



# PROVINCIA DI BENEVENTO

## SETTORE TECNICO

PERIZIA GEOLOGICA RELATIVA ALL'INTERVENTO DENOMINATO "LAVORI DI COMPLETAMENTO E RISANAMENTO DELLA S.P. DI PENETRAZIONE E COLLEGAMENTO S. GIORGIO LA MOLARA S.S. 90 BIS". II° LOTTO .

ELABORATO:

**REL03**

**Relazione geologica definitiva**

DATA: maggio 2017

SCALA: ///

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:  
ING. GIOVANNI MAIOLO

CONSULENZA GEOLOGICA:  
DOTT. GEOL. FRANCESCO PETROSINO

B					
A					
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

IL PRESENTE DOCUMENTO REDATTO PER LA REGIONE CAMPANIA NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO O COMUNICATO A TERZI SENZA PREVENTIVA AUTORIZZAZIONE SCRITTA.

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GENERALE E P.S.A.I. ADB NAZIONALE</b> .....	<b>4</b>
<b>3. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO</b> .....	<b>6</b>
3.1    Assetto geologico.....	6
3.2    Assetto geomorfologico e franosità dell' area.....	6
3.3    Assetto idrogeologico.....	10
<b>4. MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO</b> .....	<b>11</b>
4.1    Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento .....	11
4.2    Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno.....	12
4.3    Definizione della pericolosità sismica di base .....	14
4.4    Pericolosità sismica di Pietrelcina.....	18
4.5    Coefficienti sismici .....	19
4.6    Stabilità dei pendii e fondazioni .....	19
4.7    Muri di sostegno.....	20
4.8    Paratie.....	21
4.9    Condizioni sismiche di Pietrelcina .....	23
4.10   Mappa sismogenetica .....	23
4.11   Storia sismica di Pietrelcina.....	24
<b>4.12 Pericolosità sismica di base di Pietrelcina</b> .....	<b>26</b>
4.12.1 Punto d'indagine: Area-5 .....	29
4.12.2 Punto d'indagine: Area-6 .....	29
4.12.3 Punto d'indagine: Area-7 .....	30
4.12.4 Punto d'indagine: Area-8 .....	30
4.12.5 Punto d'indagine: Area-8 bis.....	31
4.12.6 Pericolosità sismica dell'Area 5 .....	32
4.12.7 Pericolosità sismica dell'Area 6 .....	35
4.12.8 Pericolosità sismica dell'Area 7 .....	38
4.12.9 Pericolosità sismica dell'Area 8 .....	41
4.12.10 Pericolosità sismica dell'Area 8 bis.....	44
<b>4.13 Considerazioni sulla pericolosità sismica dell'area</b> .....	<b>47</b>
<b>5. DESCRIZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE, DI LABORATORIO E SISMICHE EFFETTUATE</b>	<b>49</b>
<b>6. MODELLO GEOLOGICO E PARAMETRI GEOTECNICI</b> .....	<b>53</b>
<b>6.1 Area 5</b> .....	<b>54</b>
<b>6.2 Area 6</b> .....	<b>58</b>
<b>6.3 Area 7</b> .....	<b>62</b>
<b>6.4 Area 8</b> .....	<b>63</b>
<b>6.5 Area 8bis</b> .....	<b>67</b>
<b>7. MONITORAGGIO INCLINOMETRICO</b> .....	<b>72</b>
<b>8. IPOTESI DI OPERE DI SISTEMAZIONE, RISANAMENTO E RIDUZIONE DEL RISCHIO</b>	<b>74</b>
<b>9. CONCLUSIONI</b> .....	<b>79</b>

## 1. PREMESSA

Con determina del responsabile del Settore Tecnico – LL.PP. dell'Amministrazione Provinciale di Benevento n°383/06 del 22.07.16 e con oggetto "AFFIDAMENTO INCARICO PROFESSIONALE PER LA REDAZIONE DI PERIZIA GEOLOGICA RELATIVA ALL'INTERVENTO DENOMINATO "LAVORI DI COMPLETAMENTO E RISANAMENTO DELLA S.P. DI PENETRAZIONE E COLLEGAMENTO S. GIORGIO LA MOLARA S.S. 90 BIS". II° LOTTO." è stato affidato l'incarico allo scrivente di redigere la seguente Relazione Geologica preliminare e definitiva per la delineazione del modello geologico e sismico necessario alla progettazione strutturale per la messa in sicurezza delle aree dissestate e definite nella relazione tecnica a firma del RUP Ing. Maiolo – settore tecnico – Amm. Provinciale di Benevento.

Nella stesura della presente Relazione si è tenuto conto per la caratterizzazione dei terreni interessati dai movimenti franosi, delle risultanze del rilevamento geologico- geomorfologico di dettaglio e della campagna di indagini geognostiche e sismiche effettuata a partire dal 3 febbraio 2017 e terminata in data 31 marzo 2017, nonché dei risultati delle prove di laboratorio geotecnico sui campioni prelevati. La campagna di indagini geognostiche e sismiche è stata definita in relazione preliminare ed è stata implementata con variante al progetto delle indagini approvata con determina n°507 del 10.03.2017 , ed, a consuntivo, è consistita in:

- n°6 sondaggi a carotaggio continuo, dei quali 2 spinti a 30 metri, 2 spinti a 25 metri, 1 spinto a 20 metri ed 1 spinto a 15 metri dal p.c.;
- n°5 prove penetrometriche DPSH spinte fino a profondità di rifiuto;
- Installazione di n°1 piezometri a tubo aperto;
- Installazione di n°2 inclinometri;
- Prelievo di n°10 campioni indisturbati;
- n°10 analisi caratteristiche fisiche generali campioni indisturbati;
- n°7 prova di taglio diretto;
- n°5 prova di taglio residuo;
- n°6 indagine sismica a rifrazione in chiave tomografica;
- n°4 indagine sismica MASW;
- n°1 indagine sismica DOWN HOLE;

Inoltre sono state analizzate alcune indagini geognostiche allegate al nuovo PUC di Pietralcina redatto nel 2014 e ricadenti nell' area in esame. In allegato lo stralcio cartografico con l'individuazione delle indagini effettuate.

Le aree oggetto del presente studio definitivo sono relative a cinque zone distinte lungo la statale 90 bis di seguito ognuna con le proprie coordinate geografiche e già definite in allegato tecnico redatto dal RUP nel modo seguente:

- Area 5, dal km 11.670 al km 11.490;
- Area 6, dal km 11.610 al km 11.310;

- Area 7, dal km km 10.515 al 9.835 ed in corrispondenza del vallone Acquafredda;
- Area 8, dal km 9.695 al 9.665:
- Area 8 bis immediatamente prima dello svincolo per Pietralcina – UTM-WGS84 E489290, N4560121

Nello specifico le indagini effettuate nelle singole aree sono riportate nel seguente schema:

Prova	Area	Profondità (m dal p.c.)	Campioni indisturbati (m dal p.c.)	S.P.T.	Condizionamento
S1	6	20.00	S1C1 (3.00 - 3.50) S1C2 (6.50 - 7.00)	S.P.T. 1 (1.50 - 1.95) S.P.T. 2 (3.50 - 3.95) S.P.T. 3 (5.00 - 5.45) S.P.T. 4 (7.00 - 7.45) S.P.T. 5 (10.00 - 10.38) S.P.T. 6 (15.00 - 15.21)	Piezometro
S2	7	30.00	S2C1 (8.20 - 8.70)	S.P.T. 1 (2.00 - 2.45) S.P.T. 2 (4.50 - 4.95) S.P.T. 3 (7.70 - 8.10) S.P.T. 4 (10.00 - 10.45) S.P.T. 5 (24.00 - 24.24)	Down-Hole
S5	7	30.00	S5C1 (8.30 - 8.80) S5C2 (14.00 - 14.50)	S.P.T. 1 (3.00 - 3.45) S.P.T. 2 (6.00 - 6.45) S.P.T. 3 (8.80 - 8.95) S.P.T. 4 (18.00 - 18.45) S.P.T. 5 (22.00 - 22.05) S.P.T. 6 (25.00 - 25.05)	
S6	7	15.00		S.P.T. 1 (2.50 - 2.95) S.P.T. 2 (5.80 - 5.95) S.P.T. 3 (9.50 - 9.95) S.P.T. 4 (14.00 - 14.15)	
S3	8	25.00	S3C1 (3.00 - 3.50) S3C2 (6.50 - 7.00) S3C3 (14.50 - 15.00)	S.P.T. 1 (2.00 - 2.45) S.P.T. 2 (3.50 - 3.33) S.P.T. 3 (5.00 - 5.45) S.P.T. 4 (7.00 - 7.45) S.P.T. 5 (15.00 - 15.18)	Inclinometro
S4	8 bis	25.00	S4C1 (4.50 - 5.00) S4C2 (9.50 - 10.00)	S.P.T. 1 (2.30 - 2.75) S.P.T. 2 (5.00 - 5.45) S.P.T. 3 (7.50 - 7.95) S.P.T. 4 (10.00 - 10.45) S.P.T. 5 (12.50 - 12.93)	Inclinometro
DP3	5	9.00			
DP1	6	9.60			
DP2	6	12.60			
DP4	8 bis	11.40			
DP5	8 bis	10.40			

Schema riassuntivo delle prove geognostiche eseguite

Prova	Area	Lunghezza	Profondità
SR	5	72 m	
MW	5	72 m	
SR	6	72 m	
MW	6	72 m	
SR1	7	72 m	
SR2	7	72 m	
DH-S2	7		30 m
SR	8	48 m	
MW	8	48 m	
SR	8 bis	72 m	
MW	8 bis	72 m	

Schema riassuntivo delle prove geofisiche eseguite

## 2. INQUADRAMENTO GENERALE E P.S.A.I. ADB NAZIONALE

Le zone oggetto degli interventi di sistemazione e risanamento, sono ubicate lungo la SS 90 bis ricadente nel Comune di Pietralcina e confina a sud con il Comune di Paduli.

Il tratto in esame ha una lunghezza di circa 2 Km e si sviluppa ad una quota compresa fra i 200 m s.l.m. ed i 230 m s.l.m, in una zona pedemontana in destra idraulica del fiume Tammaro e ricade nel territorio di competenza Autorità di Bacino Nazionale Liri- Garigliano e Volturno.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico cartografa con vari gradi di pericolosità e rischio le zone in esame. Nello specifico delle zone interessate dal presente studio come mostrato in figura 1:

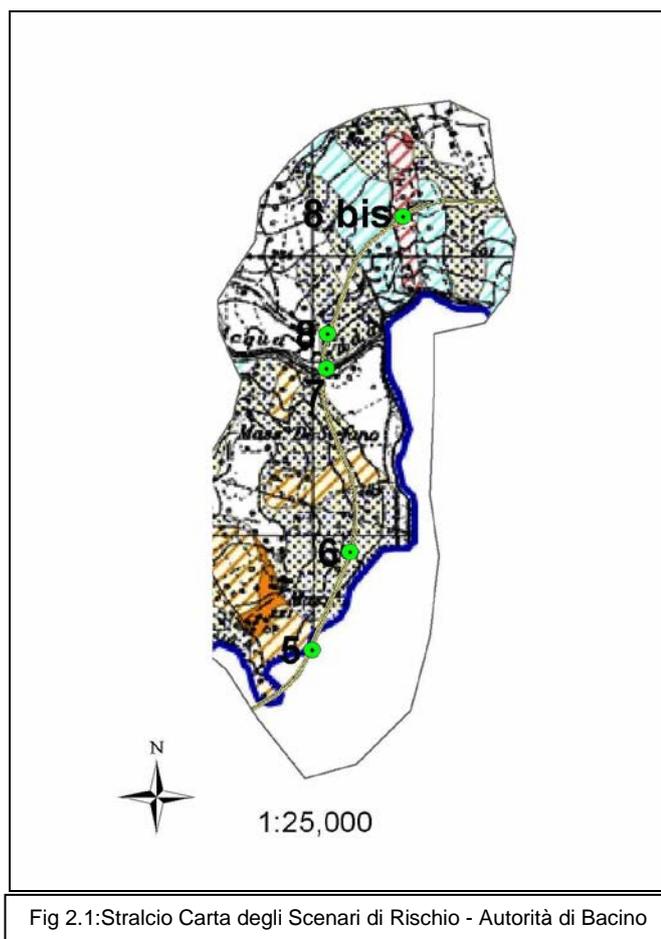


Fig 2.1:Stralcio Carta degli Scenari di Rischio - Autorità di Bacino

- L' Area 5 ricade in Area di medio - alta attenzione (A3) non urbanizzate che ricadano in una frana attiva a massima intensità attesa media o di una frana quiescente della medesima intensità in un'area classificata ad alto grado di sismicità;
- L'area 6, l'area 7 e l'area 8 ricadono in Area di attenzione potenzialmente alta (Apa) non urbanizzate e nelle quali il livello di attenzione, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi a scala di maggior dettaglio;
- L'area 8 bis ricade in Area di alta attenzione (A4) potenzialmente interessate da fenomeni di innesco, transito ed invasione di frana a massima intensità attesa alta ma non urbanizzate.

Per quanto concerne la compatibilità delle opere di sistemazione, proposte in tale studio, con il PSAI dell'Autorità di Bacino Nazionale, si deve premettere che gli interventi di progetto seguono le indicazioni contenute nelle Norme di Attuazione. Infatti il criterio alla base delle proposte progettuali di tali opere è stato quello di conseguire una mitigazione del rischio andando ad incidere sulla riduzione della pericolosità intervenendo direttamente sia sulle cause della franosità sia sulle frane esistenti. E specificamente:

- interventi di tipo attivo, quali opere di sostegno o di rinforzo;
- interventi di tipo passivo quali opere di intercettazione o di contenimento;
- drenaggi ed opere di raccolta, allontanamento e smaltimento delle acque di scorrimento superficiale e di infiltrazione nei corpi franosi;
- movimenti di terra (riprofilature di versante);
- interventi di ingegneria naturalistica e a basso impatto ambientale.

### **3. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO**

#### **3.1 Assetto geologico**

I siti in oggetto sono ubicati lungo i versanti in flysch che degradano dal rilievo di Pietralcina verso la piana alluvionale del fiume Tammaro. La maggior parte delle litologie di substrato affioranti sono successioni di tipo sedimentario di età complessivamente dal Cretaceo al Miocene Sup. depositate in ambiente pelagico nell'ambito del vasto bacino lagonegrese-molisano.

Il Rilevamento geologico di dettaglio effettuato nell'area di studio ha permesso di ricostruire la stratigrafia del substrato e nello specifico, come si evince dalla carta geologica di dettaglio, sono state rilevate una serie di depositi flyschiodi costituiti da sedimenti prevalentemente calcareo-pelitici ed argilloso – marnoso. Nello specifico affiorano le seguenti Unità :

- Argille siltose, grigie e giallastre con intercalazioni di marne argillose a frattura concoide, strati calcarenitici di colore biancastro, corrispondenti alla Formazione di Corleto Perticara nel foglio CARG 419 “ San. Giorgio la Molarà”
- Litofacies calcareo-pelitica costituita da calcari biancastri e marne di colore rossastro con intercalazioni di marne argillose ed argilliti rossastre e grigiastre a struttura scagliosa, corrispondente alla Formazione del Flysch Rosso nel foglio CARG 419 “ San. Giorgio la Molarà”

Tali depositi sono ascrivibili a quelli definiti invece nel foglio CARG 432 “Benevento” alla Formazione delle Argille Varicolori – membro di Monteaperto prevalentemente argilloso e membro di Pietralcina prevalentemente calcarenitico\torbiditico.

A copertura delle suddette litologie si ritrovano vari lembi di depositi continentali quaternari costituiti da depositi gravitativi di versante, depositi alluvionali, depositi eluvio\colluviali derivanti dall'alterazione chimico-fisico.

#### **3.2 Assetto geomorfologico e franosità dell' area**

Dal punto di vista morfologico il territorio è per lo più caratterizzato da rilievi collinari con alcune aree pedemontane che degradano verso la valle alluvionale del Tammaro. Il rilievo più elevato della zona è la Toppa Barrata a NO e che raggiunge quota 570 m s.l.m.

L'attuale assetto dell'area è stato notevolmente influenzato dalla tettonica. Durante il Quaternario gli eventi neotettonici hanno dislocato le formazioni meso – cenozoiche creando forti gradienti ed un'elevata energia del rilievo. Inoltre in seguito ai periodi gelo-disgelo occorsi durante tutto il Quaternario i rilievi emersi hanno subito intense fasi erosive che ne hanno modellato i versanti.

In generale si può affermare che i processi erosivi, sia lineari che areali hanno inciso profondamente i depositi terrigeni ivi presenti contribuendo a creare scarpate di morfoselezione, incisioni vallive e fenomeni franosi più o meno recenti.

L'analisi della franosità dell'area costituisce un contributo di conoscenza fondamentale per le anche in considerazione che le problematiche connesse alle instabilità di versante non attengono solo alle emergenze di tipo meteorologico, ma costituiscono un fenomeno secondario di possibili eventi sismici, come le riattivazioni di frane conseguenti a terremoti.

Lo studio sulla franosità della provincia di Benevento effettuato da Guadagno et al. e pubblicato nel 2006 ha evidenziato in relazione alla franosità storica della provincia di Benevento un complesso quadro di accadimenti in cui si alternano cause innescanti legate sia ai sismi sia ai fenomeni piovosi. Nello specifico si evidenzia che fenomeni piovosi con specifiche caratteristiche di intensità e durata (quale ad esempio quello verificatosi nel 2005 e nel 2015) possono attivare un gran numero di movimenti di massa ed anche le ricostruzioni sulla franosità sismo-indotta connessa ai terremoti del passato, come quello del 1980 o quello più remoto del 1688, evidenziano l'elevata e diffusa possibilità che si riattivino fenomeni di frana in ambienti argillosi.

Lo stesso studio di Guadagno et al. ha sottolineato le caratteristiche geologico tecniche delle rocce e le tipologie di frana più diffuse. La classificazione delle rocce quindi ha seguito i criteri del sistema GSI (Hoek et al, 1998), adattato alle successioni Flyschoidi, che permette una descrizione in funzione delle caratteristiche litologiche e strutturali delle formazioni.

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza del "Gruppo 2 - Successioni prevalentemente pelitiche ad elevato grado di tettonizzazione come mostrato in tabella:

	GRUPPI DI SUCCESIONI	FORMAZIONI	SUCCESSIONI LITOTECNICHE	STATO DI COMPETENZA	LITOTIPI PRINCIPALI E SECONDARI	ASSETTO	INDICI GSI RMR ESU
2	PREVALENTEMENTE PELITICHE AD ELEVATO GRADO DI TETTONIZZAZIONE	Flysch Rosso (Membro Argilloso-Marnoso) Argille Varicolori (Membro Argilloso)	Argilloso-marnose Argillose	Complesso. In prevalenza sciolto.	<b>Argille ed argille marnose,</b> marna, calcari marnosi, calcareniti e calcilutiti	Da moderatamente ad intensamente piegato, scagiosità delle argille	<b>15-31</b> <b>B3</b>

In questo gruppo di successioni rientrano quindi la formazione delle Argille Varicolori e\o Flysch Rosso ampiamente rilevate nell'area in esame e di interesse geomorfologico. La caratteristica peculiare di tali sequenze è l'elevato grado di tettonizzazione che si traduce in una struttura scagliosa della frazione argillosa e dalla elevata fratturazione degli interstrati calcarei \ marnosi. Questo favorisce quindi la infiltrazione dell' acqua di ruscellamento e meteorica dando luogo anche a fenomeni di rigonfiamento e rammollimento delle argille. In questo modo lungo i versanti si creano mantelli detritici con caratteristiche fisiche e meccaniche scadenti che favoriscono la formazioni di movimenti di versante per flussi plastico-viscosi.

