

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Pierluigi TORRIERI - G E O L O G O -

Consulenza Geologica; Idrogeologica; Geotecnica



Via Privata Bellavista, 50

18019 VALLECROSIA

P.IVA. 01118850088 **C.F.** TRR PLG 62C29 I138J

e-mail1:torrieri@alice.it

e-mail2:pierluigitorrieri@vodafone.it

Tel. Cellulare: **335/8402748**

Tel/Fax: 0184-25.48.64 Studio

Fax2: 0184-1950309

COMUNE DI BORDIGHERA

RELAZIONE GEOLOGICA RELATIVA ALLA RICOSTRUZIONE DI UN MURO DI SOSTEGNO

Via V. Rossi Km 2+300



RICHIEDENTE: COMUNE DI BORDIGHERA

PROGETTO: Ing. BIANCHERI Paolo

VALLECROSIA 2-07-2014

dott. geol. pierluigi torrieri

INDICE

§- 1.Premessa.	Pag. 3
§- 2.Aspetti Geologici.	Pag. 3
§- 3.Rapporti tra zona di progetto e Piano di Bacino	Pag. 9
§- 4. Aspetti sismici	Pag. 11
§- 5.Stabilità versante	Pag. 19
§ - 6.Conclusioni.	Pag. 25

1. PREMESSA

Viste le seguenti normative di Legge: D.M 11-03-1988 e la Circ. LL.PP 24-09-1988 n. 30483; il D.M. del 14-01-2008; D.Lgs. 152/2006; Legge 9/08/2013 n.98.

Vista la normativa di Piano di Bacino.

Esaminata la Normativa tecnica de Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico (PTCP), relativa alla zona di progetto.

Visto l'incarico affidatomi, lo scrivente Pierluigi Torrieri, Geologo in Vallecrosia Via Bellavista 50, regolarmente iscritto all'Albo Professionale dei Geologi col numero 294, esegue studi di carattere geologico-geotecnico inerenti alla ricostruzione di un muro di sostegno a causa di fenomeni dissestivi; Comune di Bordighera Via Vincenzo Rossi Km 2+300m.

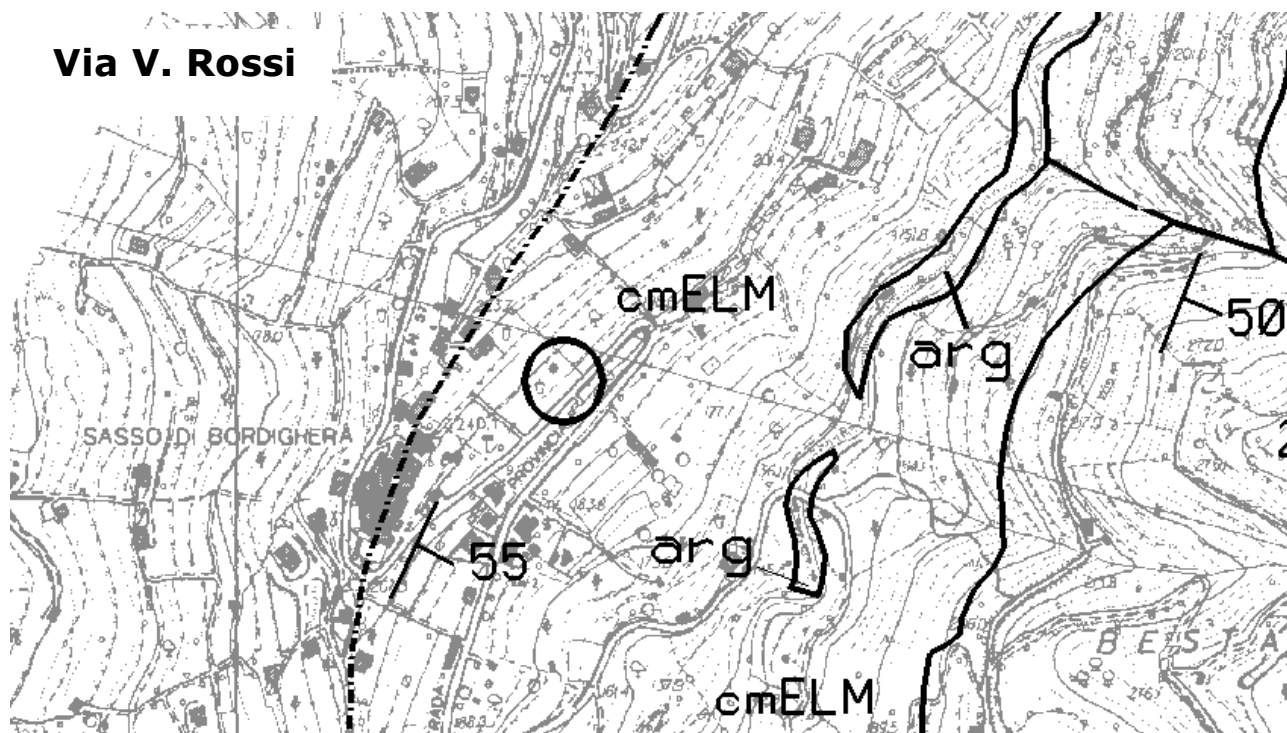
Zona **VI/MO; PG1** del Piano di Bacino;

Nella fase preliminare delle indagini ho ritenuto opportuno raccogliere il materiale bibliografico esistente, confrontato con il materiale già in mio possesso, ed integrato con una indagine puntuale sul sito.

L'indagine ha lo scopo di fornire sia un quadro geologico di dettaglio, sia una caratterizzazione geotecnica per una progettazione mirata delle strutture.

