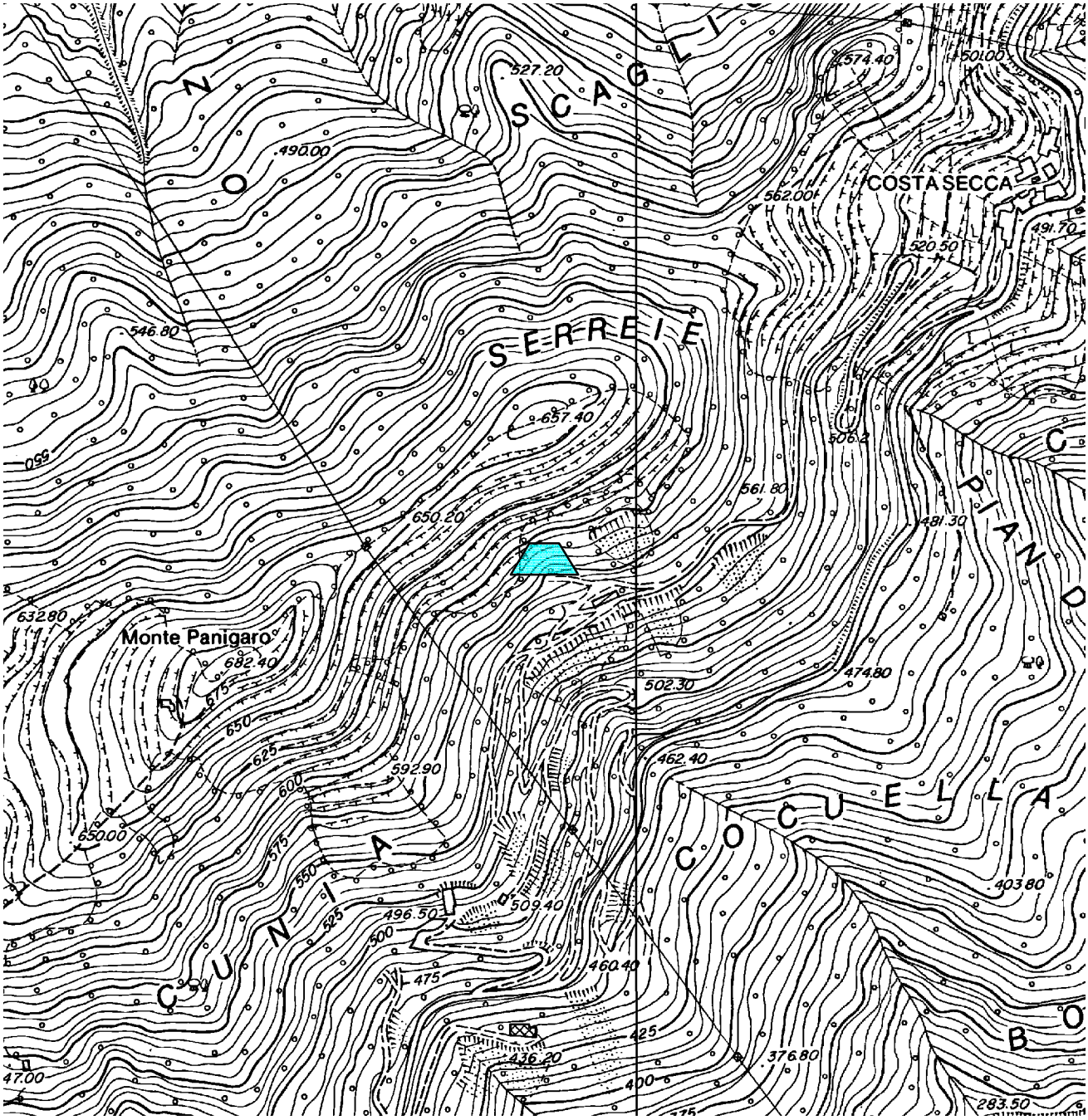
Tali opere di canalizzazione delle acque superficiali sono infatti atte a prevenire il ruscellamento idrico ed i danni ad esso associati evitando altresì che possano esservi movimenti nel materiale di smarino causate da eccessive infiltrazioni meteoriche. Si afferma che le canalette di raccolta presenta caratteristiche e dimensioni idonee a ricevere le acque che vi recapitano.

Per eventuali chiarimenti circa le modalità operative e per i necessari controlli in corso d'opera si conferma fin d'ora la più completa disponibilità.