Le situazioni di infiltrazione, quindi, che inducono le condizioni di pressione interstiziale necessarie all'innescano variano significativamente in funzione della storia delle precipitazioni e della loro durata e intensità. Piogge immediatamente antecedenti superiori a 60 mm combinate con una pioggia giornaliera superiore a 90 mm sembrano essere sufficienti a innescare una franosità diffusa. Ciò conferma la specifica fragilità del territorio e, in particolare del bacino del Tammaro, ove è

concentrata la gran parte dei fenomeni. Buona parte degli eventi può definirsi quale riattivazione di fenomeni pre esistenti (fig.3.2.1).

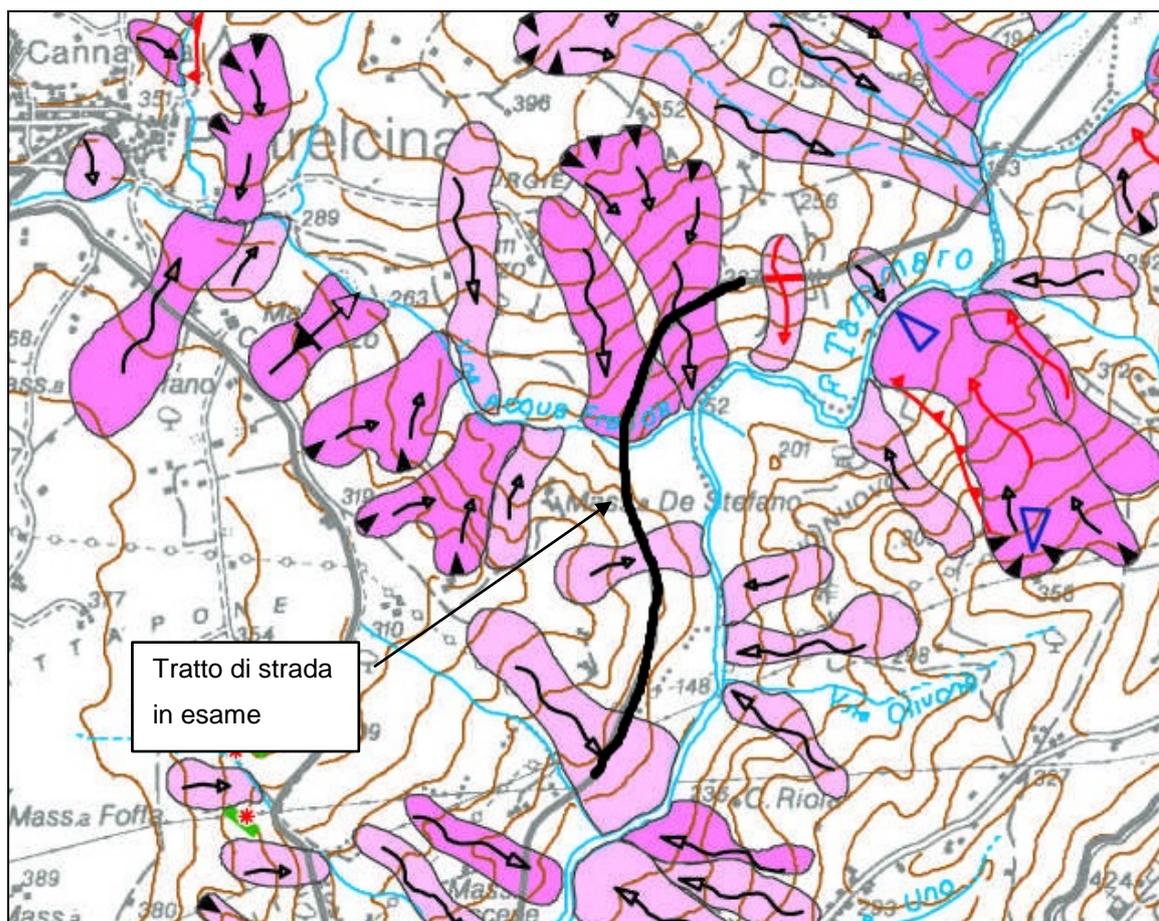


fig.3.2.1: Carta delle frane- stralcio da Guadagno et al, 2006

Come evidenziato nella “Carta degli Scenari di Rischio” (Cap. 2), allegata al PSAI dell’ Autorità di Bacino Nazionale Liri – Garigliano e Volturno, sono state cartografate numerose frane che interessano sia versanti aperti che incanalati. Le tipologie franose più diffuse sono colate lente e scorrimenti rotazionali.

L’evento dell’ ottobre 2015 ha registrato circa 137 mm in 4 ore, con una media di circa 45mm/h e le registrazioni storiche non riportano simili quantità di pioggia in un arco di tempo così ristretto.

Nell’area di studio le acque sono andate per la maggior parte tutte in deflusso superficiale dando corso ad erosione diffusa, riattivazione di movimenti franosi quiescenti nonché a nicchie e smottamenti di neoformazione lungo la strada SS 90 bis anche a causa di una mancanza quasi totale o errato drenaggio delle acque sub-superficiali. L’evento inoltre ha causato l’esonazione dell’ V.ne Acqua Fredda come si evince chiaramente dal confronto delle foto satellitari Google Earth ante e post evento (fig.3.2.2), che mette chiaramente in mostra come l’area di conoide era stata completamente obliterata dalla vegetazione e/o dalla coltivazione. Si evidenzia, quindi l’errata realizzazione del tratto di strada in rilevato che attraversa tale conoide dovuta con tutta probabilità ad una valutazione superficiale delle condizioni geomorfologiche ed idrauliche a contorno.



fig.3.2.2: vallone Acqua Fredda- confronto foto Google Earth 2014 e 2015

Il rilevamento geomorfologico di dettaglio effettuato ha delineato le forme di dissesto più diffuse (vedi allegati cartografici e fotografici). Sono state quindi cartografate, ad una scala di maggior dettaglio, le frane esistenti attive e quiescenti e le nicchie e smottamenti di neoformazione, oltre alle aree a ruscellamento ed erosione diffusa.

### 3.3 Assetto idrogeologico

Le caratteristiche idrogeologiche del territorio in esame sono fortemente controllate dalle dislocazioni tettoniche a carattere regionale che si sono succedute durante le varie fasi del sollevamento della catena appenninica. L'idrogeologia dell'area è caratterizzata dalla presenza di una serie valloni a carattere torrentizio e di impluvi in approfondimento che tagliano i rilievi di natura flyschoidi. Questa rete idrografica è di basso ordine con uno sviluppo quasi rettilineo. La circolazione idrica profonda interessa i litotipi flyschoidi che fanno parte dell'Unità Tettonica del Flysch Rosso o Argille Varicolori.

Nell'area di interesse si possono, quindi, distinguere tre principali complessi idrogeologici classificabili come "*Complesso calcareo e pelitico*" con permeabilità per porosità e fratturazione con un grado di permeabilità da medio a medio – alta, "*Complesso marnoso - argilloso - siltoso*" con una permeabilità per porosità e fratturazione con grado da medio a medio – basso e "*Complesso detritico - alluvionale*" con permeabilità per porosità con un grado di permeabilità medio – alta.

Ai fini della valutazione ed il monitoraggio della falda sub-superficiale è stato installato nella sondaggio S1 dell'area 6 un piezometro a tubo aperto fino alla profondità di 20 mt dal p.c. che ha evidenziato un livello di falda a 5.10 mt dal p.c.. Sono state effettuate anche misure del livello piezometrico negli altri fori di sondaggio, che hanno confermato la presenza di un livello di falda tra i 5 e gli 8 metri dal p.c., e che si approfondisce a 14.70 solo nel sondaggio S5 effettuato al centro del tratto di strada che attraversa il conoide del vallone Acquafredda. Lo schema delle misure è il seguente:

SONDAGGIO	PROFONDITA' LIVELLO DI FALDA
S1	5.10
S2	8.50
S3	7.50
S4	6.90
S5	14.70
S6	6.90

Tale livello di falda può avere oscillazioni stagionali che possono influire sullo stato di addensamento dei terreni, da cui ne consegue che le opere di sistemazione che dovranno essere previste e progettate tengano conto di tale situazione idrogeologica e che quindi considerino opere di drenaggio che agiscano sulle pressioni neutre ed evitino l'innalzamento della falda stessa.

#### 4. MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli stati limite, che possono verificarsi durante un determinato periodo di riferimento della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la vita nominale dell'opera, che congiuntamente alla classe d'uso, permette di determinare quel periodo di riferimento;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative probabilità di superamento, è possibile stabilire il periodo di ritorno associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la pericolosità sismica di base per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

##### 4.1 Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

Nelle NTC08 il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \times C_U \quad (2.1)$$

dove:

$V_R$  = *periodo di riferimento*

$V_N$  = *vita nominale*

$C_U$  = *coefficiente d'uso*

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , secondo le NTC08, è definita 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 e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

- $V_N \leq 10$  anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto  $\geq 2$  anni.
- $V_N \geq 50$  anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$  anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

Nel caso specifico  **$V_N = 50$  anni.**

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. Le NTC08 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.  $C_U = 0.7$ ;

**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.  $C_U = 1.0$ ;

**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.  $C_U = 1.5$ ;

**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, 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.  $C_U = 2.0$ ;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso  $C_U = 1$ .

Una volta ottenuti  $V_N$  e  $C_U$ , è possibile calcolare il periodo di riferimento  $V_R$ , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1 = 50 \text{ anni.}$$

## 4.2 Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno

Le NTC08 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o

parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le NTC08, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV (NTC08, punto 7.1). Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione (NTC08, punto 7.10).

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento*  $P_{VR}$  (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento  $V_R$ , si verifichi almeno un evento sismico

( $n \geq 1$ ) di  $a_g$  prefissata ( $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/T_R$  ( $T_R$  = periodo di ritorno).

Tabella 4.2.1 – Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento  $V_R$

Stati limite			$P_{VR}$
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	81%
	Stato limite di danno	SLD	63%
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	10%
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	5%

Fissati  $V_R$  e  $P_{VR}$  associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'**Allegato A** delle NTC08:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra  $P_{VR}$  (probabilità) e  $T_R$  (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è  $V_R = 50$  anni, il tempo di ritorno  $T_R$  sarà:

Tabella 4.2.2 – Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento  $V_R$

Stati limite			$T_R$
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	<b>30</b>
	Stato limite di danno	SLD	<b>50</b>
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	<b>475</b>
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	<b>975</b>

### 4.3 Definizione della pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC08, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC08 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC08 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno  $T_R$  (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima;

$F_0$  = 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.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

$a_g$ , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

$F_0$  e  $T_c^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (figura 4.2), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

ID	LON	LAT	$T_R = 30$			$T_R = 50$			$T_R = 72$			$T_R = 101$		
			$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Figura 4.3.1 – Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno  $T_R$  corrispondente alla  $V_R$  e  $P_{V_R}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (figura 3), a partire dai dati

relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g, F_0, T_C^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato, mentre  $p_1, 2$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno  $T_{R1, 2}$ .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g, F_0, T_C^*$ ) corrispondente al punto considerato,  $p_i$  è il valore di tale parametro nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della suddetta maglia.

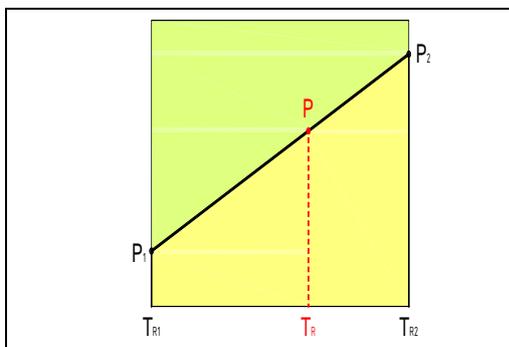


Figura 4.3.2 – Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella figura 4.4

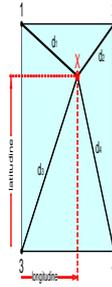


Figura 4.3.3 – Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove  $R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $\text{lat}\alpha$ ,  $\text{lon}\alpha$ ,  $\text{lat}\beta$  e  $\text{lon}\beta$  sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di  $\pm 0,01g$  ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

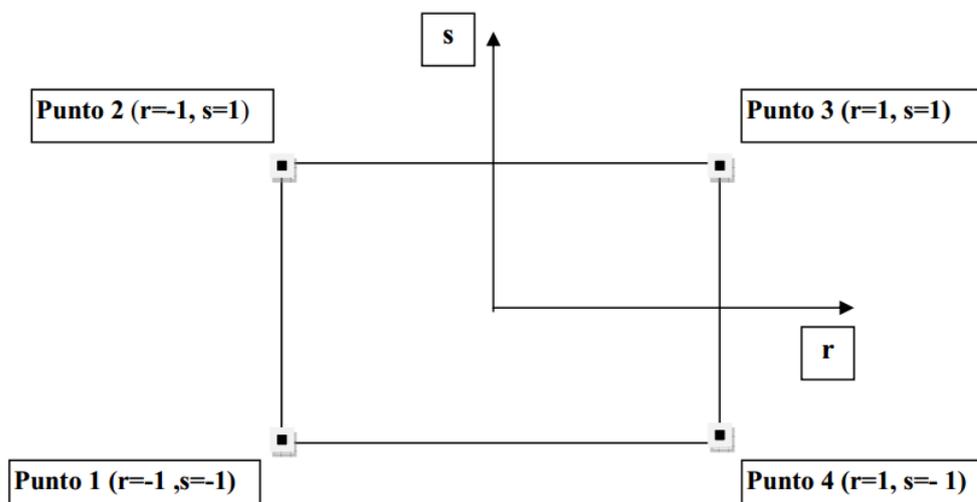


Figura 4.3.4 – Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1 - r)(1 - s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1 - r)(1 + s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1 + r)(1 + s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1 + r)(1 - s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate  $x, y$  di un punto generico e le coordinate  $r, s$  dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i x_i = [(1 - r)(1 - s)x_1 + (1 - r)(1 + s)x_2 + (1 + r)(1 + s)x_3 + (1 + r)(1 - s)x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i y_i = [(1 - r)(1 - s)y_1 + (1 - r)(1 + s)y_2 + (1 + r)(1 + s)y_3 + (1 + r)(1 - s)y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di  $r$  ed  $s$ , si determinano i parametri  $a_g, F_0, T_C^*$  dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i p_i = [(1 - r)(1 - s)p_1 + (1 - r)(1 + s)p_2 + (1 + r)(1 + s)p_3 + (1 + r)(1 - s)p_4] \quad (4.10)$$

Dove  $p$  rappresenta il parametro cercato.

#### 4.4 Pericolosità sismica di Pietrelcina

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la

singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A ).

#### 4.5 Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale  $K_H$  e verticale  $K_V$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno ( $T_R$ ) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $PVR$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  non può essere inferiore a 35 anni.

#### 4.6 Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $K_H$  e  $K_V$  sono così determinati:

$$K_H = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_V = \pm 0,5 \times K_H$$

Con

**$\beta_s$**  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

**$a_{max}$**  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

**$g$**  accelerazione di gravità.

I valori di  **$\beta_s$**  sono riportati nella tabella 4.6.1.

Tabella 4.6.1 – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ) è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

$$\mathbf{T1: S_T = 1.0; T2: S_T = 1.20; T3: S_T = 1.2; T4: S_T = 1.40.}$$

#### 4.7 Muri di sostegno

Per i muri di sostegno pendii i coefficienti  $K_h$  e  $K_v$  sono così determinati:

$$K_h = \beta_m \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_h$$

Con:

$\beta_m$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati nella Tabella 4.7.1.

Tabella 4.7.1 - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_m$	$\beta_m$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,31	0,31
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,29	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,18

$a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;  $g$  accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S S_T a_g$$

$S$  è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica  $S_S$  e di amplificazione topografica  $S_T$ .

$a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

#### 4.8 Paratie

In mancanza di studi specifici,  $a_h$  (accelerazione orizzontale) può essere legata all'accelerazione di picco  $a_{max}$  attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera. Può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva  $H$  della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma in Figura 4.8.1:

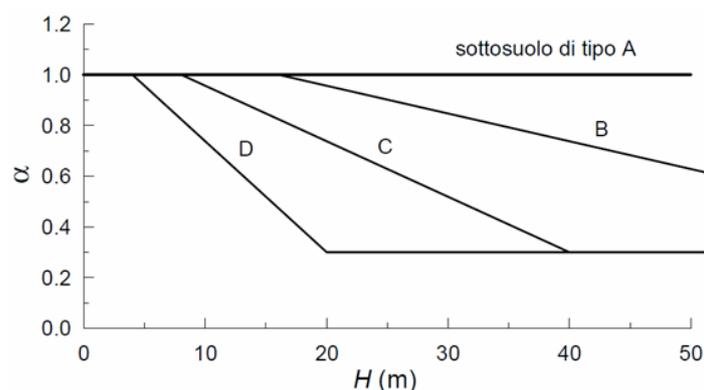


Figura 4.8.1 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$ .

Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi  $\alpha = 1$ .

$\beta \leq 1$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza. Il valore del coefficiente  $\beta$  può essere ricavato dal diagramma riportato in Figura 4.8.2, in funzione del massimo spostamento  $u_s$  che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per  $u_s = 0$  si ha  $\beta = 1$ ;  $u_s \leq 0.00H$

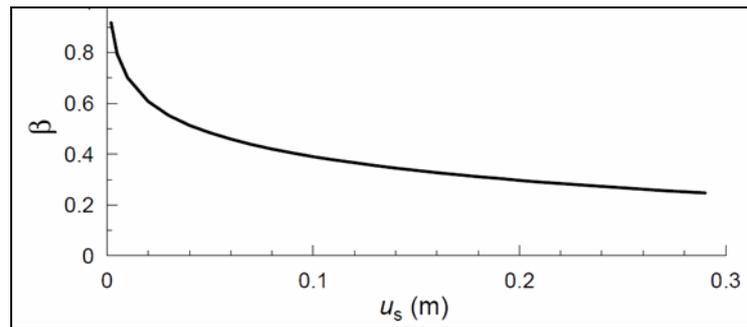


Figura 4.8.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$ .