2. ASPETTI GEOLOGICI

La formazione rocciosa che caratterizza il sottosuolo è rappresentata dal Flysch di Sanremo, qui di seguito sommariamente descritto.



cmELM - FLYSCH DI SANREMO (LITOTIPI CALCAREO-MARNOSI). Torbiditi marnoso-calcaree e calcareo-marnose a base calcareo arenacea, in strati da medi a spessi, fino a plurimetrici, calcari micritici e rare argilliti costituenti i giunti di strato. Verso l'alto, il passaggio a maELM è definito da litofacies francamente marnose e a stratificazione più sottile; verso il basso, il passaggio a arBOR è segnato dalla comparsa di strati isolati di arenarie grossolane e dall'infittirsi di calcari micritici in strati metrici

Quest'unità si identifica con lo "H1" di Franchi, la "Série à dominante calcaire" degli AA. francesi, la "Saccarelloserie" di Richter e le "Litofacies a, b e c" di Sagri (1984). Nell'area rilevata, affiora estensivamente con sostanziale omogeneità, ed il suo limite stratigrafico inferiore è costantemente dato da arBOR (Arenarie di Bordighera), verso le quali il passaggio è rapido anche se progressivo, mentre quello superiore sfuma assai gradualmente nello maELM (H2 di Franchi). Come descritto da Sagri (1984), la formazione si compone della sequenza monotona di due tipi di strati torbiditici fondamentali:

a) Strati e banchi di spessore da metrico a plurimetrico dati da una coppia marna calcarea/calcare arenaceo con quest'ultimo costituente la base dello strato, il cui rapporto stratimetrico arenite/pelite è di norma < 1 . Gli strati raramente mostrano una sequenza Bouma completa, ma più spesso sequenze tronche alla base di tipo Tbcd, Tcde, riconducibili a prevalenti facies sedimentarie Mutti & Ricci Lucchi D2. Alla base degli strati più potenti, è frequente la ripetizione degli intervalli basali (Tbc-bc-cd..), dovuta, secondo Rupke (1976) e Hiscott & Pickering (1984), a frequenti "rimbalzamenti" delle correnti di torbida in fosse ristrette; in questi casi lo spessore degli strati supera facilmente i 6-7 m.

Tra le varietà di strato che si differenziano da questo tipo fondamentale, ne segnaliamo una perché sempre presente in larga prevalenza al passaggio col soprastante ma ELM, associata a strati isolati di "megatorbiditi" marnoso-calcaree del tipo sopra descritto, costituito da marna o da marna argillosa, con suola calcareo-arenacea assente o data da un sottile intervallo c o cd, in facies sedimentaria D3.

b) Strati metrici e submetrici di calcari micritici, con sequenza prevalente T(d)e, e facies sedimentaria D3. Alla base è spesso presente un velo di calcare sabbioso, e chiude normalmente la sedimentazione un intervallo netto di emipelagite argillitica (intervallo f di Hesse).

L'età della formazione è stata di recente precisata da Manivit & Prud'Homme (1990), e sarebbe secondo questi ultimi compresa tra il Maastrichtiano medio e il Maastrichtiano superiore.

Lo spessore dell'unità, valutabile in alcune sezioni significative in cui ne sono definibili la base e il tetto (Rio Battagli tra Seborga e Vallebona) non sembra superare i 200 m.

CLASSIFICAZIONE AMMASSO ROCCIOSO: Criterio di Hoek e Brown.

Il substrato roccioso è stato classificato secondo il criterio di **Hoek e Brown**, dal quale si sono ricavati i principali parametri geotecnici, riportati di seguito in forma numerica e grafica. Segue una breve trattazione del metodo utilizzato.

Coesione ammasso: $c = 0.292341 \text{ Mpa}$

Angolo di attrito = 39,3°

Hoek Brown Classification

sigci 35 MPa

GSI 45

mi 12

D 0.7

Hoek Brown Criterion

mb 0.584457

s 0.000345328

a 0.508086

Failure Envelope Range

Application Slopes

sig3max 1.02208 MPa

Unit Weight 0.026 MN/m3

Slope Height 50 m

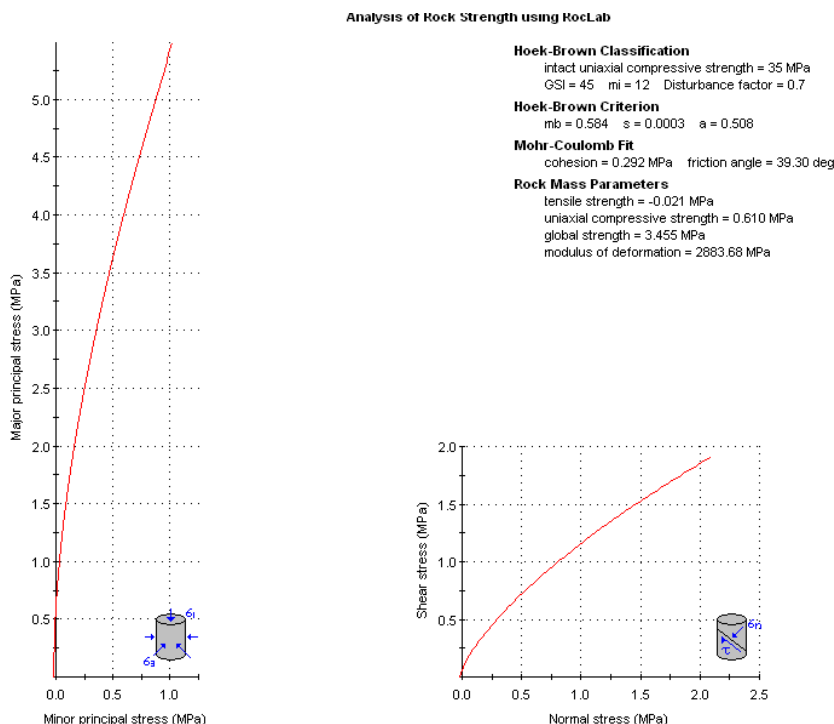
Rock Mass Parameters

sigt -0.0206799 MPa

sigc 0.609808 MPa

sigcm 3.45536 MPa

Em 2883.68 MPa



A differenza di quanto avviene nelle terre sciolte, negli ammassi rocciosi la resistenza al taglio del materiale non può generalmente essere descritta con il criterio di rottura di Coulomb :

$$\tau_{\max} = c + \sigma \tan \varphi;$$

dove

c = coesione;

σ = pressione efficace;

φ = angolo d'attrito.