Cicagna, 19 luglio 2017

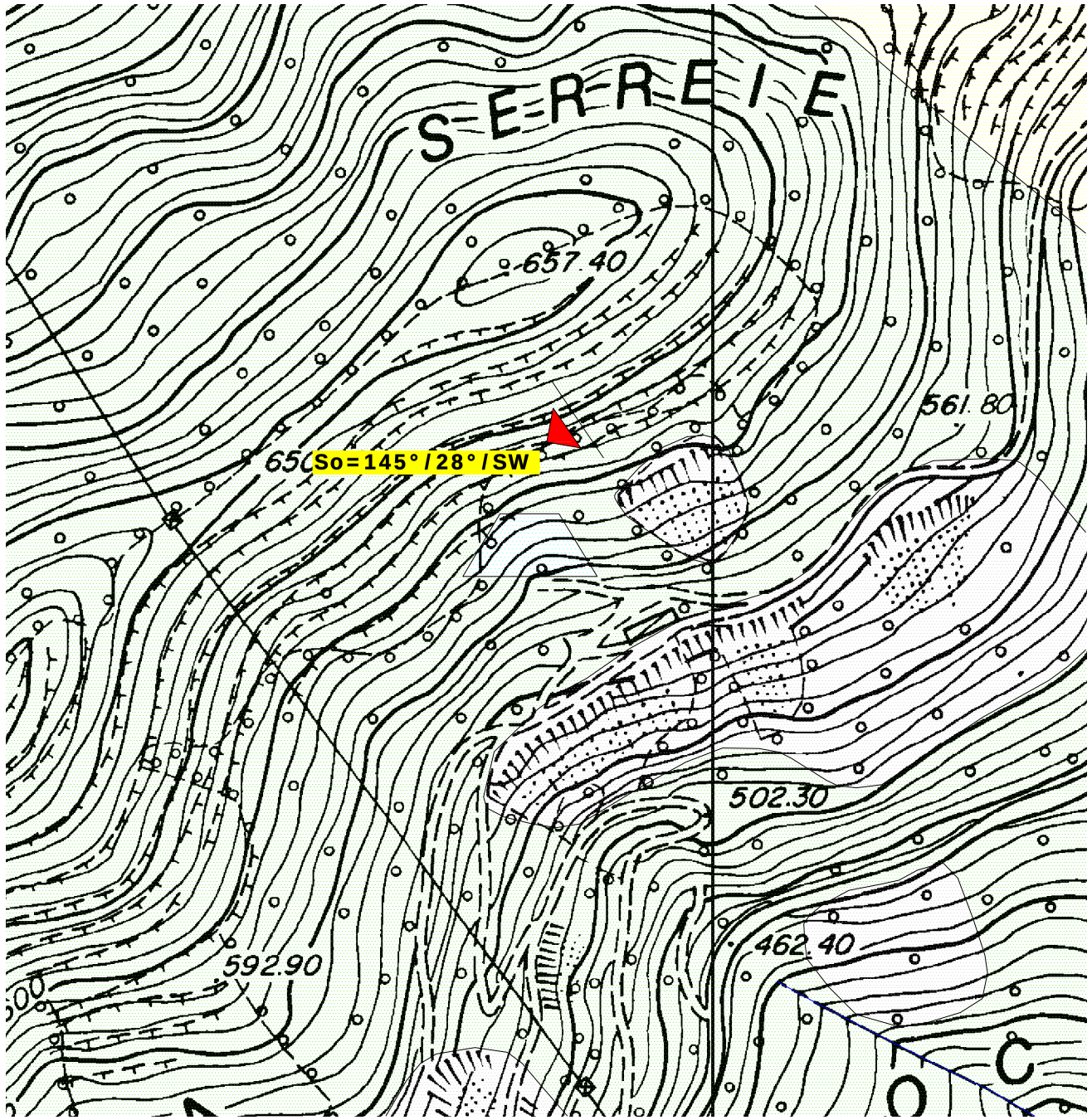
dott. geol. Andrea Ghilino

TAV. 1: COROGRAFIA DELL'AREA SCALA 1:5.000



UBICAZIONE COMPLESSO ESTRATTIVO DENOMINATO "FILONE DURO" ELEMENTO N°214163 - ORERO

TAV. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA SCALA 1:2.500



LEGENDA

UBICAZIONE COMPLESSO ESTRATTIVO DENOMINATO "FILONE DURO"