L'accelerazione di picco  $a_{max}$  è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

**S** è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al § 3.2.3.2;

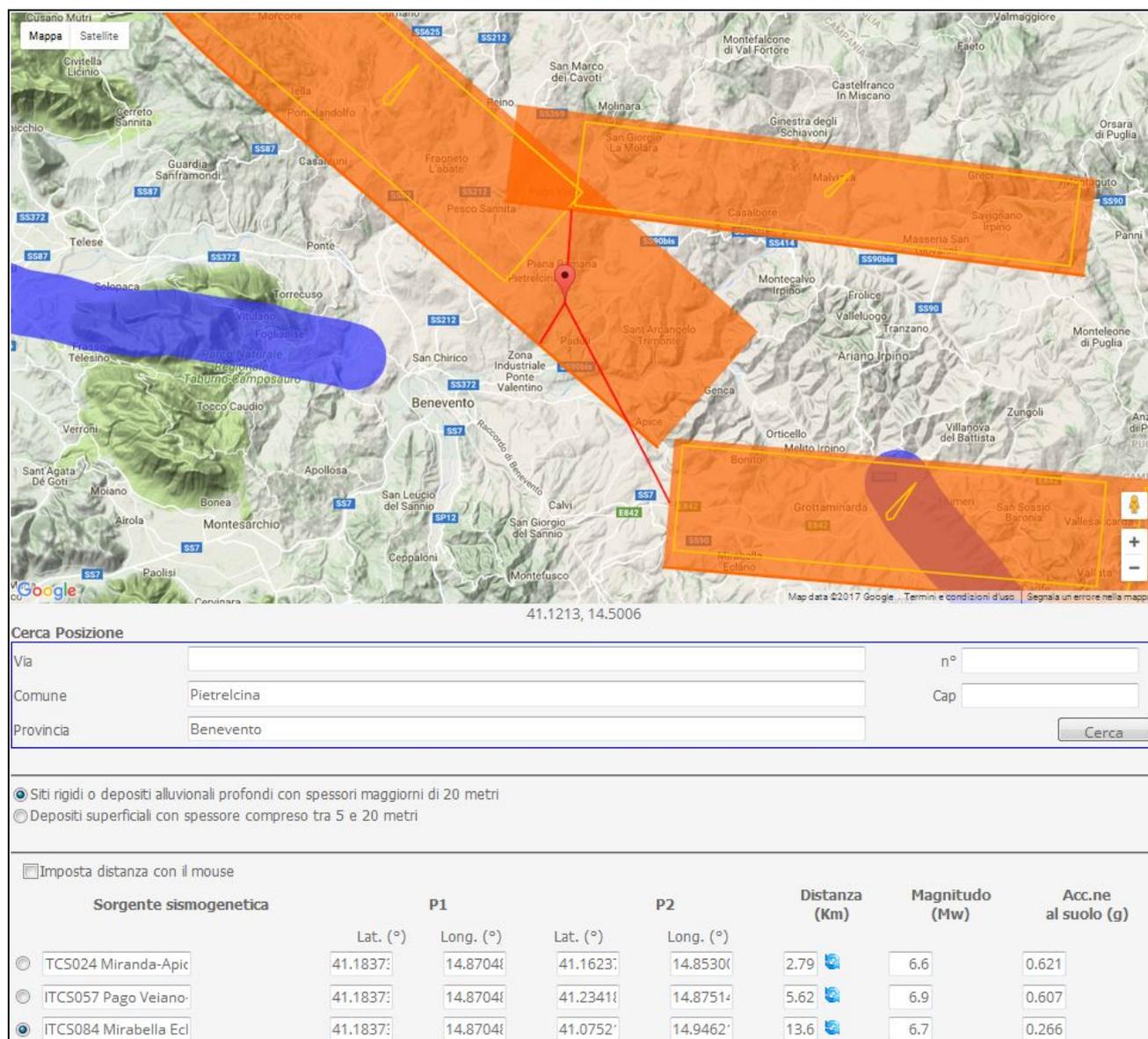
**$a_g$**  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Se  $\alpha \times \beta \leq 0,2$  deve assumersi  $k_h = 0,2 \times a_{max}/g$ .

## 4.9 Condizioni sismiche di Pietrelcina

### 4.10 Mappa sismogenetica

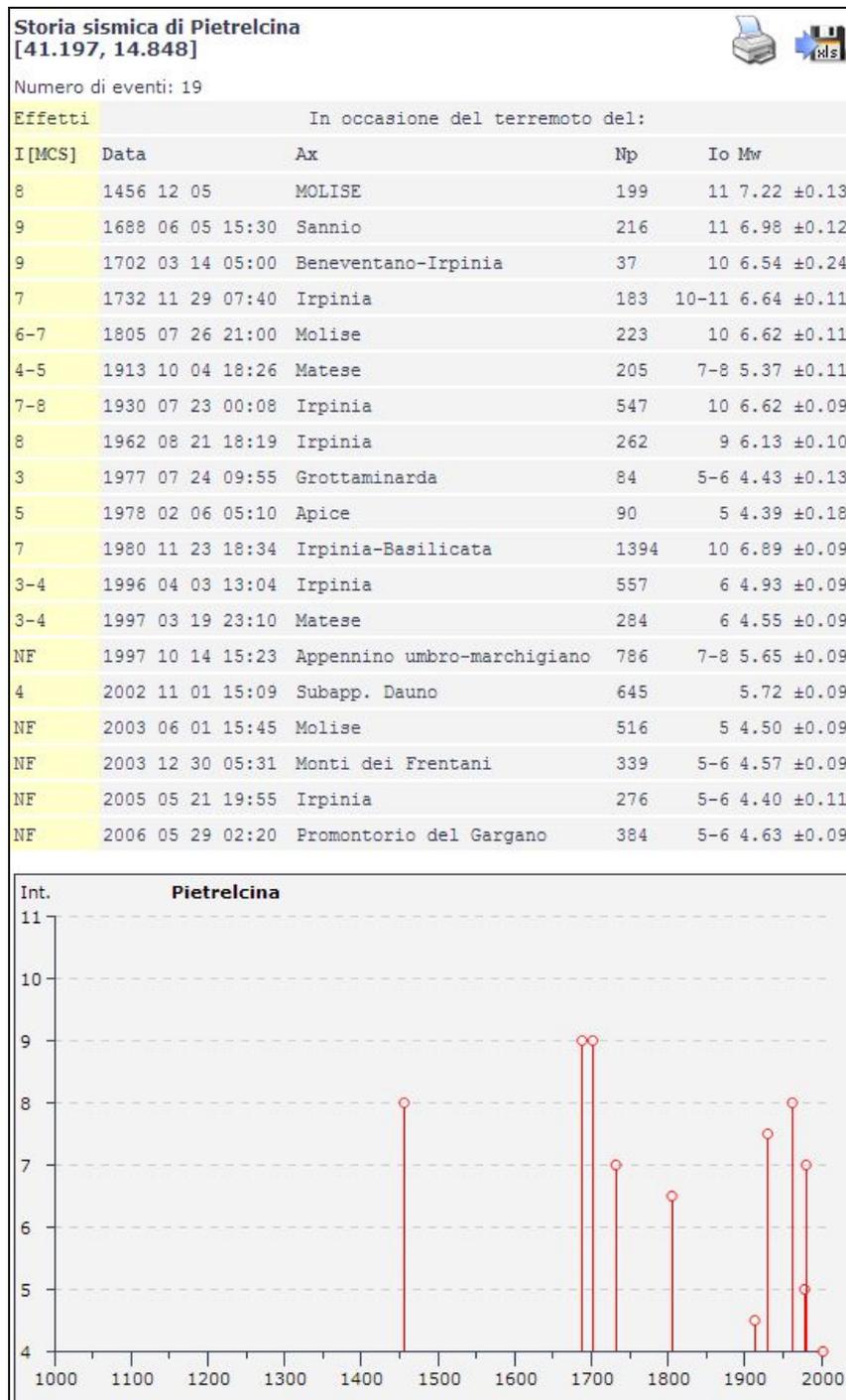
Nella figura mostrata di seguito è indicata la posizione del Comune di Pietrelcina rispetto alle principali sorgenti sismogenetiche. In particolare viene riportata la magnitudo  $M_w$  di tre di queste e la loro rispettiva distanza minima rispetto alle coordinate (Lon.:  $14.870583^\circ$  - Lat.:  $41.183142^\circ$ ) del punto rappresentativo dell'intero tratto stradale in oggetto e per ognuna di queste è riportata altresì l'accelerazione sismica di base attesa su suolo di tipo rigido.



Ubicazione del comune di Pietrelcina e del tratto stradale in oggetto rispetto alle principali zone sismogenetiche.

#### 4.11 Storia sismica di Pietrelcina

Per completare il quadro della sismicità del Comune di Pietrelcina si riporta di seguito uno stralcio del Database Macrosismico Italiano<sup>1</sup> in cui risultano sono elencati tutti i terremoti di cui si hanno evidenze storiche e che hanno interessato specificamente il Comune di Pietrelcina.

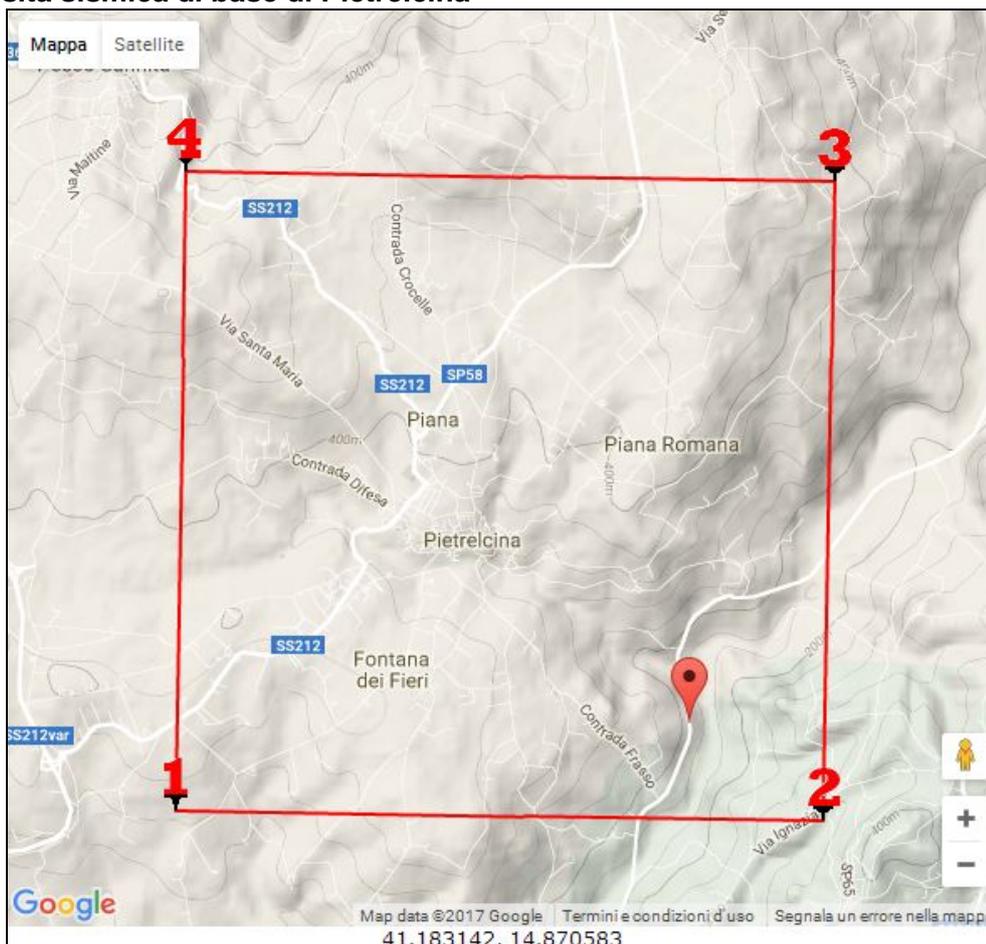


<sup>1</sup> M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>, DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11

I siti oggetto del presente studio per i quali viene determinata la pericolosità sismica ed i relativi parametri sismici sono in totale cinque, così come mostrato nella figura di seguito, con le corrispondenti coordinate geografiche nel sistema di riferimento UTM-WGS84-33N.



#### 4.12 Pericolosità sismica di base di Pietrelcina



Ubicazione del tratto stradale oggetto di studio, di circa due chilometri di lunghezza interessato dalle indagini eseguite, rispetto ai quattro nodi del reticolo sismico di riferimento di cui al D.M. 14/01/2008.

Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]  
Classe d'uso: II  
Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 1  
Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 50 [anni]  
Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLO: 30 [anni]  
Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLD: 50 [anni]  
Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLV: 475 [anni]  
Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLC: 975 [anni]  
Tipo di interpolazione: Media ponderata  
Coordinate geografiche del punto  
Latitudine (WGS84): 41,1831400 [°]  
Longitudine (WGS84): 14,8705800 [°]  
Latitudine (ED50): 41,1841300 [°]  
Longitudine (ED50): 14,8714400 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	31655	41,177270	14,818740	4476,10
2	31656	41,176480	14,885110	1425,30
3	31434	41,226460	14,886260	4867,60
4	31433	41,227260	14,819760	6457,27

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,062	2,402	0,280
SLD	50	0,084	2,347	0,296
SLV	475	0,266	2,291	0,375
SLC	975	0,366	2,300	0,394

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	31655	41,177270	14,818740	4476,10
2	31656	41,176480	14,885110	1425,30
3	31434	41,226460	14,886260	4867,60
4	31433	41,227260	14,819760	6457,27

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Nodo 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,063	2,402	0,279
SLD	50	0,084	2,351	0,295
	72	0,102	2,329	0,313
	101	0,122	2,324	0,323
	140	0,145	2,318	0,333
	201	0,174	2,311	0,343
SLV	475	0,266	2,298	0,372
SLC	975	0,365	2,311	0,390
	2475	0,505	2,442	0,432

#### Nodo 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,062	2,396	0,280

SLD	50	0,084	2,345	0,296
	72	0,102	2,328	0,317
	101	0,122	2,325	0,327
	140	0,145	2,320	0,337
	201	0,175	2,311	0,346
SLV	475	0,268	2,290	0,376
SLC	975	0,368	2,303	0,392
	2475	0,515	2,404	0,431

### Nodo 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,061	2,407	0,281
SLD	50	0,082	2,348	0,298
	72	0,099	2,348	0,322
	101	0,119	2,335	0,331
	140	0,141	2,331	0,340
	201	0,171	2,318	0,349
SLV	475	0,263	2,284	0,377
SLC	975	0,360	2,276	0,408
	2475	0,509	2,382	0,430

### Nodo 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,062	2,419	0,280
SLD	50	0,084	2,353	0,296
	72	0,101	2,337	0,316
	101	0,121	2,332	0,326
	140	0,144	2,326	0,336
	201	0,174	2,315	0,346
SLV	475	0,266	2,297	0,375
SLC	975	0,365	2,307	0,391
	2475	0,507	2,434	0,432

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}: 1,000$

**Categoria sottosuolo C:** Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

**Categoria topografica T1:** Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°.

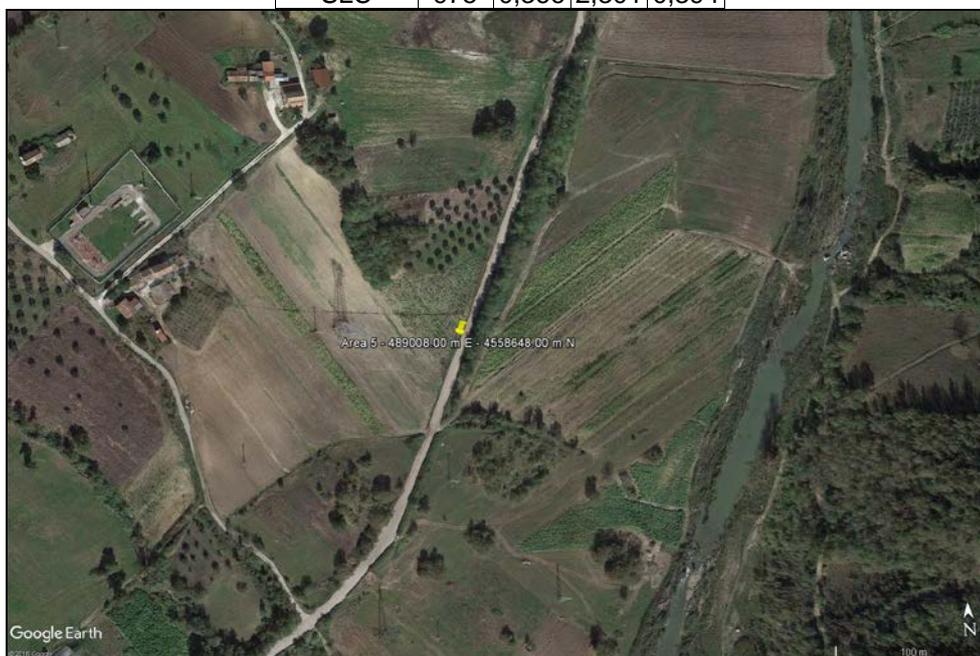
### Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,019	0,025	0,099	0,123
0,009	0,013	0,050	0,061	
amax [m/s²]	0,915	1,230	3,475	4,304
Beta	0,200	0,200	0,280	0,280

#### 4.12.1 Punto d'indagine: Area-5

Coordinate: 489008.00 m E - 4558648.00 m N

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,062	2,401	0,280
SLD	50	0,084	2,347	0,296
SLV	475	0,267	2,291	0,375
SLC	975	0,366	2,301	0,394

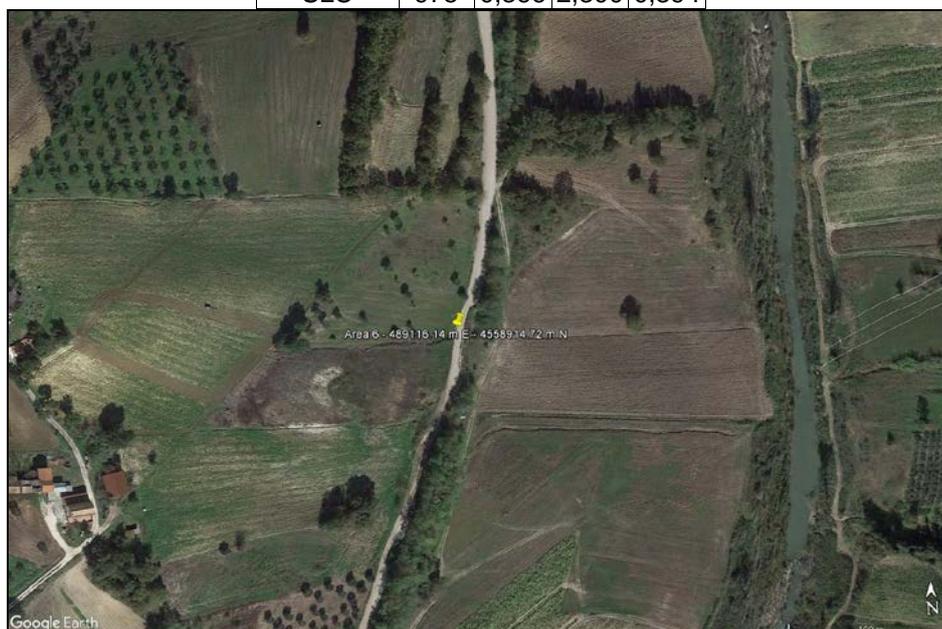


Area-5

#### 4.12.2 Punto d'indagine: Area-6

Coordinate: 489116.14 m E - 4558914.72 m N

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,062	2,401	0,280
SLD	50	0,084	2,347	0,296
SLV	475	0,266	2,291	0,375
SLC	975	0,366	2,300	0,394