Questo infatti indica una correlazione fra resistenza al taglio del materiale e pressione di confinamento di tipo lineare, mentre negli ammassi rocciosi tale correlazione è chiaramente di tipo non lineare.

D'altra parte i metodi dell'equilibrio limite richiedono che il materiale, terra o roccia, sia descrivibile attraverso i parametri c e φ .

E' necessaria quindi una correlazione che leghi queste due grandezze a quelle utilizzate normalmente per la descrizione del comportamento meccanico dell'ammasso roccioso.

Hoek e Brown descrivono una procedura che consente l'applicazione delle formule dell'equilibrio limite anche al caso di ammassi rocciosi.

La forma generale del criterio di rottura di Hoek & Brown è la seguente:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left[m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right]^a ;$$

dove:

m_b = valore della costante m per gli ammassi rocciosi;

s, a = costanti dipendenti dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso;

σ_c = resistenza alla compressione monassiale della roccia intatta;

$\sigma_1 \sigma_3$ = sforzi principali in tensioni efficaci.

La determinazione dei parametri a , s e m_b viene fatta in funzione della qualità dell'ammasso roccioso, espressa numericamente dall'indice GSI (Geological Strength Index).

Sulla base del valore stimato dell'indice GSI, si distinguono i seguenti casi:

- per ammassi rocciosi in condizioni indisturbate di qualità da buona a media per i quali sia $GSI \geq 25$, si ha:

$$\begin{aligned} a &= 0.5; \\ m_b &= m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right); \\ s &= \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right); \end{aligned}$$

- per ammassi rocciosi in condizioni indisturbate per i quali sia $GSI < 25$ (ma maggiore di 18, valore minimo previsto dalla classificazione), si ha:

$$a = 0.65 - \frac{GSI}{200};$$

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right);$$

$$s = 0;$$

- in tutti i casi in condizioni rimaneggiate o disturbate (ammassi rocciosi scavati con esplosivo o alterati e detensionati), si ha:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{14}\right);$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{6}\right) \text{ (solo nel caso } GSI \geq 25, \text{ altrimenti } s=0);$$

Per quanto riguarda la stima dei valori di m_i , costante per i diversi litotipi, in assenza di dati sperimentali, si può fare riferimento alla seguente tabella:

ROCCE	CLASSE	GRUPPO	GRANULOMETRIA			
			Grossa	Media	Fine	Molto fine
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19	Siltite 9	Argillite 4
			← Grovaccia (18) →			
	Non clastiche	Organiche	← Calcare (chalk) 7 →			
			← Carbone (8-21) →			
		Carbonatiche	Breccia (20)	Calcare spatico (10)	Calcare micritico 8	
		Chimiche		Gesso 16	Anidrite 13	
METAMORFICHE	Non scissose		Marmo 9	Hornfels (19)	Quarzite 24	
	Debolmente scissose		Migmatite (30)	Antibolite 31	Milonite (6)	
	Scissose*		Gneiss 33	Scisti (10)	Fillite (10)	Argilloscisto 9
IGNEE	Acide		Granito 33		Riolite (16)	Ossidiana (19)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite 28		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)	
	Basiche	Norite 22				
		Piroclastiche		Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)

Stima dei valori di c_i e φ_i dell'ammasso roccioso.

Poiché il criterio di Hoek e Brown esprime una curva di tipo non lineare, i valori di coesione e angolo di resistenza al taglio variano in funzione dello sforzo normale efficace (σ_n') agente.

I valori di c_i e φ_i si possono ottenere attraverso lo sviluppo di una tecnica numerica per la soluzione in forma implicita. In questo caso i passi di calcolo sono i seguenti:

- con le procedure di Hoek e Brown, si calcolano i valori di σ_1 , facendo variare σ_3 da un valore minimo prossimo a 0 fino ad un valore massimo che può essere posto indicativamente uguale a $0,25\sigma_c$. Il passo di variazione di σ_3 ($\Delta\sigma_3$) è fornito dalla relazione $\Delta\sigma_3 = \sigma_c/2^{10}$. Ad n passi $\Delta\sigma_3$ corrispondono altrettante coppie di valori di σ_1 , σ_3 , con le formule di Hoek e Brown, e n gruppi di valori $\delta\sigma_1/\delta\sigma_3$, σ_n' , τ , ottenuti attraverso le relazioni di Balmer:

$$\sigma_n = \sigma_3 + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\frac{\delta\sigma_1}{\delta\sigma_3} + 1};$$

$$\tau = (\sigma_n - \sigma_3) \sqrt{\frac{\delta\sigma_1}{\delta\sigma_3}};$$

$$\frac{\delta\sigma_1}{\delta\sigma_3} = 1 + \frac{m_b \sigma_c}{2(\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (\text{caso } GSI > 25, a=0,5).$$

$$\frac{\delta\sigma_1}{\delta\sigma_3} = 1 + am_b^a \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_c} \right)^{a-1} \quad (\text{caso } GSI \leq 25, s=0).$$

Dalle formule di regressione lineare:

$$\varphi_i' = \arctan \left[\frac{\sum \sigma_n \tau - \frac{\sum \sigma_n \sum \tau}{n}}{\sum \sigma_n^2 - \frac{(\sum \sigma_n)^2}{n}} \right],$$

$$c_i' = \left(\frac{\sum \tau}{n} \right) - \left[\left(\frac{\sum \sigma_n}{n} \right) \tan \varphi_i' \right],$$

si ricavano i corrispondenti valori di c_i' e φ_i' dell'intervallo considerato.

- S'individua l'intervallo di valori di σ_n calcolati nel passo precedente ($\Delta\sigma_n$) nel quale ricade il σ_n' medio della base del cono. $\Delta\sigma_n$ a sua volta si collega a due intervalli di variazione della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio istantanei ($\Delta c_i'$ e $\Delta \varphi_i'$), da cui si ricavano:

$$c_i = \frac{\sigma_{nbc}'}{\Delta\sigma_n} \Delta c_i',$$

$$\varphi_i = \frac{\sigma_{nbc}'}{\Delta\sigma_n} \Delta \varphi_i',$$

Stima dei valori di c_i e φ_i dei giunti meccanici.