FORMAZIONE DELLE ARDESIE DI M.te VERZI AFFIORANTE E/O SUBAFFIORANTE CON COPERTURE DI SPESSORE SOTTILE (GENERALMENTE COMPRESO FRA 1 A 3M)

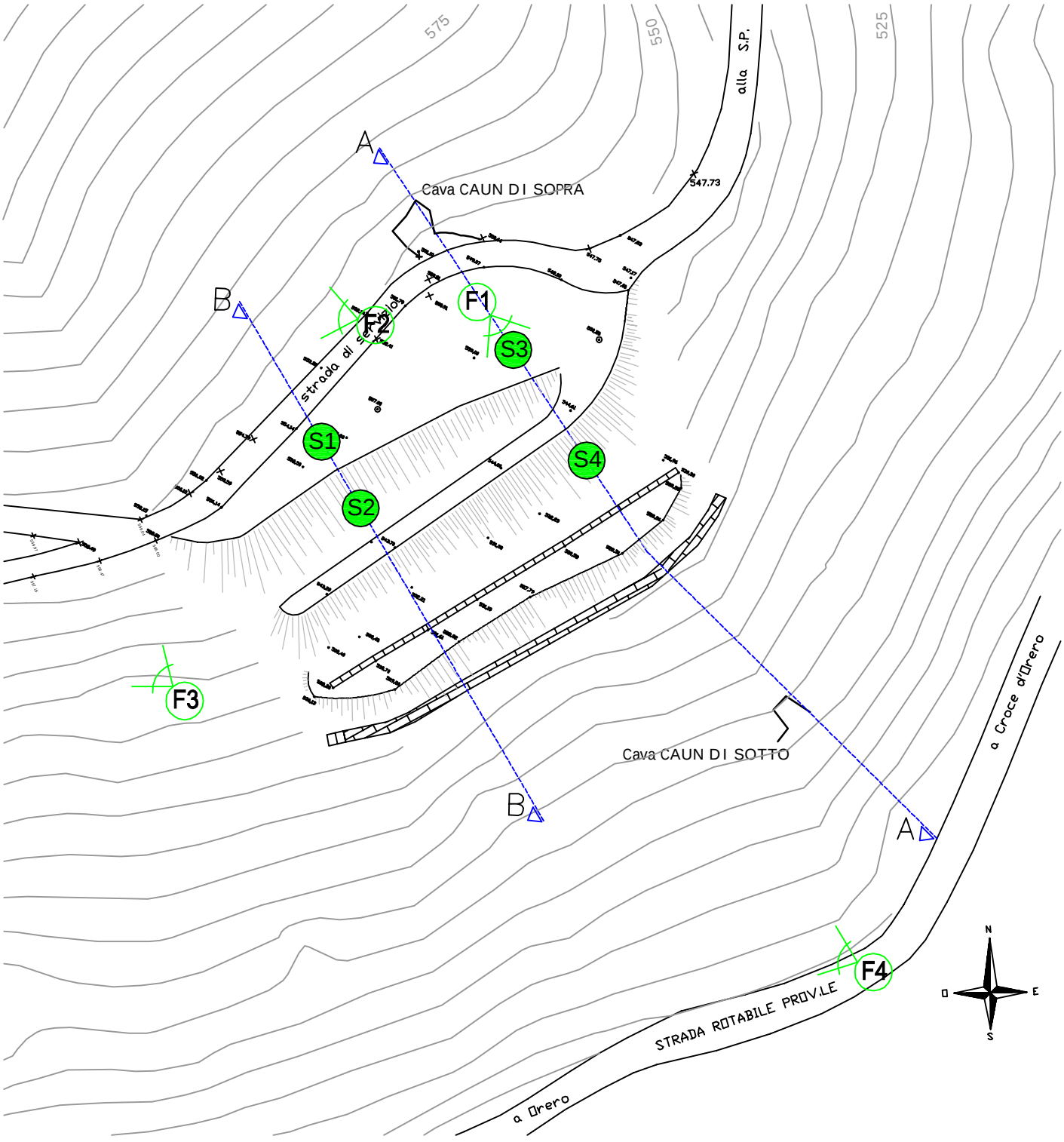
FORMAZIONE DEGLI SCISTI ZONATI AFFIORANTE E/O SUBAFFIORANTE CON COPERTURE DI SPESSORE SOTTILE (GENERALMENTE COMPRESO FRA 1 A 3M)

GIACITURA DI STRATO (So)