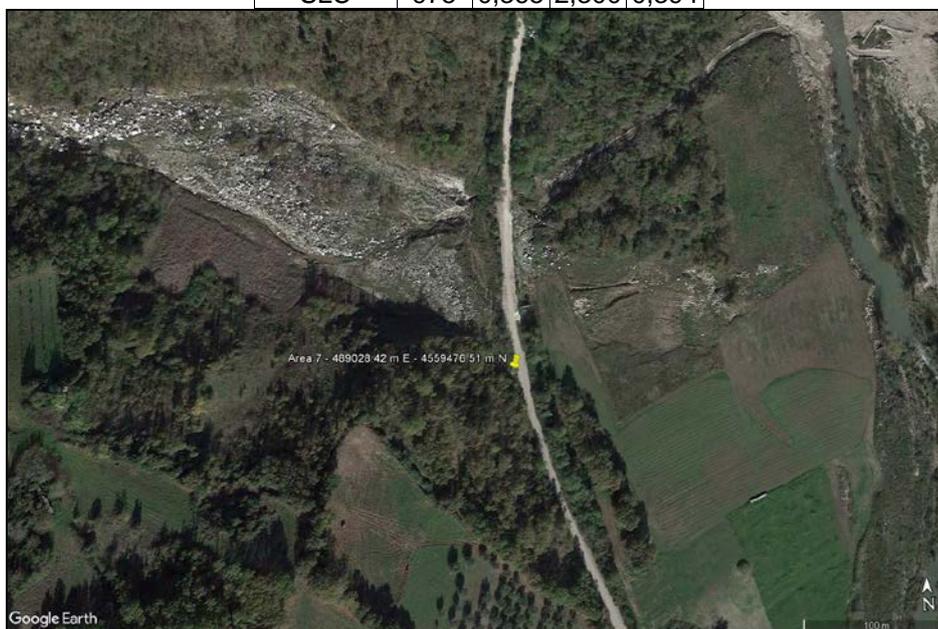


Area-6

#### 4.12.3 Punto d'indagine: Area-7

Coordinate: 489028.42 m E - 4559476.51 m N

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,062	2,403	0,280
SLD	50	0,084	2,347	0,296
SLV	475	0,266	2,291	0,375
SLC	975	0,365	2,300	0,394

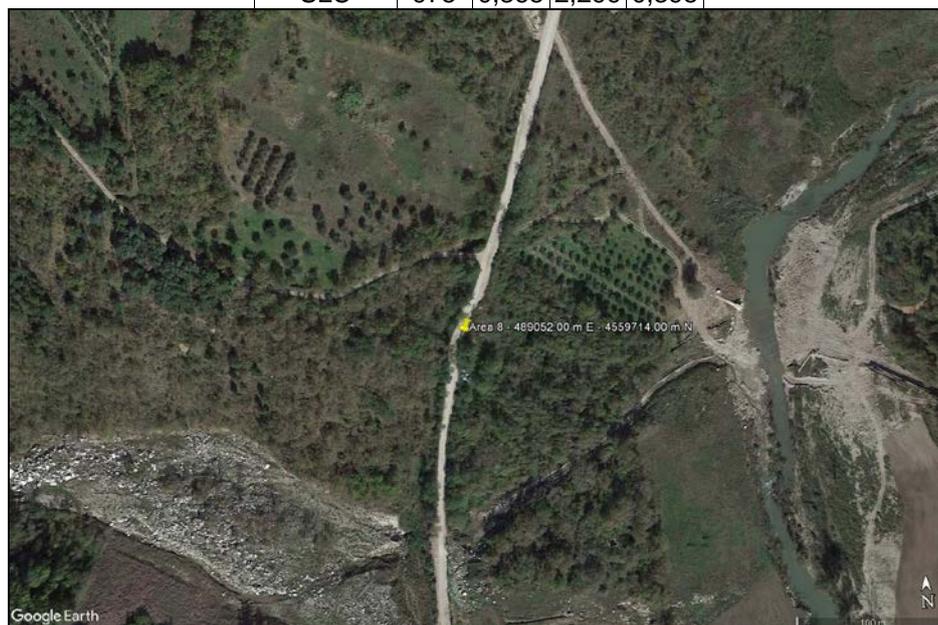


Area-7

#### 4.12.4 Punto d'indagine: Area-8

Coordinate: 489052.00 m E - 4559714.00 m N

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,062	2,403	0,280
SLD	50	0,084	2,348	0,296
SLV	475	0,266	2,291	0,375
SLC	975	0,365	2,299	0,395



Area-8

#### 4.12.5 Punto d'indagine: Area-8 bis

Coordinate: 489290.00 m E - 4560126.00 m N

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,062	2,403	0,280
SLD	50	0,083	2,348	0,296
SLV	475	0,266	2,291	0,375
SLC	975	0,365	2,299	0,395



Area-8 bis

#### 4.12.6 Pericolosità sismica dell'Area 5



Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2}$ : 1,000

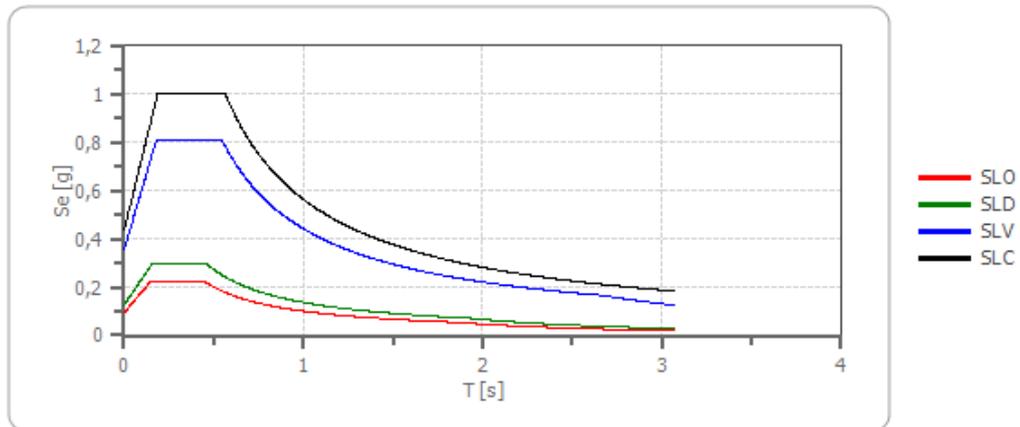
**Categoria sottosuolo C:** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa  $cu_{30}$  compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).*

**Categoria topografica T1:** Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°.

**Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni:**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,019	0,025	0,099	0,122
kv	0,009	0,013	0,050	0,061
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,916	1,230	3,476	4,270
Beta	0,200	0,200	0,280	0,280

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



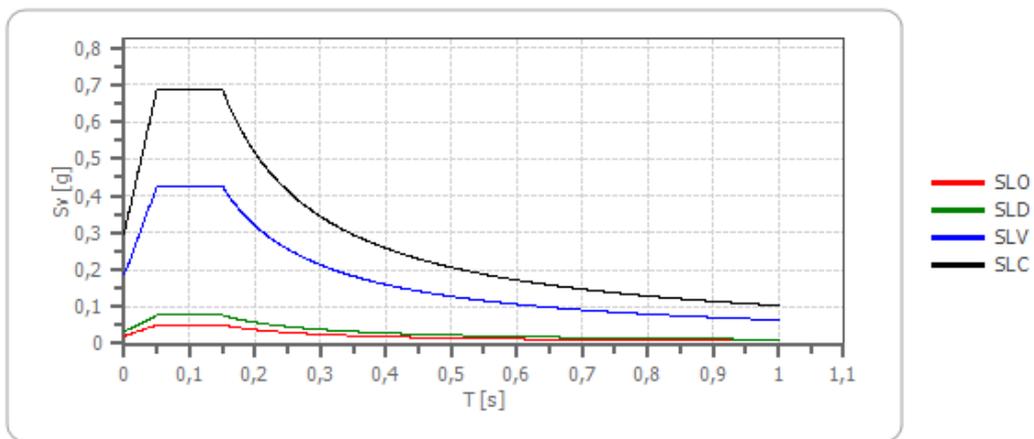
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,062	2,401	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,149	0,448	1,849	0,093	0,224
SLD	1,0	0,084	2,347	0,296	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,155	0,464	1,935	0,125	0,294
SLV	1,0	0,267	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,330	1,000	0,181	0,544	2,666	0,354	0,812
SLC	1,0	0,366	2,301	0,394	1,190	1,430	1,000	1,190	1,000	0,188	0,563	3,064	0,435	1,002

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2} : 1,000$

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,062	2,401	0,280	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,050
SLD	1,0	0,084	2,347	0,296	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,033	0,077
SLV	1,0	0,267	2,291	0,375	1	1,450	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,186	0,426
SLC	1,0	0,366	2,301	0,394	1	1,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,299	0,687

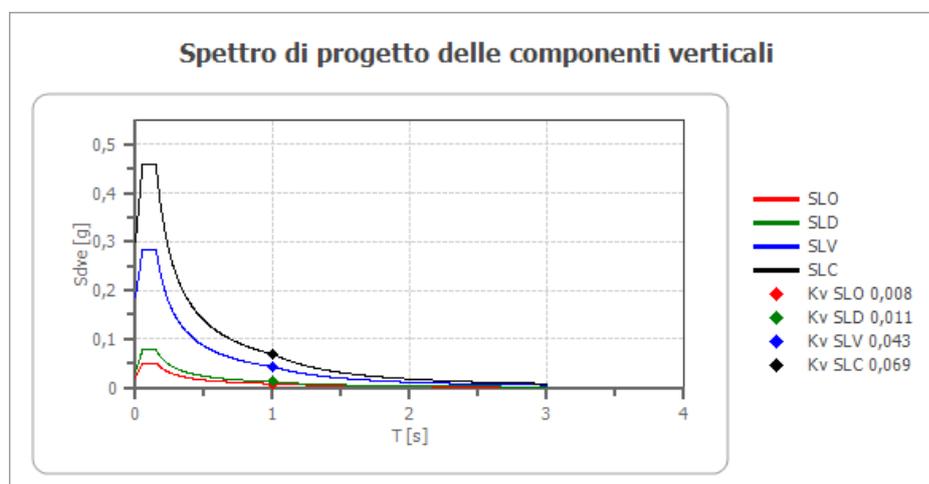
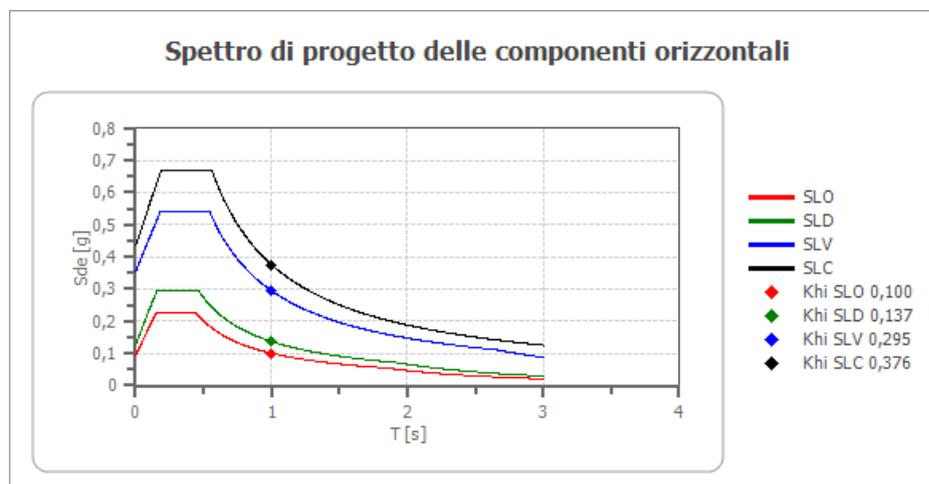
### Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50

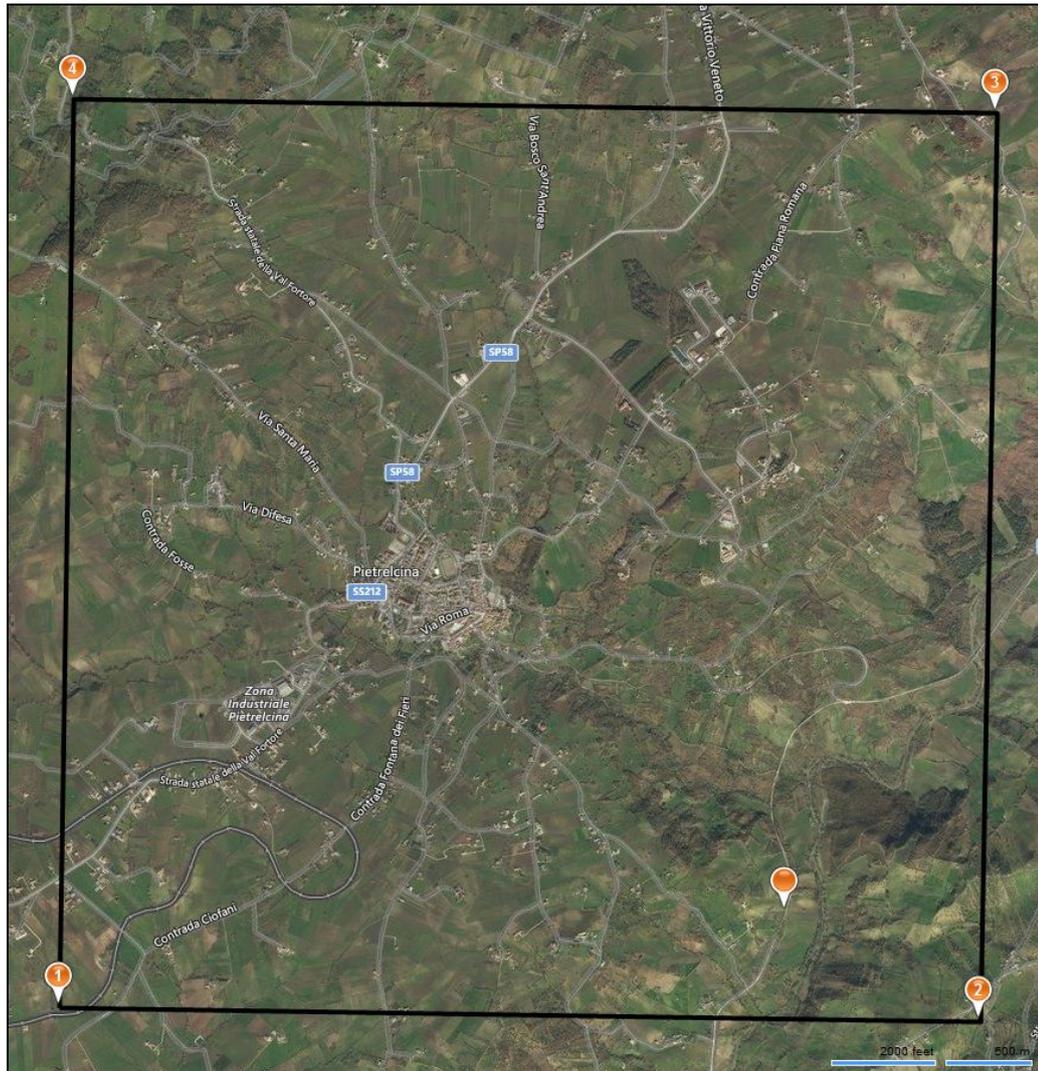
Periodo fondamentale T: 1,00[s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,100	0,137	0,295	0,376
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,008	0,011	0,043	0,069



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1,0	0,062	2,401	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,149	0,448	1,849	0,093	0,224
SLO verticale	1,0	0,062	2,401	0,280	1,500	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,050
SLD orizzontale	1,0	0,084	2,347	0,296	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,155	0,464	1,935	0,125	0,294
SLD verticale	1,0	0,084	2,347	0,296	1,500	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,033	0,077
SLV orizzontale	1,0	0,267	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,330	1,500	0,181	0,544	2,666	0,354	0,541
SLV verticale	1,0	0,267	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,186	0,284
SLC orizzontale	1,0	0,366	2,301	0,394	1,190	1,430	1,000	1,190	1,500	0,188	0,563	3,064	0,435	0,668
SLC verticale	1,0	0,366	2,301	0,394	1,190	1,430	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,299	0,458

#### 4.12.7 Pericolosità sismica dell'Area 6



Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

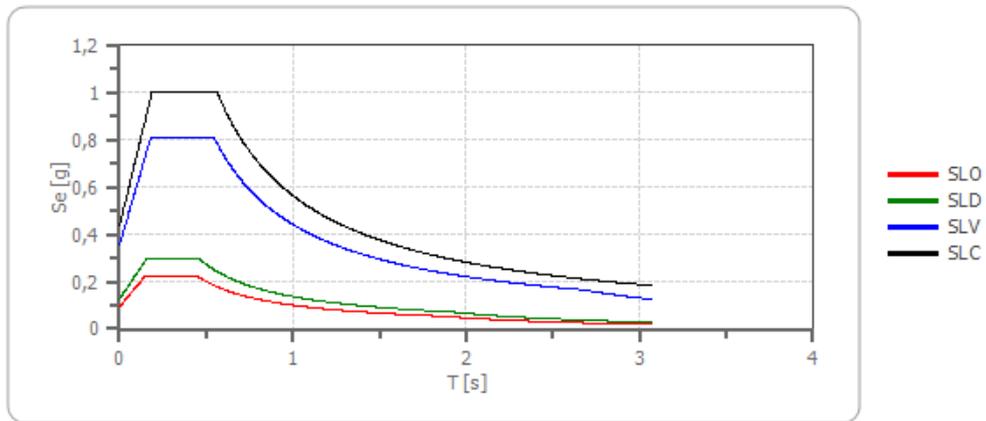
**Categoria sottosuolo C:** Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa  $cu_{30}$  compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

**Categoria topografica T1:** Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

#### Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,019	0,025	0,099	0,122
kv	0,009	0,013	0,050	0,061
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,916	1,230	3,476	4,269
Beta	0,200	0,200	0,280	0,280

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



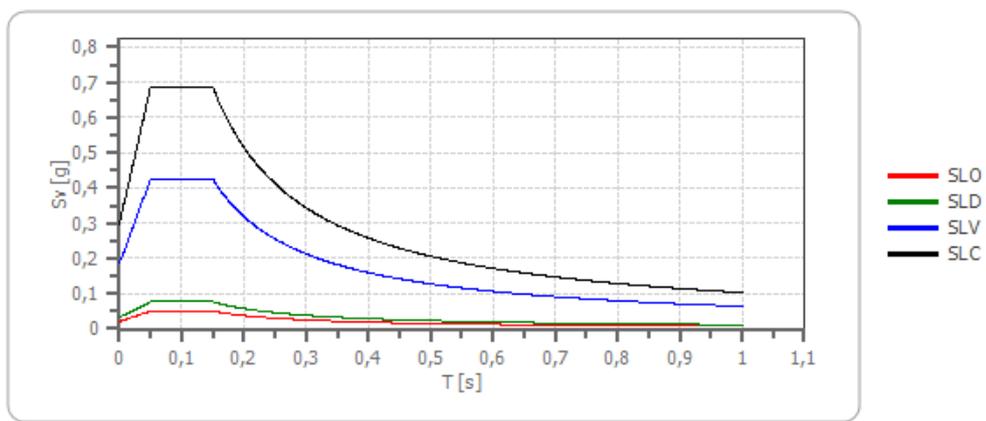
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,062	2,401	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,149	0,448	1,849	0,093	0,224
SLD	1,0	0,084	2,347	0,296	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,155	0,464	1,935	0,125	0,294
SLV	1,0	0,266	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,330	1,000	0,181	0,544	2,666	0,354	0,812
SLC	1,0	0,366	2,300	0,394	1,190	1,430	1,000	1,190	1,000	0,188	0,563	3,063	0,435	1,002