Negli ammassi rocciosi fratturati la resistenza meccanica dei giunti, espressa in valori di c_i e φ_i , si può ottenere attraverso le relazioni proposte da Barton.

Anche in questo caso i valori di coesione e angolo di resistenza al taglio variano in funzione dello sforzo normale efficace (σ_n') agente.

Questi i passaggi di calcolo:

$$\tau = \sigma_n' \tan \left[\varphi_b + JRCLog_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n'} \right) \right];$$

$$\frac{\delta \tau}{\delta \sigma_n} = \tan \left[\varphi_b + JRCLog_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n'} \right) \right] - \frac{\pi JRC}{180 \ln 10} \left\{ \tan^2 \left[\varphi_b + JRCLog_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n'} \right) \right] + 1 \right\};$$

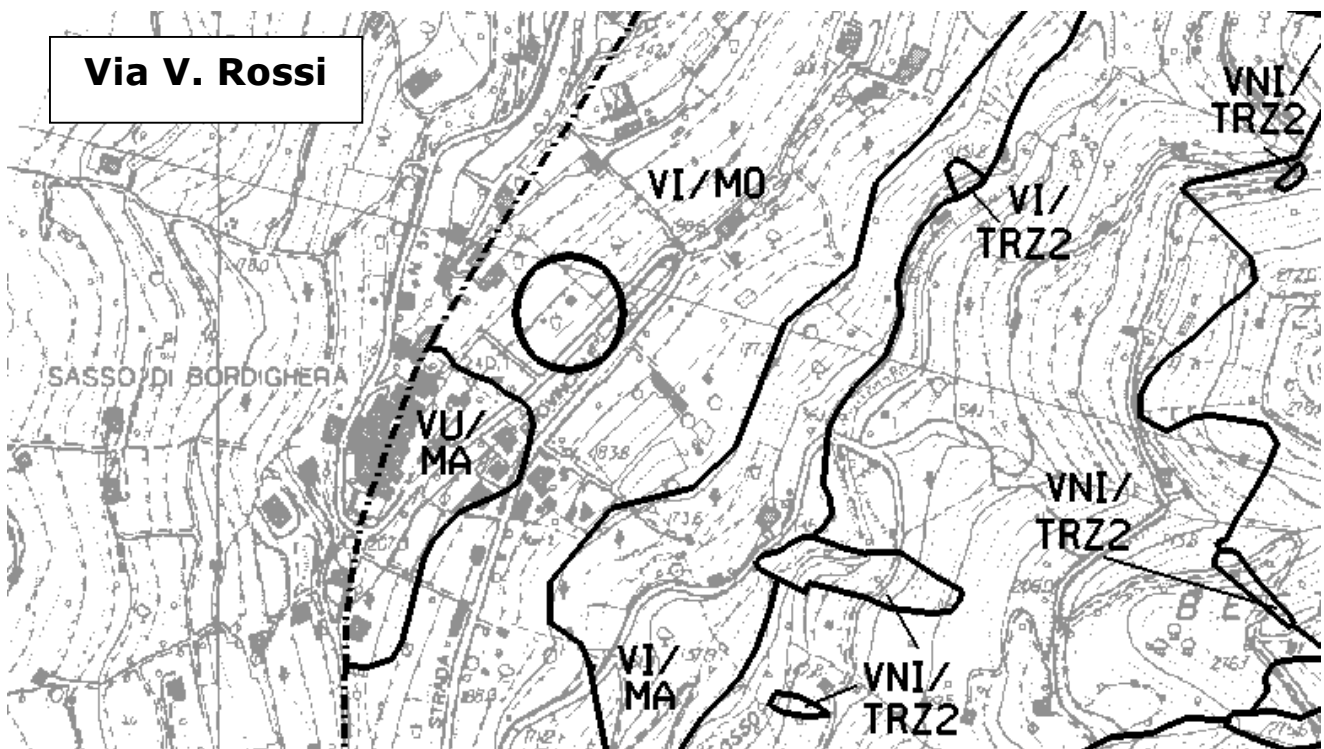
$$\varphi_i = \arctan \left(\frac{\delta \tau}{\delta \sigma_n} \right);$$

$$c_i = \tau - \sigma_n \tan \varphi_i.$$

3. RAPPORTI TRA ZONA PROGETTUALE e Piano di Bacino: Cenni

Per il **PIANO DI BACINO Carta della Pericolosità** le aree sono classificate come **PG1** ossia area a bassa pericolosità.

Per il **PIANO DI BACINO Carta della Normativa** l'area di progetto è classificata come **VI/MO** ossia:



VI -"versanti insediati": parti di territorio ove, con differenti gradi di copertura, sono presenti insediamenti, anche di tipo agricolo specializzato, e le relative infrastrutture;

Modificabilità (MO): si applica a quelle parti di territorio nelle quali i fattori naturali hanno raggiunto, mediamente, una condizione di equilibrio. con l'ambiente circostante. Sono consentiti interventi, anche di tipo insediativo, sull'attuale assetto del territorio, a condizione che siano osservate le specifiche prescrizioni indicate dal Piano;

Nell'area omogenea dei **versanti non insediati (VI)**, soggetta al regime normativo della modificabilità (**MO**), non sono compatibili con detto regime i seguenti interventi:

a) relativamente al suolo naturale:

- 1) gli sbancamenti, anche gradonati, lungo le pendici, non corredati da relazione descrittiva e relazione tecnica specialistica (geologica, geotecnica e/o geomeccanica) che attestino che non sussistono problematiche ambientali e che verifichino che la stabilità dei versanti non venga compromessa.

b) relativamente agli insediamenti:

- 1) le nuove edificazioni, gli interventi sul patrimonio edilizio esistente e sulle relative pertinenze, che comportino una impermeabilizzazione complessiva del suolo superiore al 25% dell'area disponibile (vedi glossario);
Non sono considerate impermeabili:
 - le superfici di manufatti interrati o seminterrati che hanno un riporto di almeno ottanta centimetri di terra idoneo ad accogliere una copertura vegetale arborea o arbustiva.
 - strade e piazzali realizzati con materiale drenante avente superficie permeabile pari o superiore al 25% e pendenza inferiore al 10%.
- 2) le serre con superficie coperta maggiore del 60% dell'area; per la parte di copertura eccedente si dovranno adottare sistemi di compensazione di cui all'art.10 comma 2 lett.e);