DETRITI ARDESIACI

PRINCIPALI VIE DI DEFLUSSO IDRICO SUPERFICIALE

TAVOLA 3: PLANIMETRIA TECNICA SCALA 1:1000



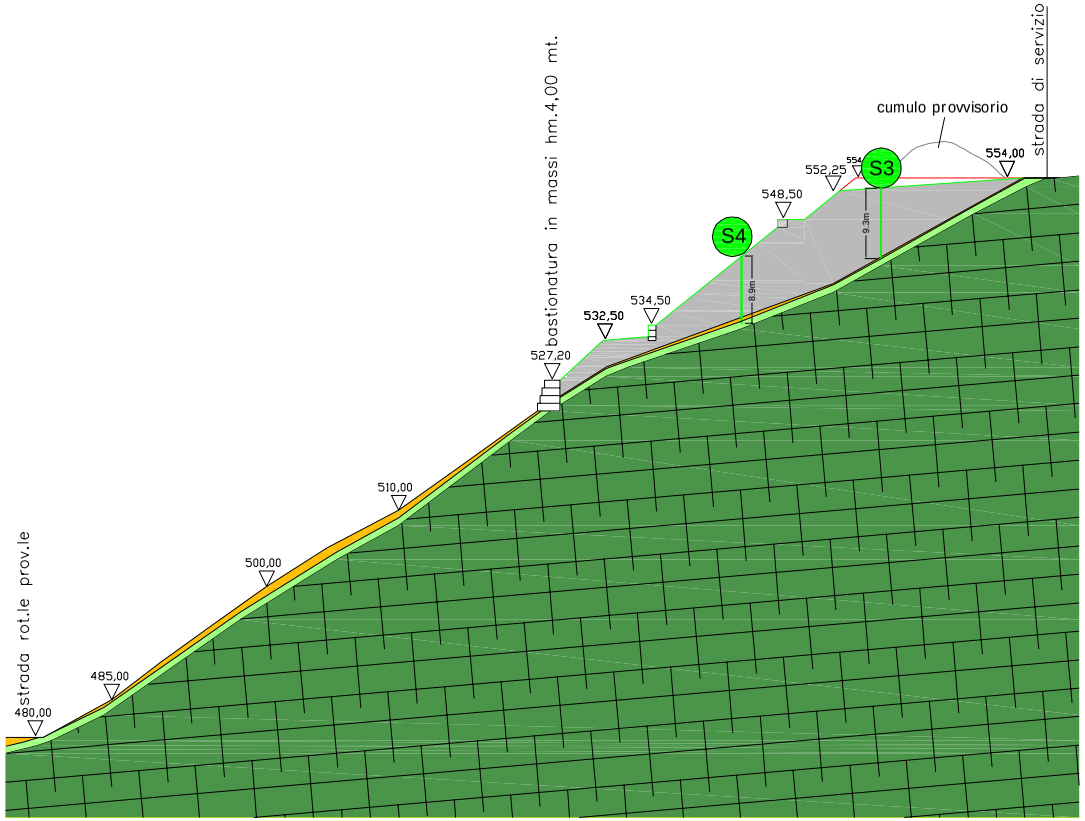
LEGENDA

S1 Ubicazione indagini geofisiche realizzate

---------- Traccia di sezioni geologiche interpretative A-A e B-B (cfr. Tavola 4)

F1 Ubicazione scatti fotografici

TAVOLA 4: SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA A-A SCALA 1:1000