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2} : 1,000$

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,062	2,401	0,280	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,050
SLD	1,0	0,084	2,347	0,296	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,033	0,077
SLV	1,0	0,266	2,291	0,375	1	1,450	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,186	0,426
SLC	1,0	0,366	2,300	0,394	1	1,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,299	0,687

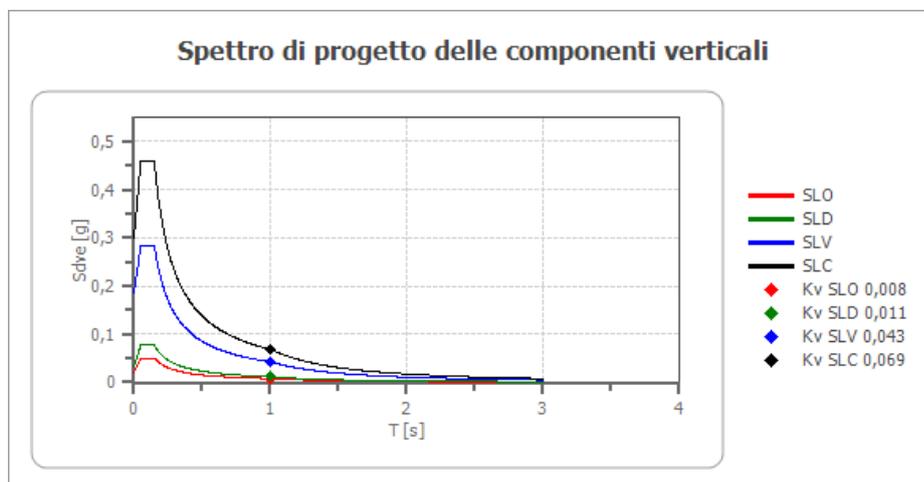
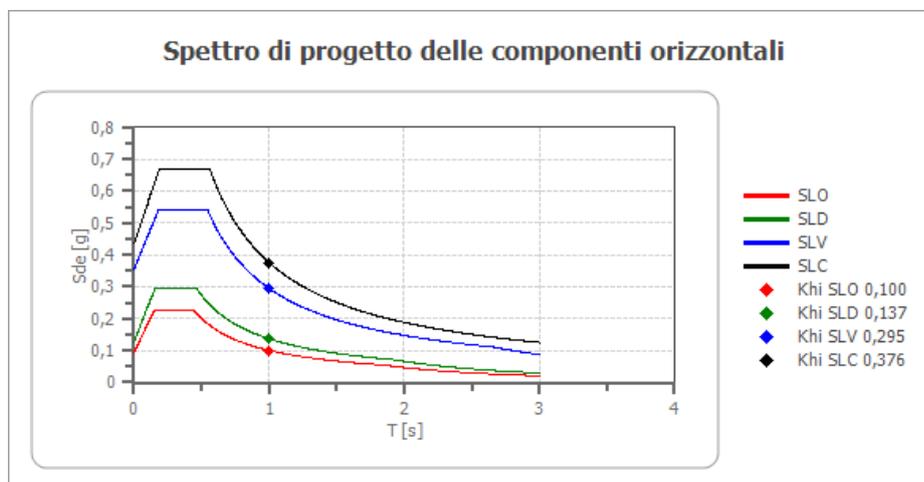
### Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50

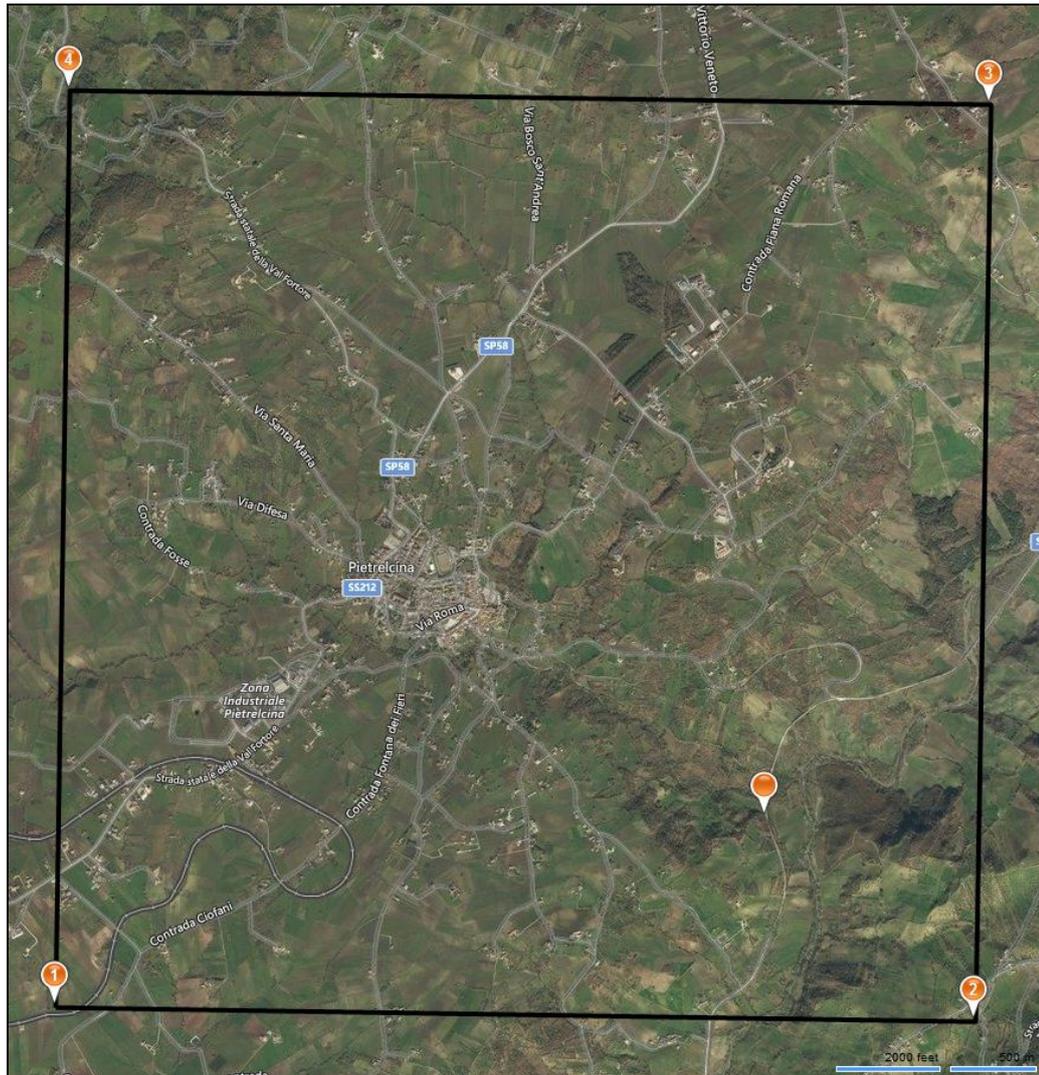
Periodo fondamentale T: 1,00[s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,100	0,137	0,295	0,376
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,008	0,011	0,043	0,069



	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	q	TB	TC	TD	Sd(0)	Sd(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO orizzontale	1,0	0,062	2,401	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,149	0,448	1,849	0,093	0,224
SLO verticale	1,0	0,062	2,401	0,280	1,500	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,050
SLD orizzontale	1,0	0,084	2,347	0,296	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,155	0,464	1,935	0,125	0,294
SLD verticale	1,0	0,084	2,347	0,296	1,500	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,033	0,077
SLV orizzontale	1,0	0,266	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,330	1,500	0,181	0,544	2,666	0,354	0,541
SLV verticale	1,0	0,266	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,186	0,284
SLC orizzontale	1,0	0,366	2,300	0,394	1,190	1,430	1,000	1,190	1,500	0,188	0,563	3,063	0,435	0,668
SLC verticale	1,0	0,366	2,300	0,394	1,190	1,430	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,299	0,458

#### 4.12.8 Pericolosità sismica dell'Area 7



Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2}$ : 1,000

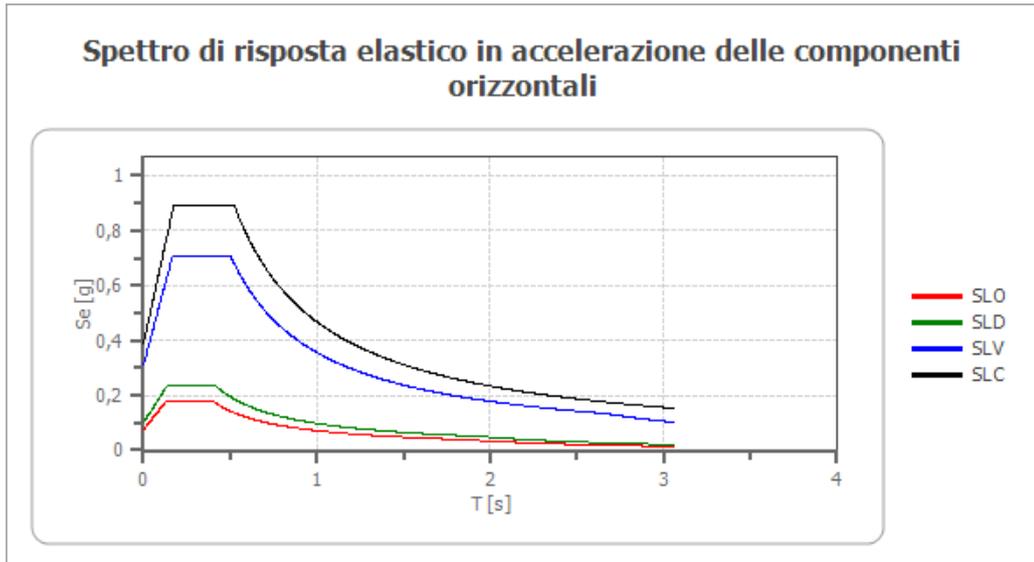
**Categoria sottosuolo B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 maggiore di 50 nei terreni a grana grossa e  $cu_{30}$  maggiore di 250 kPa nei terreni a grana fine).

**Categoria topografica T1:** Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a  $15^\circ$

#### Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,020	0,086	0,108
kv	0,007	0,010	0,043	0,054
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,732	0,983	3,028	3,799
Beta	0,200	0,200	0,280	0,280

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

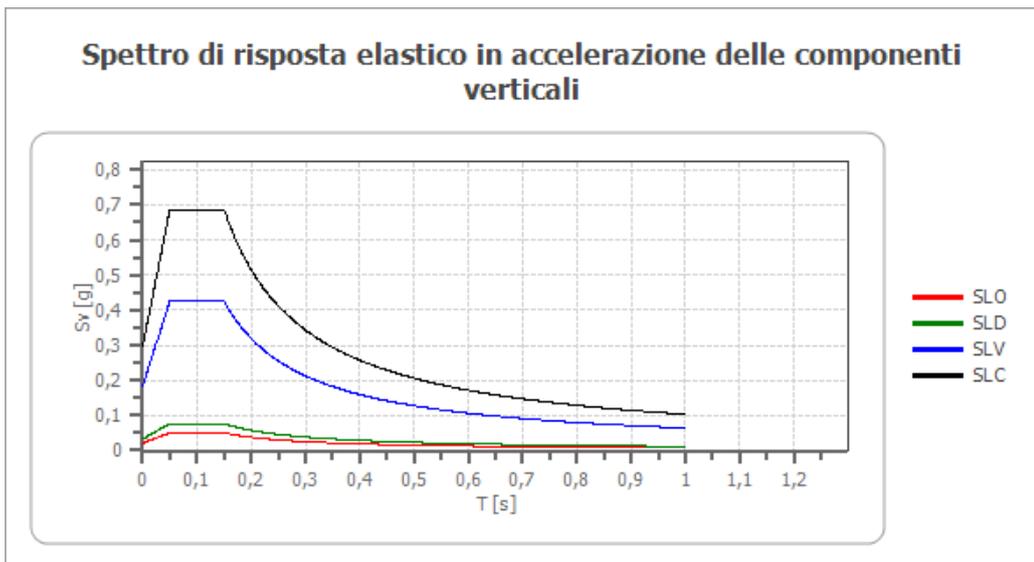


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,062	2,403	0,280	1,200	1,420	1,000	1,200	1,000	0,133	0,398	1,849	0,075	0,179
SLD	1,0	0,084	2,347	0,296	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,138	0,414	1,934	0,100	0,235
SLV	1,0	0,266	2,291	0,375	1,160	1,340	1,000	1,160	1,000	0,168	0,503	2,665	0,309	0,708
SLC	1,0	0,365	2,300	0,394	1,060	1,330	1,000	1,060	1,000	0,175	0,524	3,062	0,387	0,891

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2} : 1,000$



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,062	2,403	0,280	1	1,420	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,050
SLD	1,0	0,084	2,347	0,296	1	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,033	0,077
SLV	1,0	0,266	2,291	0,375	1	1,340	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,185	0,425
SLC	1,0	0,365	2,300	0,394	1	1,330	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,298	0,686

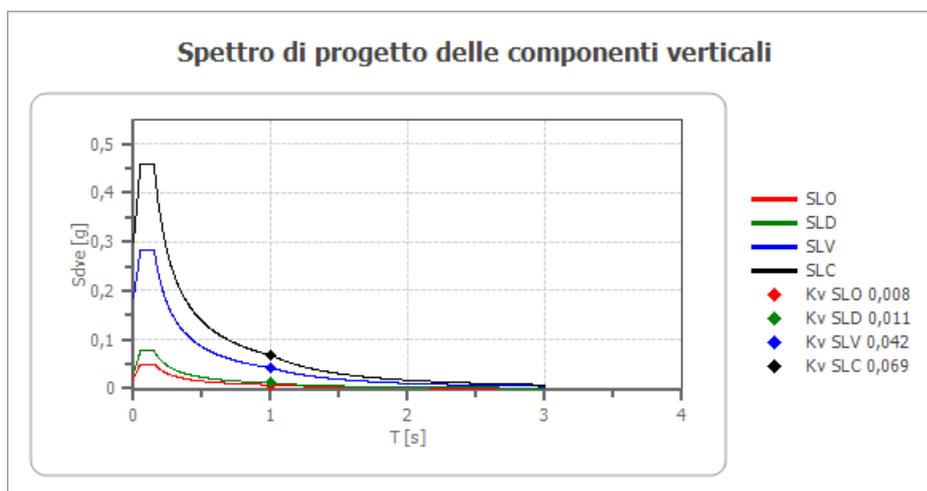
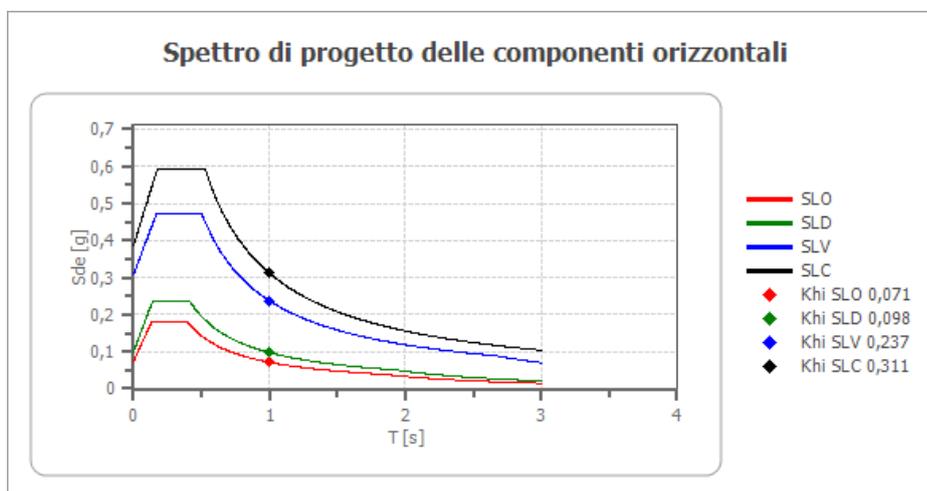
## Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50

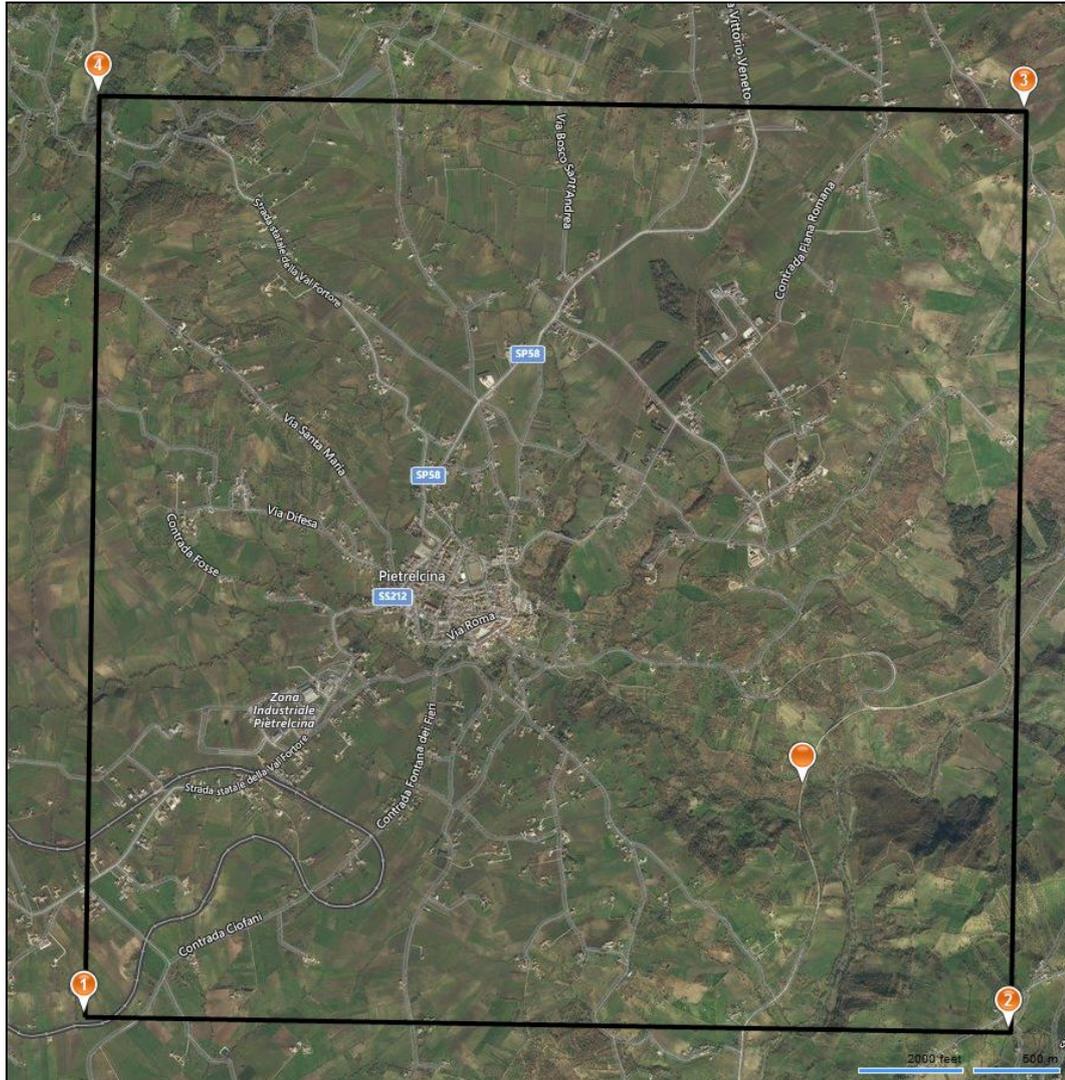
Periodo fondamentale T: 1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,071	0,098	0,237	0,311
0,008	0,011	0,042	0,069	