Sono escluse dal novero dei limiti di percentuale di impermeabilizzazione consentita le aree le cui acque sono convogliate direttamente a mare.

c) relativamente alla copertura vegetale:

- 1) l'introduzione di specie e di interventi selvi-colturali incompatibili con la strategia del PTCP regionale;
- 2) gli interventi che compromettono l'equilibrio vegetazionale;

d) relativamente alle risorse idriche:

nell'attesa della redazione dello stralcio relativo al bilancio delle risorse

idriche :

- 1) il rilascio di nuove concessioni di derivazione e di captazione d'acqua per usi irrigui ed igienici con una portata superiore ad 1 lt/sec;
- 2) l'apertura di nuovi pozzi, la derivazione di acque superficiali, la captazione di sorgenti, fatte salve quelle per uso potabile, qualunque sia la portata, in presenza di acquedotto pubblico o privato posto a distanza inferiore a 1Km.

e) relativamente alla rete idrografica:

e.1. lungo i corsi d'acqua :

- 1) tutte opere, da realizzare ad una distanza (riferimento art.15) tale da interferire con lo smaltimento delle portate come definite dall' art.16

e.2. nell'alveo dei corsi d'acqua:

- 1) le opere di regimazione idraulica che restringono l'alveo o che aumentano la velocità di scorrimento, salvo che siano previste in un progetto complessivo di riassetto idrogeologico;

- 2) le opere che compromettono un costante equilibrio idraulico, idrogeologico di base, la filtratura, l'autodepurazione dei carichi inquinanti, la ricarica e la protezione delle falde sotterranee;
- 3) i guadi con strutture emergenti dall'alveo, che modificano le condizioni del regime idraulico.
- 4) le plateazioni, deviazioni, rettificazioni, salvo che siano rese necessarie da motivate esigenze idrauliche;

le tombinature, tranne quelle finalizzate alla tutela della pubblica e privata incolumità, certificata dal Sindaco, alla tutela igienico-sanitaria, attestata dall'ASL nonché quelle rese necessarie, stante la mancanza di soluzioni tecniche alternative attuabili, previo parere del Comitato Tecnico Provinciale.

Nella Carta del Reticolo Idrografico Regionale le aree di intervento sono classificate in un Bacino di primo livello (Via V. Rossi) (**Reg. Reg. N. 3 del 14/07/2011**) in quanto la superficie dello stesso è superiore a **1,0kmq**, pertanto le distanze minime dal corso d'acqua devono essere superiori ai 10 metri all'esterno dei centri abitati.

Nel caso specifico le distanze dal corso d'acqua più vicino sono > 180,0 metri (tratto blu).



4. ASPETTI SISMICI: D.M. 14 gennaio 2008

Secondo quanto previsto dal **D.M 14/01/2008** vengono identificate 5 classi, A, B, C, D e E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30}, compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento ($V_{s30} > 800$ m/s).

Per V_{s30} s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Analogamente per N_{spt30} e c_{u30} :

$$N_{spt,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{N_{spt,i}}}$$

$$c_{u30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{c_{ui}}}$$

Nel caso non siano disponibili le misure di V_s per i primi 30 metri e i terreni siano costituiti da alternanze di terreni a grana grossa e fina, si procede calcolando le classi

corrispondenti per $N_{spt,30}$ e cu_{30} , assumendo quindi la classe peggiore fra le due calcolate.

In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E.

Alle cinque categorie descritte se ne aggiungono altre due per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare.

Classe	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (o $10 < cu_{30} < 20$), 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 argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria non rientrante nelle classi precedenti.

4.1 Spettro di risposta elastico secondo il D.M. 14/01/ 2008

Nel D.M. 14 gennaio 2008 viene proposto uno spettro di risposta elastico dell'accelerazione, per la componente orizzontale del moto, caratterizzato dal seguente andamento:

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \left[\frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta F_0} \left(1 - \frac{T}{T_b} \right) \right] \text{ per } 0 \leq T < T_b$$

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \text{ per } T_b \leq T < T_c$$

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_c}{T} \right) \text{ per } T_c \leq T < T_d$$

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_c T_d}{T^2} \right) \text{ per } T_d \leq T.$$

La grandezza a_g esprime l'accelerazione di picco nel bedrock in g, ricavabile dalle tabelle allegate al D.M. 14 gennaio 2008.

Il parametro η è il fattore di correzione per lo smorzamento viscoso ed è dato da:

$$\eta = \left[\frac{10}{5 + \xi} \right]^{0.5} \geq 0.55.$$

S è una grandezza data dal prodotto:

$$S = S_s S_t$$

dove S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_t il coefficiente di amplificazione topografico, ricavabili dalle tabelle che seguono.

Categoria sottosuolo	S_s
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40F_0a_g \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60F_0a_g \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50F_0a_g \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10F_0a_g \leq 1,60$

Le classi A, B, C, D e E si riferiscono alla classificazione del sito da un punto di vista stratigrafico e litologico secondo il D.M. 14 gennaio 2008.

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera	S_t
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.	-	1,00
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.	Sommità del pendio	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,20
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,40

F_0 è l'amplificazione spettrale massima, su bedrock orizzontale, e ha un valore minimo di 2,2; si ricava, come a_g , dalla tabella allegata al D.M. 14 gennaio 2008.

T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_c = C_c T_c^*$ in cui T_c^* è un parametro fornito nell'allegato del D.M. 14 gennaio 2008, mentre C_c si ottiene, in funzione della categoria del sottosuolo, con la seguente tabella:

Categoria sottosuolo	S_s
A	1,00
B	$1,10(T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,05(T_c^*)^{-0,33}$
D	$1,25(T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,15(T_c^*)^{-0,40}$

I parametri T_b e T_d sono correlati a T_c attraverso le seguenti relazioni:

$$T_b = \frac{T_c}{3}; \quad T_d = 4,0a_g + 1,6$$

Dallo spettro di risposta elastico dell'accelerazione si ricava lo spettro di risposta dello spostamento, applicando, per ogni periodo T , la relazione:

$$u = a(g)g\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

dove g è l'accelerazione di gravità (981 cm/s^2).