LEGENDA

PROFILO DISCARICA STATO FINALE

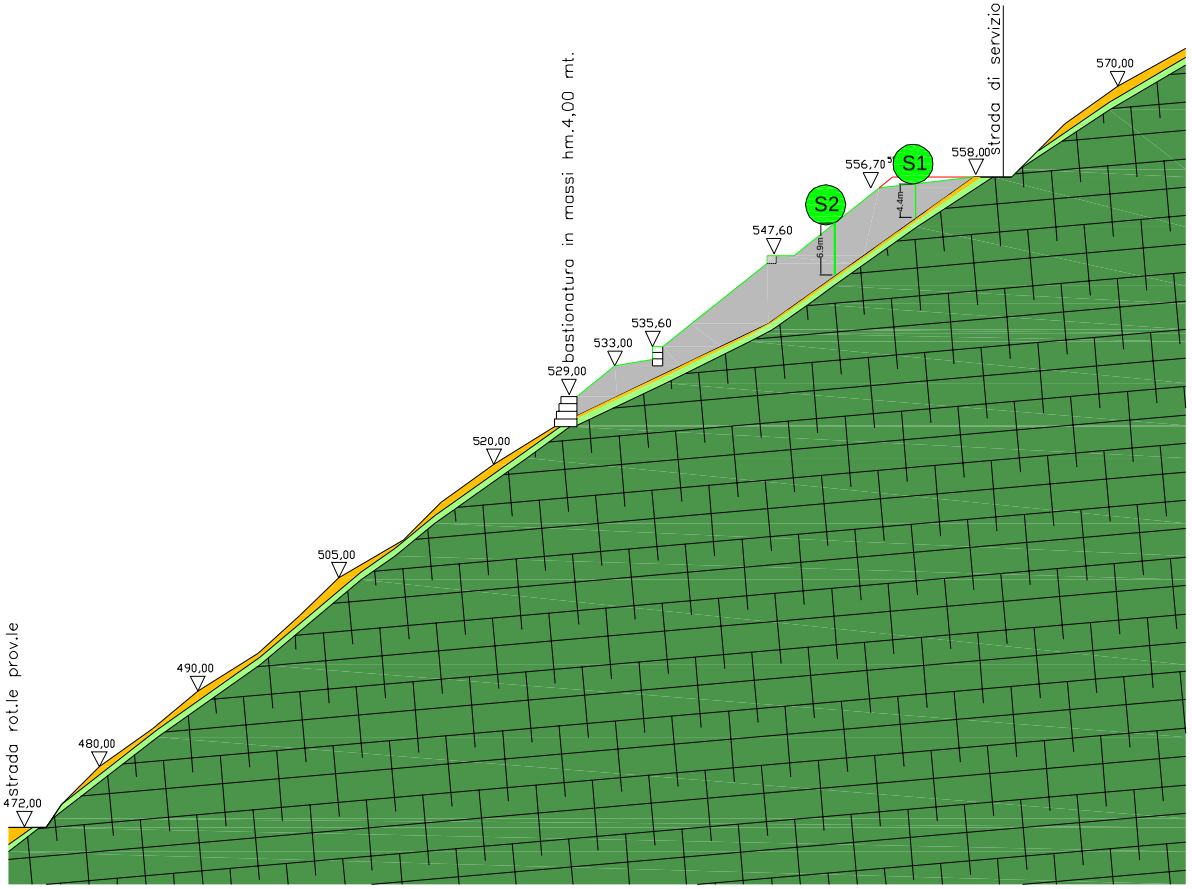
PROFILO DISCARICA ATTUALE

S1 UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE REALIZZATE

STRATIGRAFIA

- COLTRI SCIOLTE ELUVIO-COLLUVIALI (Orizzonti A e B)
- AMMASSO ROCCIOSO ALTERATO E CON SACCHE DETRITICHE "CAPPELLACCIO" (Orizzonte C)
- BASAMENTO ROCCIOSO "SANO ": FORMAZIONE DELLE ARDESIE DI M.te VERZI (Orizzonte D)
- DETRITI ARDESIACI

TAVOLA 4.1: SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA B-B SCALA 1:1000



LEGENDA

PROFILO DISCARICA STATO FINALE

PROFILO DISCARICA ATTUALE

S1 UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE REALIZZATE

STRATIGRAFIA

- COLTRI SCIOLTE ELUVIO-COLLUVIALI (Orizzonti A e B)
- AMMASSO ROCCIOSO ALTERATO E CON SACCHE DETRITICHE "CAPPELLACCIO" (Orizzonte C)
- BASAMENTO ROCCIOSO "SANO ": FORMAZIONE DELLE ARDESIE DI M.te VERZI (Orizzonte D)
- DETRITI ARDESIACI

TAVOLA 5: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Strumentazione utilizzata per la registrazione di microtremore. Sismometro tricomponente *Gemini 2* prodotto dalla ditta *Pasi* di *Torino* utilizzato per l'acquisizione delle vibrazioni ambientali per la prova *H/V*. Si nota il sismometro (colore arancione) ed il computer portatile. Il sismometro è accoppiato con il terreno a mezzo di piedini appuntiti infissi a terra.



Foto 2: Affioramento roccioso reperito a monte della struttura di deposito.



Foto 3: Affioramento roccioso reperito ad Ovest rispetto alla struttura di deposito.



Foto 4: Affioramento roccioso reperito a valle rispetto alla struttura di deposito, lungo il lato di monte della rotabile provinciale.