	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	q	TB	TC	TD	Sd(0)	Sd(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO orizzontale	1,0	0,062	2,403	0,280	1,200	1,420	1,000	1,200	1,000	0,133	0,398	1,849	0,075	0,179
SLO verticale	1,0	0,062	2,403	0,280	1,200	1,420	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,050
SLD orizzontale	1,0	0,084	2,347	0,296	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,138	0,414	1,934	0,100	0,235
SLD verticale	1,0	0,084	2,347	0,296	1,200	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,033	0,077
SLV orizzontale	1,0	0,266	2,291	0,375	1,160	1,340	1,000	1,160	1,500	0,168	0,503	2,665	0,309	0,472
SLV verticale	1,0	0,266	2,291	0,375	1,160	1,340	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,185	0,283
SLC orizzontale	1,0	0,365	2,300	0,394	1,060	1,330	1,000	1,060	1,500	0,175	0,524	3,062	0,387	0,594
SLC verticale	1,0	0,365	2,300	0,394	1,060	1,330	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,298	0,457

#### 4.12.9 Pericolosità sismica dell'Area 8



Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2}$ : 1,000

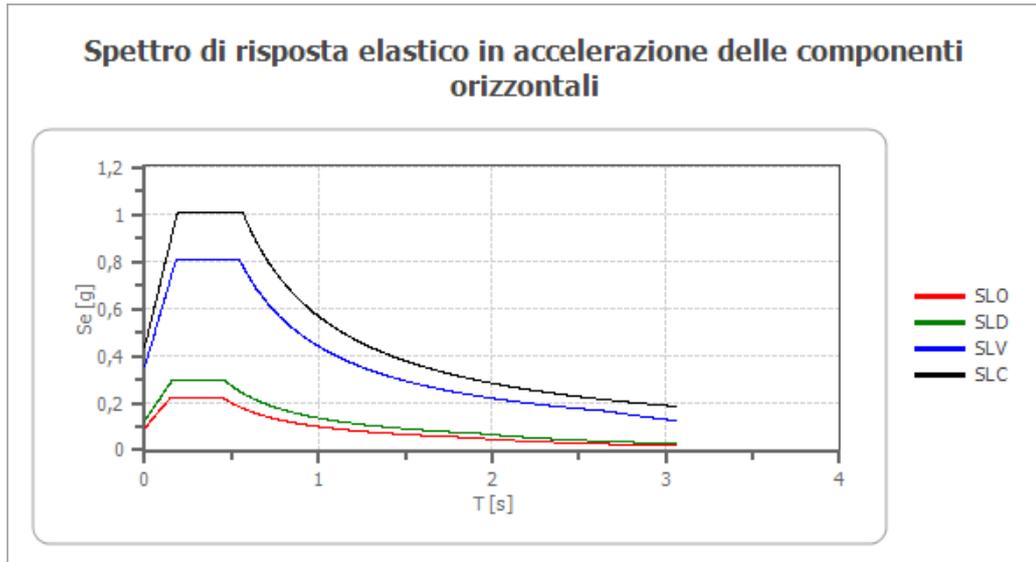
**Categoria sottosuolo C:** Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa  $c_{u30}$  compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

**Categoria topografica T1:** Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a  $15^\circ$

#### Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,019	0,025	0,099	0,123
kv	0,009	0,013	0,050	0,061
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,914	1,229	3,471	4,299
Beta	0,200	0,200	0,280	0,280

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

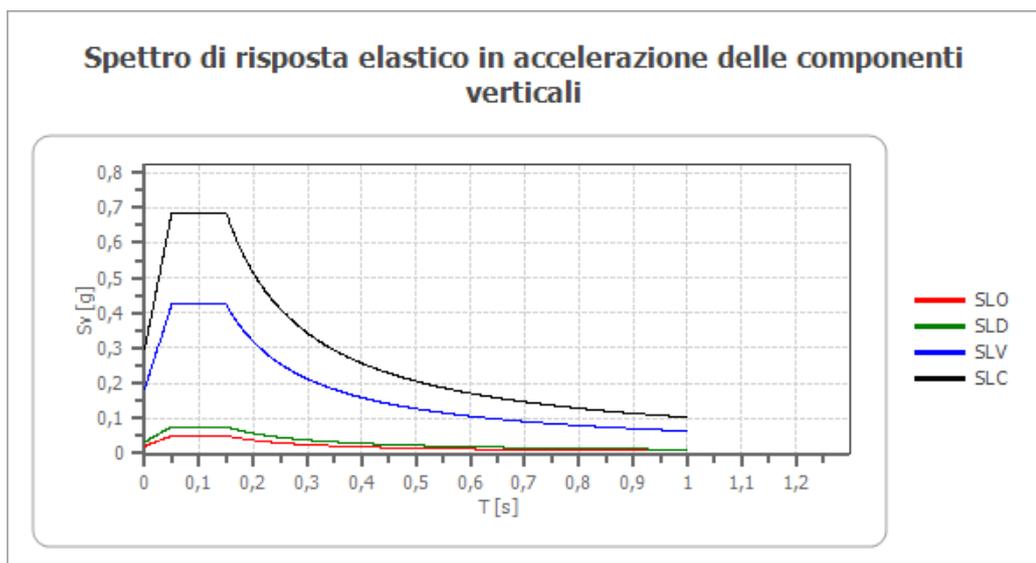


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,062	2,403	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,149	0,448	1,849	0,093	0,224
SLD	1,0	0,084	2,348	0,296	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,155	0,465	1,934	0,125	0,294
SLV	1,0	0,266	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,330	1,000	0,181	0,544	2,664	0,354	0,811
SLC	1,0	0,365	2,299	0,395	1,200	1,430	1,000	1,200	1,000	0,188	0,564	3,061	0,438	1,008

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2} : 1,000$



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,062	2,403	0,280	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,050
SLD	1,0	0,084	2,348	0,296	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,033	0,077
SLV	1,0	0,266	2,291	0,375	1	1,450	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,185	0,425
SLC	1,0	0,365	2,299	0,395	1	1,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,298	0,685

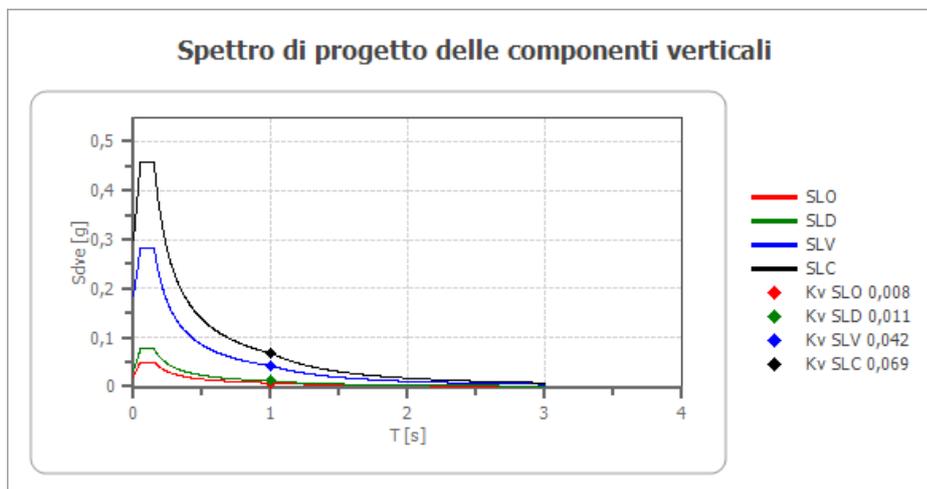
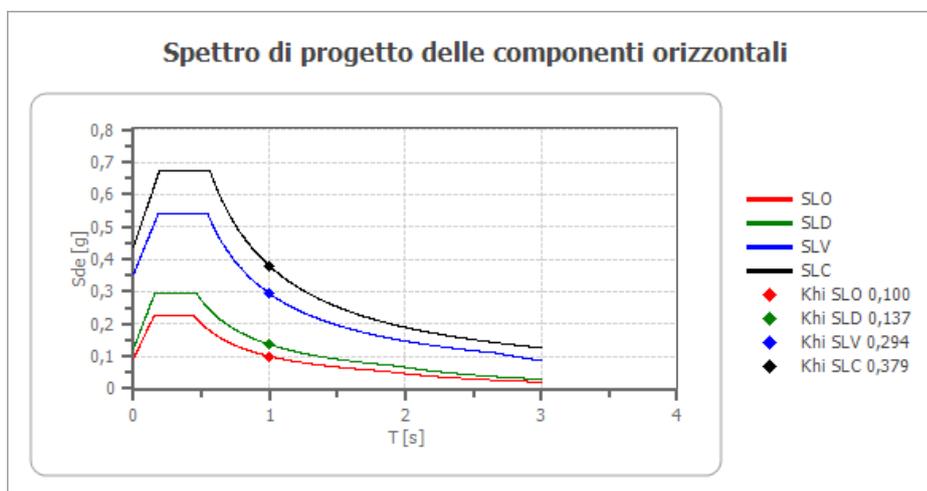
## Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50

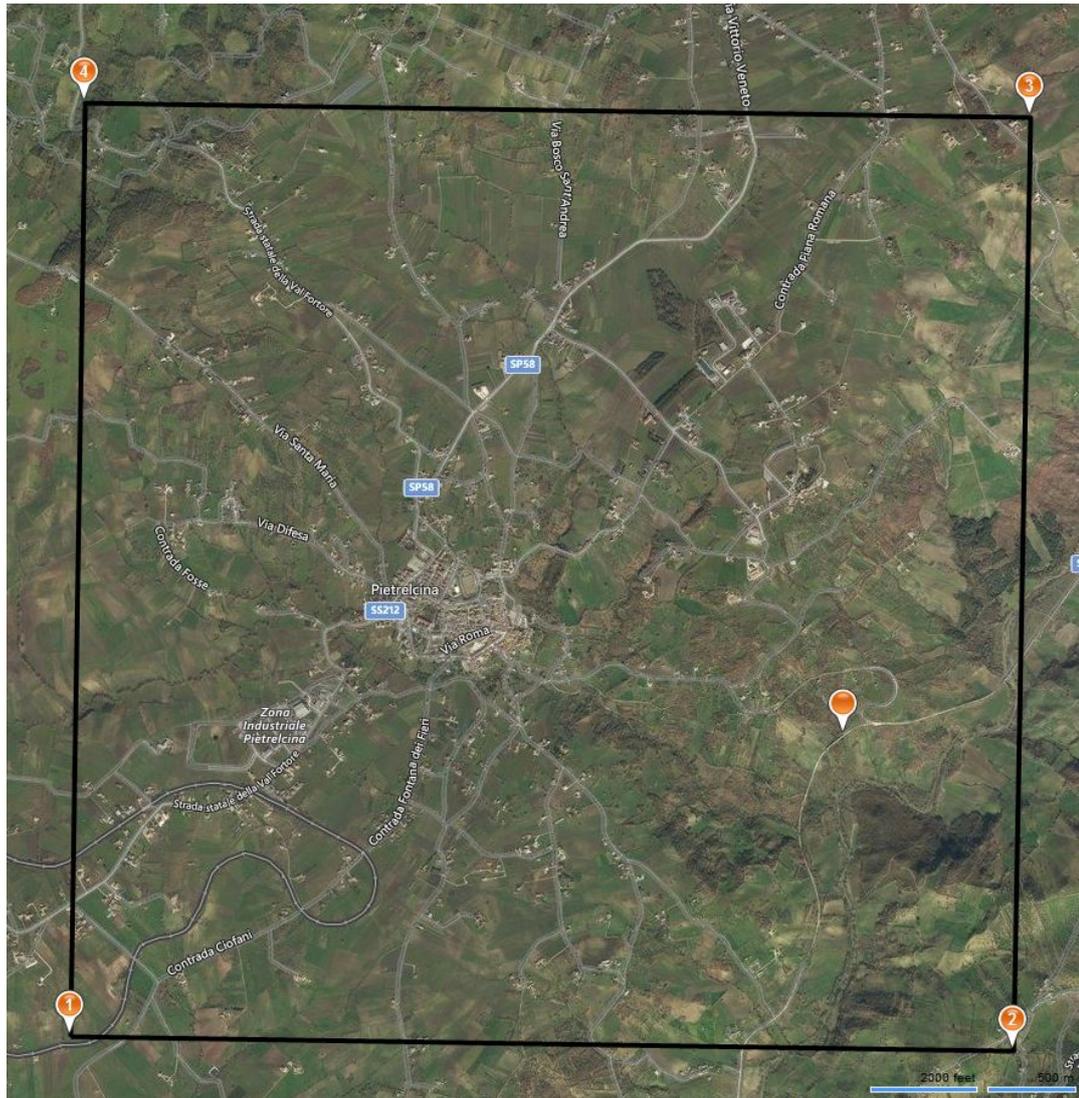
Periodo fondamentale T: 1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,100	0,137	0,294	0,379
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,008	0,011	0,042	0,069



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1,0	0,062	2,403	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,149	0,448	1,849	0,093	0,224
SLO verticale	1,0	0,062	2,403	0,280	1,500	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,050
SLD orizzontale	1,0	0,084	2,348	0,296	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,155	0,465	1,934	0,125	0,294
SLD verticale	1,0	0,084	2,348	0,296	1,500	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,033	0,077
SLV orizzontale	1,0	0,266	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,330	1,500	0,181	0,544	2,664	0,354	0,541
SLV verticale	1,0	0,266	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,185	0,283
SLC orizzontale	1,0	0,365	2,299	0,395	1,200	1,430	1,000	1,200	1,500	0,188	0,564	3,061	0,438	0,672
SLC verticale	1,0	0,365	2,299	0,395	1,200	1,430	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,298	0,457

#### 4.12.10 Pericolosità sismica dell'Area 8 bis



Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2}$ : 1,000

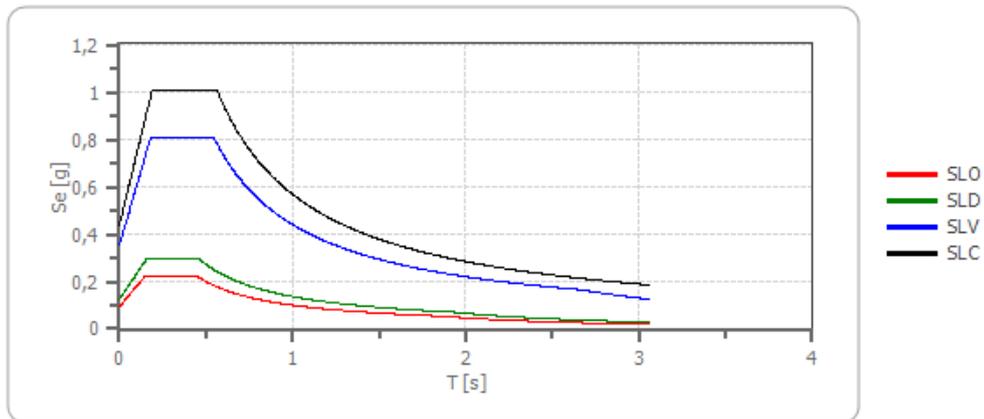
**Categoria sottosuolo C:** Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa  $cu_{30}$  compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

**Categoria topografica T1:** Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

**Coefficienti sismici per muri di sostegno**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,019	0,025	0,099	0,123
kv	0,009	0,013	0,050	0,061
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,914	1,228	3,469	4,297
Beta	0,200	0,200	0,280	0,280

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



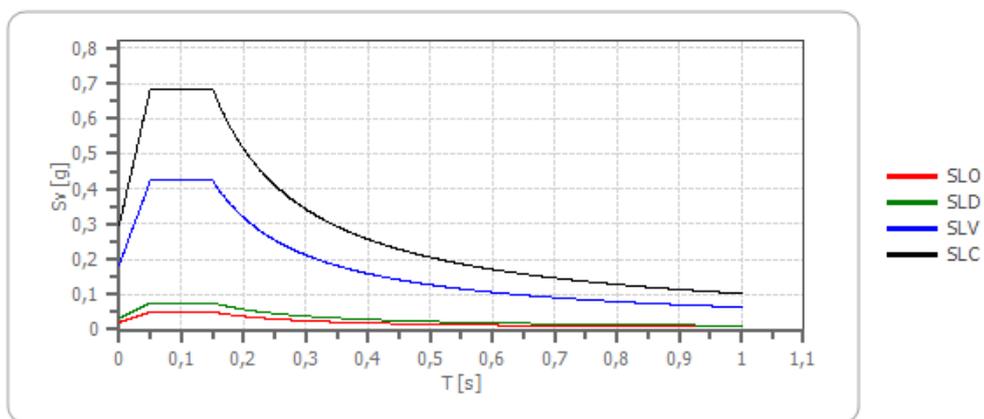
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,062	2,403	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,149	0,448	1,848	0,093	0,224
SLD	1,0	0,083	2,348	0,296	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,155	0,465	1,934	0,125	0,294
SLV	1,0	0,266	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,330	1,000	0,181	0,544	2,664	0,354	0,810
SLC	1,0	0,365	2,299	0,395	1,200	1,430	1,000	1,200	1,000	0,188	0,565	3,060	0,438	1,007

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2} : 1,000$

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,062	2,403	0,280	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,050
SLD	1,0	0,083	2,348	0,296	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,033	0,076
SLV	1,0	0,266	2,291	0,375	1	1,450	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,185	0,424
SLC	1,0	0,365	2,299	0,395	1	1,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,298	0,685