Lo spettro di risposta elastico verticale si ottiene con le stesse relazioni viste per quello orizzontale, sostituendo il parametro F_0 con la grandezza F_v , data da:

- $F_v = 1,35 F_0 a_g^{0,5}$.

DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI T_R ; P_{VR}

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

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

CLASSI D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale N_V per il coefficiente d'uso C_U : $V_R = N_V \times C_U$
 Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. seguente.

Valori del coefficiente d'uso C_U

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

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tabella:

Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Le forme spettrali previste dalle **NTC** sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- 1. la vita di riferimento V_R della costruzione,**
- 2. le probabilità di superamento nella vita di riferimento V_{RP} associate a ciascuno degli stati limite**

considerati, per individuare infine, a partire dai dati di *pericolosità sismica* disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Tale operazione deve essere possibile per tutte le vite di riferimento e tutti gli stati limite considerati dalle **NTC**; a tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e V_{RP} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

DATI SISMICI DI PROGETTO

Tipo di elaborazione: opere di sostegno

Sito in esame Coordinate ED50

latitudine: 43,806559
longitudine: 7,673454
Classe: 1
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 19341	Lat: 43,7909	Lon: 7,6692	Distanza: 1779,799
Sito 2 ID: 19342	Lat: 43,7943	Lon: 7,7383	Distanza: 5380,679
Sito 3 ID: 19120	Lat: 43,8441	Lon: 7,7336	Distanza: 6381,423
Sito 4 ID: 19119	Lat: 43,8407	Lon: 7,6645	Distanza: 3867,066

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 35anni
Coefficiente cu: 0,7

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,026 g
Fo: 2,542
Tc*: 0,190 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 35 [anni]
ag: 0,029 g
Fo: 2,565
Tc*: 0,194 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 332 [anni]
ag: 0,117 g
Fo: 2,439
Tc*: 0,281 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 682 [anni]
ag: 0,162 g
Fo: 2,461
Tc*: 0,298 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,530
St: 1,200
Kh: 0,007
Kv: 0,003
Amax: 0,368
Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,530
St: 1,200

Kh: 0,008
 Kv: 0,004
 Amax: 0,411
 Beta: 0,180
 SLV:
 Ss: 1,200
 Cc: 1,420
 St: 1,200
 Kh: 0,041
 Kv: 0,020
 Amax: 1,659
 Beta: 0,240
 SLC:
 Ss: 1,200
 Cc: 1,400
 St: 1,200
 Kh: 0,056
 Kv: 0,028
 Amax: 2,285
 Beta: 0,240

Rischio Liquefazione del terreno

Per verificare la predisposizione del terreno alla **Liquefazione** ho utilizzato il **metodo di Tokimatsu & Yoshimi che utilizza i valori SPT misurati in carotaggi geognostici** di terreni analoghi. Tale metodo viene qui di seguito sommariamente descritto, con i relativi risultati di calcolo. Falda assente.

Nel metodo di Tokimatsu & Yoshimi, inserito nella proposta di Normativa Sismica del G.N.D.T.(1984), la resistenza alla liquefazione assume la seguente espressione:

$$R = 0.26 \left[0.16 \sqrt{Na} + (0.21 \sqrt{Na})^{14} \right]$$

con:

$$Na = N_{spt} \left(\frac{1.7}{\sigma_v + 0.7} \right) + N_1$$

σ_v (kg/cmq) = pressione verticale efficace;
)

N_1 = 0 per una percentuale di fine $p_c < 5\%$, 10 $p_c + 4$ per $p_c \geq 5\%$

Viene considerato **non** liquefacibile un deposito in cui sia $F_s > 1.3$ (sabbie sciolte) o $F_s > 1.5$ (sabbie mediamente addensate).

Coefficiente di sicurezza locale $F_s > 3$

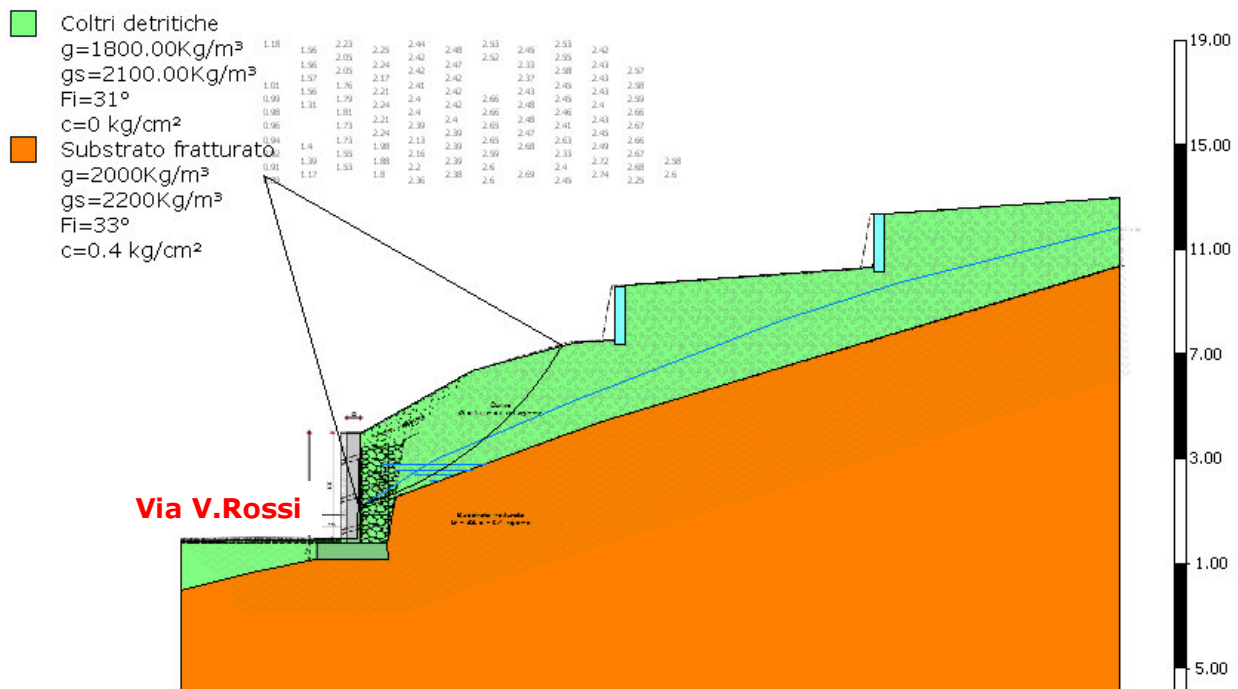
5. STABILITA' DEL VERSANTE

Le verifiche di stabilità del versante sono state effettuate sulla **sezione trasversale** del terreno.