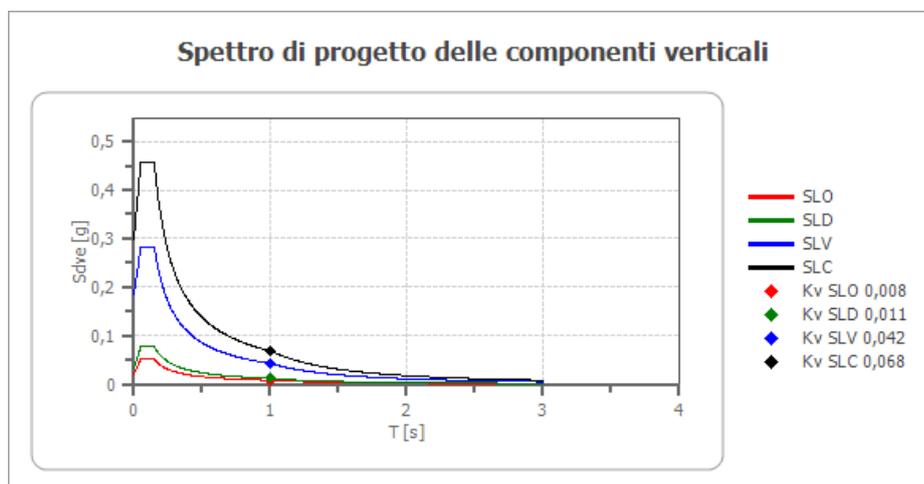
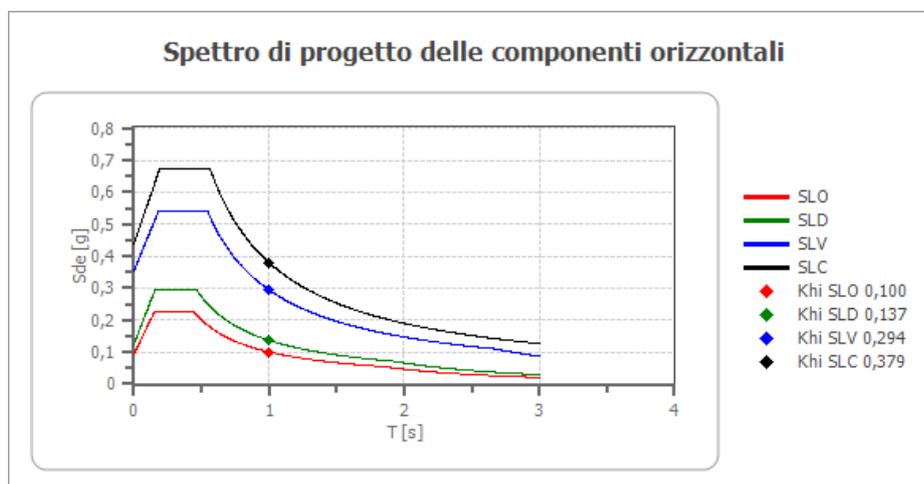
## Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale  $q$ : 1,50

Fattore di struttura spettro verticale  $q$ : 1,50

Periodo fondamentale  $T$ : 1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_{hi} = S_{de}(T)$ Orizzontale [g]	0,100	0,137	0,294	0,379
$k_{v} = S_{dve}(T)$ Verticale [g]	0,008	0,011	0,042	0,068



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1,0	0,062	2,403	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,149	0,448	1,848	0,093	0,224
SLO verticale	1,0	0,062	2,403	0,280	1,500	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,050
SLD orizzontale	1,0	0,083	2,348	0,296	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,155	0,465	1,934	0,125	0,294
SLD verticale	1,0	0,083	2,348	0,296	1,500	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,033	0,076
SLV orizzontale	1,0	0,266	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,330	1,500	0,181	0,544	2,664	0,354	0,540
SLV verticale	1,0	0,266	2,291	0,375	1,330	1,450	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,185	0,283
SLC orizzontale	1,0	0,365	2,299	0,395	1,200	1,430	1,000	1,200	1,500	0,188	0,565	3,060	0,438	0,671
SLC verticale	1,0	0,365	2,299	0,395	1,200	1,430	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,298	0,456

#### 4.13 Considerazioni sulla pericolosità sismica dell'area

In riferimento all'ubicazione delle aree di interesse del presente studio ed in particolare in riferimento alla loro pericolosità sismica, si sottolinea che esse ricadono tutte molto vicine ovvero a distanza minore di 30 Km dalle aree identificate come sorgenti sismogenetiche.

Infatti nel paragrafo 4.10 relativo alla pericolosità sismica sono state identificate 3 delle sorgenti sismogenetiche più prossime all'area oggetto di studio e che sono:

- 1) Mirabella Monteverde (ITCS024) distanza dal sito 2.8 Km;
- 2) Pago Veiano (ITCS057) distanza dal sito 5.6 Km;
- 3) Mirabella Eclano – Monteverde (ITCS084) distanza dal sito 13.6 Km.

Si ritiene importante sottolineare questa condizione in quanto al verificarsi di un evento sismico, le zone vicine alle sorgenti sismogenetiche possono essere interessate da fenomeni chiamati dai sismologi di "direttività". Tali effetti sono definiti di "campo vicino", o "*near-source*", perché legati alle direzioni prevalenti di propagazione della rottura e dello scorrimento (*slip*) sulla faglia. A causa di essi il moto al suolo, che si trova in determinate condizioni geometriche in prossimità della sorgente, può avere delle caratteristiche peculiari. In particolare, la storia di velocità in direzione ortogonale alla faglia può presentare, nelle prime fasi del segnale, un ciclo a bassa frequenza (l'impulso) nel quale si concentra gran parte dell'energia generata dal sisma. Questo può accadere se la velocità delle onde di taglio è circa uguale a quella di propagazione della rottura verso il sito, se il sito vede arrivare la rottura verso di sé e se il sito stesso è anche allineato con lo *slip* sulla faglia così come mostrato schematicamente nella figura qui di seguito.



In modo molto schematico si può dire che discretizzando la rottura in sorgenti puntiformi di onde meccaniche, la parte iniziale della rottura irradia prima verso il sito, mentre quella successiva irradia dopo, ma deve percorrere meno strada, questo può

determinare l'interferenza costruttiva delle onde e quindi l'innesco di un impulso a bassa frequenza e alta energia. Lontano dalla sorgente o per siti che vedono allontanarsi da sé la rottura questo effetto si perde o non è affatto presente e l'energia portata in dote dal segnale è distribuita più uniformemente.

Tutto ciò dal punto di vista ingegneristico si può tradurre, in termini strutturali, in una domanda sismica (lineare e/o non lineare) particolarmente severa in corrispondenza di particolari ordinate spettrali che dovrà in fase di progettazione esecutiva essere opportunamente analizzata e verificata.

## 5. DESCRIZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE, DI LABORATORIO E SISMICHE EFFETTUATE

La campagna di indagini geognostiche, di prove in situ, di laboratorio e sismiche è stata definita in progetto preliminare, ed, a consuntivo, è consistita in:

- n°6 sondaggi a carotaggio continuo, dei quali due spinti a 30 metri, due spinti a 25 metri, uno a 20 metri ed un altro a 15 metri dal p.c.;
- Installazione di n°1 piezometro a tubo aperto;
- Installazione di n°2 inclinometri per la misura degli spostamenti;
- Prelievo di n°10 campioni indisturbati;
- n°10 caratteristiche fisiche e proprietà indice;
- n°7 prove di taglio diretto (per la determinazione angolo di attrito di picco e residuo);
- n°6 indagine sismica a rifrazione in chiave tomografica;
- n°4 indagine sismica MASW;
- n°1 indagine sismica DOWN HOLE;
- n°5 prove dinamiche continue del tipo DPSH spinte fino alla profondità di rifiuto.

Nell'area 5 sono stati eseguiti una sismica a rifrazione in chiave tomografica della lunghezza di metri 72 , una prova dinamica continua (DPSH3) spinta fino 9,00 dal p.c. ed una indagine sismica del tipo MASW. Nell'area 6 è stato realizzato un sondaggio, spinto fino a 20 metri dal p.c., condizionato con tubo piezometrico (S1), inoltre si è eseguita una indagine sismica a rifrazione della lunghezza di metri 72, un indagine geofisica del tipo MASW e due prove dinamiche continue (DPSH 1 e 2) spinte rispettivamente fino a 9,60 e 12,60. Nell'area 7 sono stati realizzati 3 sondaggi di cui uno condizionato per una prova sismica del tipo down-hole spinto fino alla profondità di 30 metri dal p.c. (S2 - DH), un altro a carotaggio continuo fino alla profondità di 30 metri dal p.c. (S5) ed il terzo (S6) fino alla quota di 15 metri dal p.c. Inoltre si sono realizzati due stendimenti sismici a rifrazione in chiave tomografica. Nell'area 8 è stato eseguito un sondaggio (S3 -I) spinto fino alla profondità di 25 metri dal p.c. condizionato con l'inclinometro, inoltre si è realizzata un indagine sismica a rifrazione della lunghezza di 48 metri ed una del tipo MASW. Nell'area 8 bis si è realizzato un sondaggio (S4- I) spinto fino alla profondità di 25 dal piano campagna e condizionato con tubo inclinometrico. Nella stessa area, inoltre, si sono eseguiti un indagine sismica a rifrazione della lunghezza di 72 metri, un indagine geofisica del tipo MASW e due prove dinamiche continue (DPSH4 e DPSH 5) spinte fino a 10,40 metri ed 11,40 metri dal p.c. L'ubicazione delle indagini è mostrata nella carta allegata alla presente relazione.

L'attrezzatura usata è consistita in una sonda idraulica cingolata con capacità di coppia di 980 kg mentre l'attrezzatura di perforazione aveva le seguenti caratteristiche ed i seguenti diametri:

- Aste di manovra cave con  $\phi$  76 (mm)
- Aste di manovra lunghezza 3,0 m

- Carotiere da  $\phi$  101 (mm)
- Carotiere lunghezza 3,0 m
- Corona con denti in Widia da  $\phi$  101 (mm)
- Corona diamantata da  $\phi$ 101 (mm)
- Tubi di rivestimento  $\phi$ 140 (mm)

Durante l'esecuzione dei carotaggi geognostici sono state effettuate n°31 prove S.P.T. in foro ed a profondità tali da caratterizzare geotecnicamente i terreni attraversati con la perforazione.

Le prove S.P.T. consentono di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore battendo sulle aste di manovra per mezzo di un maglio normalizzato che cade da un'altezza standard. Di seguito si riportano le caratteristiche dell'attrezzature:

1. Maglio in acciaio da Kg 63.5;
2. Dispositivo di sgancio automatico del maglio;
3. Altezza di caduta del maglio cm 76;
4. Campionatore Raymond diametro cm 3.5;
5. Scarpa standard a punta aperta;
6. Punta conica standardizzata con angolo di apertura 60°;

Il numero di colpi N necessario ad una penetrazione del campionatore pari a 30 centimetri, dopo i 15 centimetri di infissione dinamica necessari per il posizionamento, è il dato assunto come indice di resistenza alla penetrazione denominato NSPT.

Di seguito si riportano le prove in foro eseguite per ogni singolo sondaggio:

<b>TABELLA RIASSUNTIVA PROVE S.P.T.</b>					
<b>Sondaggio S1_Pz</b>					
N.	Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>SPT</sub>
<b>1</b>	1.50 – 1.95	3	3	5	<b>8</b>
<b>2</b>	3.50 – 3.95	9	9	9	<b>18</b>
<b>3</b>	5.00 - 5.45	8	11	11	<b>22</b>
<b>4</b>	7.00 - 7.45	5	27	26	<b>53</b>
<b>5</b>	10.00 - 10.30	14	34	Rif.	<b>Rif.</b>
<b>6</b>	15.00 - 15.15	6	Rif.		<b>Rif.</b>
<b>Sondaggio S2_DH</b>					
N.	Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>SPT</sub>
<b>1</b>	2.00 - 2.45	4	8	5	<b>13</b>
<b>2</b>	4.50 - 4.95	3	6	9	<b>15</b>
<b>3</b>	7.70 - 8.00	18	29	Rif.	<b>Rif.</b>
<b>4</b>	10.00 - 10.45	26	26	21	<b>47</b>

<b>5</b>	24.00 - 24.15	38	Rif.		<b>Rif.</b>
<b>Sondaggio S3_INC</b>					
<b>N.</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>N<sub>1</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>3</sub></b>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
<b>1</b>	2.00 – 2.45	2	3	5	<b>8</b>
<b>2</b>	3.50 – 3.80	7	27	Rif.	<b>Rif.</b>
<b>3</b>	5.00 - 5.45	8	13	10	<b>23</b>
<b>4</b>	7.00 – 7.45	5	8	13	<b>21</b>
<b>5</b>	15.00 – 15.15	43	Rif.		<b>Rif.</b>
<b>Sondaggio S4_INC</b>					
<b>N.</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>N<sub>1</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>3</sub></b>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
<b>1</b>	2.30 – 2.75	2	2	5	<b>7</b>
<b>2</b>	5.00 – 5.45	3	7	6	<b>13</b>
<b>3</b>	7.50 – 7.95	7	10	7	<b>17</b>
<b>4</b>	10.00 – 10.45	12	18	27	<b>45</b>
<b>5</b>	12.50 – 12.80	15	37	Rif.	<b>Rif.</b>
<b>Sondaggio S5</b>					
<b>N.</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>N<sub>1</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>3</sub></b>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
<b>1</b>	3.00 – 3.45	3	7	9	<b>16</b>
<b>2</b>	6.00 – 6.45	10	17	16	<b>33</b>
<b>3</b>	8.80 – 8.95	21	Rif.		<b>Rif.</b>
<b>4</b>	18.00 – 18.45	17	24	29	<b>53</b>
<b>5</b>	22.00 –				<b>Rif.</b>
<b>6</b>	25.00 -				<b>Rif.</b>
<b>Sondaggio S6</b>					
<b>N.</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>N<sub>1</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>3</sub></b>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
<b>1</b>	2.50 – 2.95	7	22	36	<b>58</b>
<b>2</b>	5.80 – 5.95	15	Rif		<b>Rif.</b>
<b>3</b>	9.50 – 9.95	17	25	30	<b>55</b>
<b>4</b>	14.00 – 14.15	19	Rif.		<b>Rif.</b>

Anche le profondità e le modalità di prelievo dei campioni sono state programmate ed eseguite al fine di ottenere del materiale quanto più possibile indisturbato e poter al tempo stesso correlare le informazioni geotecniche derivanti dalle indagini in situ con quelle derivanti dalle analisi del laboratorio geotecnico. Qui di seguito riportate la profondità e la sigla dei campioni :

<b>CAMPIONI</b>		
<b>Sigla Campione</b>	<b>Profondità iniziale (m.)</b>	<b>Profondità finale (m.)</b>
S1 - C1	3.00	3.50
S1 - C2	6.50	7.00
S2 - C1	8.20	8.70
S3 - C1	3.00	3.50
S3 - C2	6.50	7.00
S3 - C3	14.50	15.00
S4 - C1	4.50	5.00
S4 - C2	9.50	10.00
S5 - C1	8.30	8.80
S5 - C2	14.00	14.50

Le profondità di prelievo sono state scelte per avere una precisa conoscenza geotecnica dei terreni fondali.

Sui campioni indisturbati sono state effettuate, ove possibile, le seguenti prove:

- ◆ Caratteristiche fisiche generali;
- ◆ Prova di taglio diretto per la determinazione dell'angolo di picco e residuo (C.D. );

Come già descritto, per la ricostruzione dei profili stratigrafici delle varie aree sono state realizzate n°6 indagini sismiche a rifrazione in chiave tomografica che hanno permesso l'individuazione di differenti sismostrati (rifrattori) che, correlati con i dati dei sondaggi e del rilevamento geologico, hanno permesso la ricostruzione per ogni sito del modello geologico.

Per la caratterizzazione sismica dei primi 30 metri, al fine di ottenere la categoria di sottosuolo per giungere ad una corretta determinazione dei valori di accelerazione massima attesa al sito e dei coefficienti sismici orizzontale e verticale, si è provveduto ad effettuare n°4 indagini sismiche di superficie del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) ed una sismica in foro del tipo down hole la cui ubicazione è mostrata nella Carta delle Indagini allegata.

## 6. MODELLO GEOLOGICO E PARAMETRI GEOTECNICI

L'analisi dei risultati delle indagini geognostiche in situ, di laboratorio e sismiche, congiuntamente al rilevamento geologico di dettaglio e correlate a quelle già in possesso dello scrivente, hanno permesso di delineare per l'area in esame le unità geologiche che possono essere considerate uniformi dal punto di vista litotecnico, e così schematizzate ( fig 6.1) :

- **Unità A** : Riporto; spessore da 0 a 2 m
- **Unità B**: Depositi eluvio – colluviali e/o depositi di frana caotici ed i conoide costituiti da limi sabbiosi, sabbie limose e limi – sabbioso – argilloso con inclusi clasti eterometrici ed eterogenei; spessore max 7 m
- **Unità C**: Limi con argilla sabbiosi con inclusi clasti eterogenei ed eterometrici ( porzione alterata substrato); spessore max 5 m
- **Unità D**: Argilla limosa debolmente sabbiosa intercalati a livelli marnosi, arenacei e calcarei intensamente fratturati ed alterati (substrato)

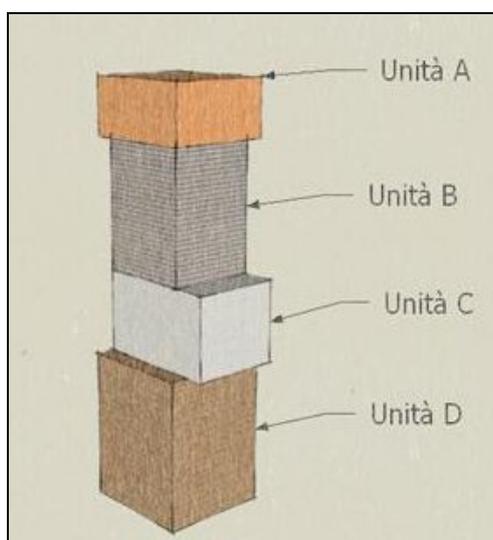


fig.6.1: schema Modello Geologico

E' bene sottolineare che nell'Unità B rientrano anche i terreni riferiti al substrato argilloso che hanno subito dei processi di alterazione e rimaneggiamento che ne hanno peggiorato le caratteristiche geotecniche. Infatti tali proprietà, in generale, tendono a migliorare con la profondità così come si è evinto dallo studio dei risultati delle prove geologiche, geognostiche, geofisiche e di laboratorio eseguite.

La divisione in differenti unità litotecniche segue, comunque, in generale questa logica poiché, dal punto di vista strettamente granulometrico, tranne qualche eccezione, le caratteristiche dei terreni che si succedono dal basso verso l'alto nella sequenza stratigrafica sono simili. Inoltre la presenza di questa coltre detritica caotica (Unità B ed in parte C), spesso mediamente fra gli 8 ed i 10 metri derivante appunto dall'alterazione e rimaneggiamento delle successione pelitiche e lapidee ad elevato grado di tettonizzazione, è confermata anche dai vari

studi realizzati nell'area beneventana e si può considerare, quindi, come il volume di terreno interessato dai movimenti franosi dell'area<sup>2</sup>.

Vi sono, però, alcune eccezioni, infatti nell'area 8 bis le prove di laboratorio, correlate con quelle allegare allo studio geologico del P.U.C. di Pietrelcina, evidenziano che le caratteristiche geotecniche dei terreni delle unità più profonde (C e D) risultano alquanto scadenti soprattutto nei valori residui dell'angolo di attrito e di coesione. Ciò potrebbe indicare sia che le superficie di scorrimento delle frane ivi cartografate siano più profonde sia che i campioni analizzati siano costituiti da argille sovra consolidate il che spiegherebbe la notevole differenza fra i valori di picco e residui così come viene confermato anche dallo studio effettuato dall'Università degli Studi del Sannio<sup>3</sup>.

Come già descritto nel paragrafo inerente l'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area, il substrato presente nella zona in esame è riferito alla "Formazione delle Argille Varicolori" e\o "Flysh rosso".