STATO ATTUALE

Alle condizioni dello stato attuale in condizioni statiche si nota instabilità del terreno limitato ai livelli superficiali non sostenuti da strutture murarie. Coefficiente di sicurezza minimo **$F_s = 0,8899$ instabile** in condizioni statiche.

Si può notare come i calcoli determinino che la superficie di scivolamento critica intercetti il muro di sostegno a circa 1,5metri dalla base, così come è avvenuto nella realtà.



Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)

Lat./Long.	43.80557/7.672391
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3.18 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	13.8 m
Ascissa vertice destro superiore xs	31.1 m
Ordinata vertice destro superiore ys	19.05 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
 Classe d'uso: Classe I
 Vita nominale: 50.0 [anni]
 Vita di riferimento: 35.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.25	2.54	0.19
S.L.D.	35.0	0.28	2.57	0.19
S.L.V.	332.0	1.15	2.44	0.28
S.L.C.	682.0	1.59	2.46	0.3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Opere di sostegno

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.36	0.18	0.0066	0.0033
S.L.D.	0.4032	0.18	0.0074	0.0037
S.L.V.	1.656	0.24	0.0405	0.0203
S.L.C.	2.2896	0.24	0.056	0.028

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.01	-0.21
2	6.76	-0.07
3	6.86	3.96
4	11.12	6.36
5	15.02	7.43
6	16.63	7.53
7	17.04	9.6
8	26.49	10.31
9	26.89	12.33
10	35.94	12.99

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	6.9	1.21
2	9.73	2.97
3	15.2	5.26
4	23.15	8.32
5	27.36	9.7
6	35.96	11.8 2

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
---	----------	----------

1	0.01	-2.03
2	2.97	-1.31
3	5.15	-0.85
4	7.94	-0.84
5	7.91	-0.22
6	8.2	1.54
7	14.71	3.91
8	16.31	4.49
9	24.79	7.03
10	35.94	10.35

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25

Coesione efficace 1.25

Coesione non drenata 1.4

Riduzione parametri geotecnici terreno No

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	Litologia
1	0		31	1800.00	2100.00	Coltri detritiche
2	0.4	0	33	2000	2200	Substrato fratturato

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m ³)
1	26.94	10.14	0	0	2.2	0.4	0.4	2300
2	17	7.36	0	0	2.2	0.4	0.4	2300

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 0.89

Ascissa centro superficie 3.18 m

Ordinata centro superficie 13.8 m

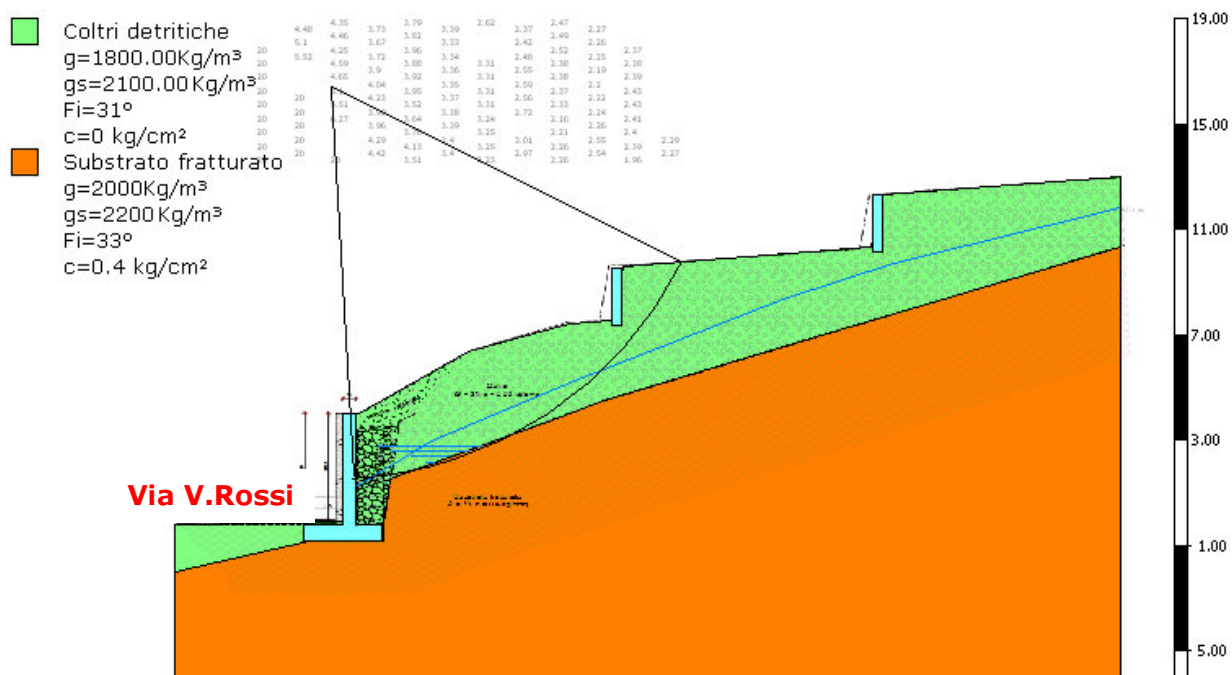
Raggio superficie 13.14 m

xc = 3.179 yc = 13.797 Rc = 13.144 Fs=0.89 INSTABILE

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.07	15.7	0.07	169.65	0.0	0.0	0.0	31.0	0.0	163.3	45.9
2	1.5	19.7	1.59	8069.73	0.0	0.0	0.0	31.0	351.37	244.3	2725.5
3	0.78	25.1	0.86	4518.92	0.0	0.0	0.0	31.0	403.33	689.3	1916.1
4	0.78	28.9	0.89	4597.48	0.0	0.0	0.0	31.0	487.53	536.7	2223.1
5	0.78	32.9	0.93	4537.01	0.0	0.0	0.0	31.0	418.03	391.5	2464.1
6	0.42	36.1	0.52	2365.3	0.0	0.0	0.0	31.0	149.11	763.0	1392.3
7	1.14	40.5	1.55	626.29	0.0	0.0	0.0	31.0	6.74	273.3	3651.9
8	0.78	46.2	1.13	2941.69	0.0	0.0	0.0	31.0	0.02	035.6	2123.6
9	0.78	51.4	1.25	1987.24	0.0	0.0	0.0	31.0	0.01	239.6	1553.3
10	0.78	57.3	1.45	758.87	0.0	0.0	0.0	31.0	0.0	410.0	638.6

STATO DI PROGETTO

I calcoli nelle condizioni di progetto confermano la stabilizzazione del versante. Con le opere previste in progetto il coefficiente di sicurezza minimo (linea nera) in condizioni dinamiche è pari a **$F_s = 5,103$: VERSANTE STABILE**. Nel calcolo della superficie di scivolamento si sono concentrati i calcoli su quelle più probabili, anche sulla base dei fenomeni dissestivi verificatisi in loco.



Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	43.80557/7.672391
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3.18 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	13.8 m
Ascissa vertice destro superiore xs	31.1 m
Ordinata vertice destro superiore ys	19.05 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50.0 [anni]

Vita di riferimento:

35.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:

B

Categoria topografica:

T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.25	2.54	0.19
S.L.D.	35.0	0.28	2.57	0.19
S.L.V.	332.0	1.15	2.44	0.28
S.L.C.	682.0	1.59	2.46	0.3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Opere di sostegno

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.36	0.18	0.0066	0.0033
S.L.D.	0.4032	0.18	0.0074	0.0037
S.L.V.	1.656	0.24	0.0405	0.0203
S.L.C.	2.2896	0.24	0.056	0.028

Coefficiente azione sismica orizzontale

0.0405

Coefficiente azione sismica verticale

0.0203

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.01	-0.21
2	6.76	-0.07
3	6.86	3.96
4	11.12	6.36
5	15.02	7.43
6	16.63	7.53
7	17.04	9.6
8	26.49	10.31
9	26.89	12.33
10	35.94	12.99

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	6.9	1.21
2	9.73	2.97
3	15.2	5.26
4	23.15	8.32
5	27.36	9.7
6	35.96	11.8 2

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.01	-2.03
2	2.97	-1.31
3	5.15	-0.85

4	7.94	-0.84
5	7.91	-0.22
6	8.2	1.54
7	14.71	3.91
8	16.31	4.49
9	24.79	7.03
10	35.94	10.35

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	Litologia
1	0		31	1800.00	2100.00	Coltri detritiche
2	0.4	0	33	2000	2200	Substrato fratturato

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m ³)
1	6.86	-0.21	1.5	1	4.2	0.5	0.5	2500
2	26.94	10.14	0	0	2.2	0.4	0.4	2300
3	6.86	-0.21	1.5	1	4.2	0.5	0.5	2500
4	17	7.36	0	0	2.2	0.4	0.4	2300

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1.96
Ascissa centro superficie	17.14 m
Ordinata centro superficie	13.8 m
Raggio superficie	15.72 m

xc = 5.971 yc = 16.422 Rc = 14.874 Fs=5.103 STABILE

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.06	3.2	0.06	124.31	5.03	2.52	0.0	25.7	0.0	123.8	12.7
2	2.44	8.2	2.46	13114.95	531.16	266.23	0.0	25.7	595.61	2463.9	1293.8
3	1.83	16.6	1.91	12688.53	513.89	257.58	0.32	27.5	1839.01	582.32	586.8
4	0.67	21.7	0.72	4863.28	196.96	98.72	0.32	27.5	733.54	69.1	1014.5
5	1.25	25.7	1.38	8715.43	352.98	176.92	0.32	27.5	1338.57	339.2	1955.1
6	1.25	31.2	1.46	7901.42	320.01	160.4	0.0	25.7	1151.67	427.5	892.0
7	0.73	35.7	0.94	74.62	165.02	82.71	0.0	25.7	502.94	096.6	518.5
8	1.62	41.6	2.16	6500.44	263.27	131.96	0.0	25.7	350.27	539.2	1036.3
9	0.4	46.9	0.59	3698.13	149.77	75.07	0.0	25.7	0.04	879.5	734.3
10	2.24	55.7	3.97	7211.96	292.08	146.4	0.0	25.7	0.01	1133.8	2032.6

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Le tabelle seguenti forniscono alcuni parametri geotecnici cautelativi da non superare nelle fasi di calcolo delle strutture.

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	Litologia
1	0		31	1800.00	2100.00	Coltri detritiche
2	0.4	0	33	2000	2200	Substrato fratturato

Classificazione del terreno (**DM 14-01-2008**): **Classe B.**

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Considerate le condizioni geologiche geomorfologiche e sismiche locali, unitamente alla tipologia ed alle caratteristiche tecniche delle opere progettate (struttura in c.a perfettamente drenata), ritengo che, nel rispetto dei parametri geotecnici e sismici, non vi siano problematiche geologiche evidenti tali da impedirne la positiva realizzazione ed esercizio.

Le opere così come progettate sono migliorative delle condizioni di stabilità locale e non sono in contrasto con le previsioni del vigente Piano di Bacino.

In terreni di scavo rispettano le condizioni di cui al comma 1 dell'art.41bis della Legge 9/8/2013. Le eccedenze non riutilizzate in loco, verranno trasportate a discarica autorizzata.

VALLECROSIA 2-07-2014

dott. geol. pierluigi torrieri