Nello specifico, facendo riferimento a quanto riportato dal citato foglio geologico ed al rilevamento effettuato, affiorano la seguente unità :

- alternanza costituita da peliti varicolori scagliose, marne , calcari marnosi in strati da sottili a spessi, calcareniti laminate e diaspri. L'unità si presenta spesso caotica per fenomeni di instabilità di versante e\o trasporto colluviale

## 6.1 Area 5

Dai risultati delle indagini eseguite in situ si evidenzia la presenza di uno strato di alterazione molto aerato fino ad almeno 10 metri dal piano campagna. La prova penetrometrica eseguita (DPSH3) ha raggiunto la profondità di rifiuto a 9,00 metri restituendo fino a tale quota un numero di colpi inferiore a 10. Tale dato corrisponde a quello dell'indagine geofisica a rifrazione realizzata che ha raggiunto la profondità massima di 15 metri dal p.c. Il profilo che viene restituito mostra che fino a 9 metri dal p.c. la velocità delle  $V_p$  è inferiore a 1000 m/s. Per di più ipotizzando la probabile presenza di una falda intorno ai 5/7 metri, i valori di velocità delle  $V_p$ , influenzati dalla presenza di strati saturi di acqua, sarebbero in questo caso sovrastimati. Inoltre questi dati coincidono, fatte le opportune interpolazioni, con quelli restituiti dall'indagine sismica MASW che vede nei primi 15 metri una velocità delle  $V_s$  inferiore ai 360 m/s. Si può, quindi, ipotizzare che la profondità di circa 10 metri dal p.c. corrisponda allo spessore di terreno interessato da un movimento gravitativo quiescente cartografato nella "Carta Inventario Fenomeni Franosi" del tipo colata lenta.

La successione stratigrafica dei terreni presenti, pertanto, che può essere così schematicamente descritta :

---

<sup>2</sup> "Carta del Frane della Provincia di Benevento" a cura del Dipartimento di Studi Geologici ed Ambientali – Università degli Studi del Sannio

<sup>3</sup> Idem

- **Unità A** : da 0.00 a 1.2 m;
- **Unità B**: da 1.20 a 9.00 m;
- **Unità C**: da 9.00 a 15.00 m;
- **Unità D** da 15.00 in poi;

Le interpretazioni dei dati delle prove in situ correlate ad altre eseguite nelle altre aree adiacenti hanno restituito per le varie unità litotecniche i seguenti parametri geotecnici :

**Unità B:**

- angolo d'attrito efficace  $\Phi' = 29.1^\circ$ ;
- coesione efficace  $c' = 6 \text{ Kpa}$  ;
- peso unità di volume  $\gamma = 16 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 55.2 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $63.2 \text{ kg/cm}^2$ ;

**Unità C<sup>4</sup>:**

- angolo d'attrito  $\Phi = 24^\circ$ ;
- coesione =  $21 \text{ Kpa}$ ;
- peso unità di volume  $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 199 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $430 \text{ kg/cm}^2$

**Unità D<sup>5</sup>:**

- angolo d'attrito  $\Phi = 26^\circ$ ;
- coesione =  $25 \text{ Kpa}$ ;
- peso unità di volume  $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 242 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $520 \text{ kg/cm}^2$

E' stata effettuata una verifica di stabilità allo stato di fatto considerando nel calcolo l'angolo di attrito residuo che il materiale presenta dopo che la rottura lungo una superficie di scivolamento si è verificata. Il risultato rispecchia le condizioni geostratigrafiche con superfici di rottura nei primi 5/10 m:

**Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)**

=====	
Lat./Long.	41.181002/14.869963
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Residuo
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

<sup>4</sup> Da elaborazioni risultati aree adiacenti

<sup>5</sup> Da elaborazioni risultati aree adiacenti

## Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-12.6 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	223.69 m
Ascissa vertice destro superiore xs	278.04 m
Ordinata vertice destro superiore ys	353.34 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

## Coefficienti sismici [N.T.C.]

### Dati generali

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

### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.61	2.4	0.28
S.L.D.	50.0	0.82	2.35	0.3
S.L.V.	475.0	2.62	2.29	0.38
S.L.C.	975.0	3.59	2.3	0.39

### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.915	0.2	0.0187	0.0093
S.L.D.	1.23	0.2	0.0251	0.0125
S.L.V.	3.4922	0.28	0.0997	0.0499
S.L.C.	4.2893	0.28	0.1225	0.0612

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0997
Coefficiente azione sismica verticale	0.0499

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	168.0
2	41.11	174.89
3	72.32	180.16
4	91.37	182.99
5	96.84	182.79
6	114.27	186.64
7	146.7	191.91
8	181.15	199.21
9	209.32	205.29
10	234.45	208.93
11	257.76	212.18
12	278.02	216.23

### Falda

Nr.	X	y
-----	---	---

	(m)	(m)
1	0.15	162.88
2	44.3	168.89
3	84.8	176.21
4	115.89	181.43
5	183.3	193.45
6	242.6	203.64
7	278.13	209.91

#### Piezometrica Nr..1

#### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	161.18
2	23.25	164.06
3	61.03	170.2
4	86.93	174.99
5	111.48	177.68
6	166.34	187.84
7	225.99	198.2
8	278.02	206.49

#### Vertici strato .....2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	155.71
2	22.52	157.89
3	48.93	161.9
4	74.6	167.0
5	101.37	170.64
6	147.98	179.56
7	178.39	182.66
8	278.02	201.11

#### 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

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0.061	23	1631	1800	Unità B
2	0.2	15	1937	2100	Unità C
3	0.2	20	2039	2200	Unità D

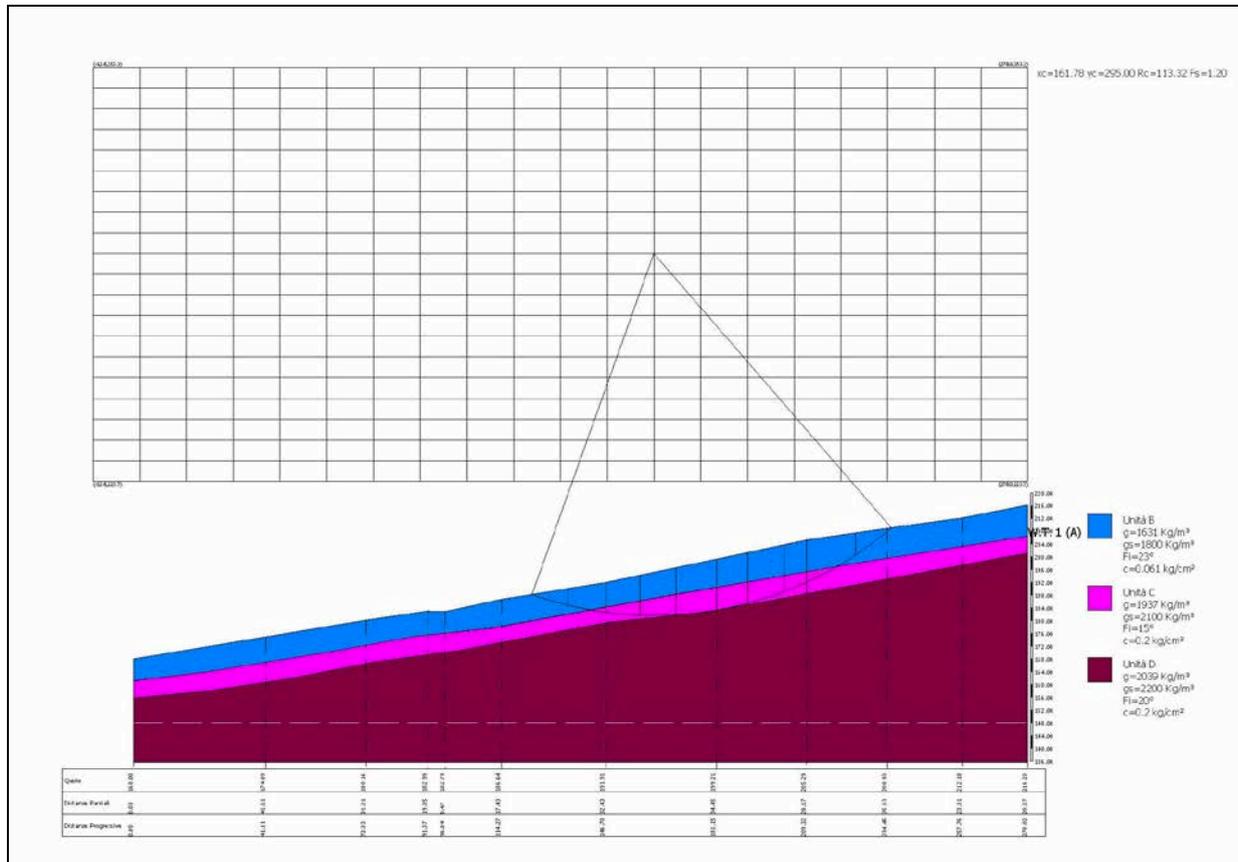
#### Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1.2
Ascissa centro superficie	161.78 m
Ordinata centro superficie	295.0 m
Raggio superficie	113.32 m

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.

$$xc = 161.784 \quad yc = 294.997 \quad Rc = 113.319 \quad Fs = 1.204$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	11.18	-16.6	11.6749799.72	4965.03	2485.01	0.05	18.8	0.059667.7	26992.8		
2	11.63	-10.6	11.83143718.2	14328.71	7171.54	0.05	18.826351.2	128688.65	10173.7		
3	10.73	-4.9	10.77212211.2	21157.46	10589.34	0.16	12.1	0.0218501.9	64101.4		
4	11.18	0.6	11.18283526.9	28267.63	14147.99	0.16	12.1	0.0282687.7	78233.4		
5	12.54	6.6	12.62361762.3	36067.7	18051.94	0.16	12.1	0.0353073.8	96207.6		
6	9.83	12.4	10.06292251.3	29137.45	14583.34	0.16	12.1	0.0282440.4	78208.2		
7	11.18	17.9	11.75316731.1	31578.09	15804.88	0.16	12.1	0.0305695.3	88326.2		
8	7.16	22.8	7.77180131.2	17959.08	8988.55	0.16	12.1	0.0174531.4	53905.5		
9	15.2	29.2	17.42268839.0	26803.25	13415.07	0.16	12.1	0.0261267.1	95773.8		
10	11.18	37.2	14.0367612.01	6740.92	3373.84	0.05	18.8	0.063403.1	35493.7		



## 6.2 Area 6

Le prove penetrometriche eseguite (DPSH1 e DPSH2) hanno raggiunto la profondità di rifiuto rispettivamente a 9,60 metri e 12,60. Inoltre si è realizzato un sondaggio (S1\_PZ) spinto fino alla profondità di 20,00 metri dal p.c. condizionato con un piezometro a tubo aperto. Si sono eseguite a varie quote n°6 SPT e si è prelevato n°2 campioni indisturbati. Sono state fatte, inoltre, un indagine sismica a rifrazione in chiave tomografica che ha permesso di investigare uno spessore di terreno fino a circa 18 metri dal p.c. ed una indagine sismica del tipo MASW per la valutazione della categoria di sottosuolo.

Dai risultati delle analisi indagini eseguite si può affermare che al di sopra del substrato argilloso si rinviene una coltre di alterazione eluvio – colluviale a spessore variabile costituita da sedimenti limo – argillosi e sabbiosi con scheletro detritico da minuto a grossolano. Questa coltre detritica presenta le stesse caratteristiche di quella già precedentemente citata per l'area 5 ed il

numero di colpi registrato durante l'esecuzione delle indagini penetrometriche in situ e l'elaborazione dell'indagine sismica a rifrazione indicano che tale deposito superficiale potrebbe essere sede di movimenti franosi in atto o al momento sospesi.

L'area è caratterizzata, infatti, da fenomeni di erosione superficiale e ruscellamento diffuso e da un dissesto lungo la strada con una nicchia nel rilevato stradale lunga circa 40 mt ( vedi allegati cartografici ), dovuta con molta probabilità alla mancanza totale di drenaggi delle acque di ruscellamento e meteoriche.

L'analisi dei dati di rilevamento, della cartografia geologica ufficiale e dei risultati delle indagini geologiche permettono di descrivere la successione stratigrafica dei terreni presenti che può essere così schematicamente descritta :

- **Unità A** : da 0.00 a 0.6 m;
- **Unità B**: da 0.60 a 7.20 m;
- **Unità C** : da 7.20 a 11.30 m;
- **Unità D** : da 11.30 a oltre 30 m.

Le interpretazioni dei dati hanno restituito i seguenti parametri geotecnici :

#### **Unità B:**

- angolo d'attrito  $\Phi = 28.5^\circ$ ;
- peso unità di volume  $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 48 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $78 \text{ kg/cm}^2$

#### **Unità C :**

- angolo d'attrito  $\Phi = 24^\circ$ ;
- angolo d'attrito residuo  $\Phi_r = 21^\circ$ ;
- coesione = 21 Kpa;
- coesione residua = 18 Kpa;
- peso unità di volume  $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 170 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $200 \text{ kg/cm}^2$

#### **Unità D :**

- angolo d'attrito  $\Phi = 26^\circ$ ;
- coesione = 25 Kpa;
- peso unità di volume  $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 242 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $528 \text{ kg/cm}^2$

E' stata effettuata una verifica di stabilità allo stato di fatto considerando nel calcolo l'angolo di attrito residuo che il materiale presenta dopo che la rottura lungo una superficie di scivolamento si è verificata. Il risultato rispecchia le condizioni geostratigrafiche con superfici di rottura nei primi 5/10 m:

## Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	41.18218/14.870467
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Residuo
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

## Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-37.53 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	262.56 m
Ascissa vertice destro superiore xs	337.87 m
Ordinata vertice destro superiore ys	449.77 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

## Coefficienti sismici [N.T.C.]

### Dati generali

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

### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.61	2.4	0.28
S.L.D.	50.0	0.82	2.35	0.3
S.L.V.	475.0	2.61	2.29	0.38
S.L.C.	975.0	3.59	2.3	0.39

## Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.915	0.2	0.0187	0.0093
S.L.D.	1.23	0.2	0.0251	0.0125
S.L.V.	3.4825	0.28	0.0994	0.0497
S.L.C.	4.2893	0.28	0.1225	0.0612

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0994
Coefficiente azione sismica verticale	0.0497

## Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	160.0
2	19.19	162.08
3	58.45	168.84
4	83.14	173.78
5	93.8	179.24
6	99.0	184.18
7	115.38	185.22
8	139.29	194.57

9	158.27	201.59
10	212.08	213.81
11	243.53	220.83
12	272.65	229.15
13	299.42	238.25
14	325.94	246.83
15	343.88	249.95

#### Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.3	151.43
2	31.2	156.62
3	100.9	174.66
4	191.62	200.12
5	280.86	224.35
6	343.89	242.89

#### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	151.67
2	35.43	154.73
3	86.56	168.22
4	142.9	184.97
5	200.76	201.5
6	260.58	216.29
7	311.05	231.74
8	343.88	241.37

#### Vertici strato .....2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	145.16
2	23.47	147.55
3	50.88	152.34
4	90.04	162.78
5	152.25	182.36
6	206.2	196.93
7	265.37	210.64
8	314.75	224.12
9	343.88	236.17

#### 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

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0.061	23	1631	1800	Unità B
2	0.2	15	1937	2100	Unità C
3	0.2	20	2039	2200	Unità D

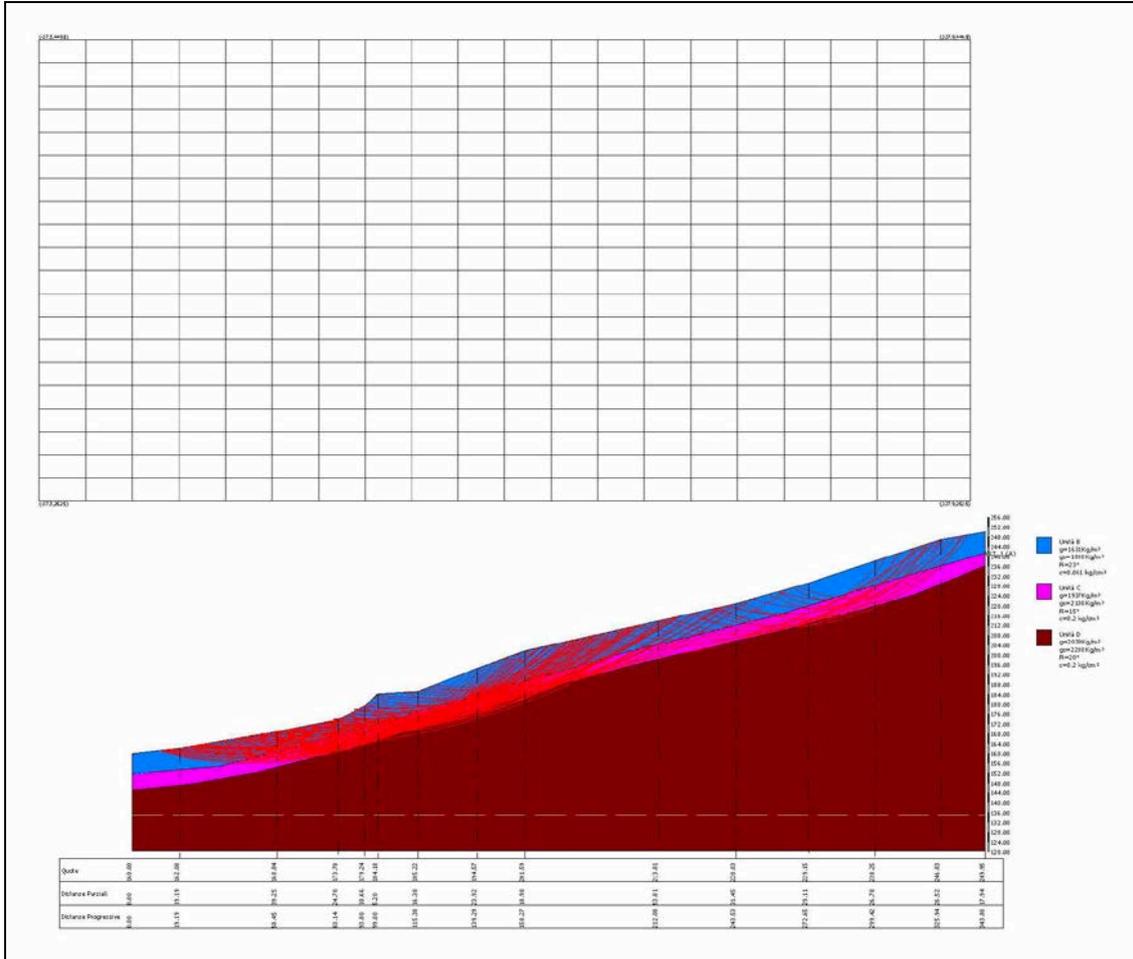
#### Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	0.9
Ascissa centro superficie	84.48 m
Ordinata centro superficie	323.4 m
Raggio superficie	154.74 m

**xc = 84.477 yc = 323.40 Rc = 154.743 Fs=0.896**

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	12.37	-5.2	12.4238917.57	3868.41	1934.2	0.06	23.0	0.042204.1	34296.8		

2	6.56	-1.7	6.57	47592.5	4730.69	2365.35	0.06	23.0	3222.0	45319.8	31151.6
3	10.66	1.5	10.66	140746.2	13990.18	6995.09	0.2	15.0	29176.9	109849.8	68023.2
4	5.2	4.4	5.21	113762.3	11307.97	5653.99	0.2	15.0	22769.3	387749.8	45607.7
5	16.38	8.5	16.56	420266.2	41774.46	20887.23	0.2	15.0	99818.2	2301303.0	154197.6
6	23.92	16.1	24.96	62477.9	65850.3	32925.15	0.2	15.0	176210.0	441104.9	9234278.2
7	11.53	23.1	12.53	322698.8	32076.26	16038.13	0.2	15.0	69637.4	226181.8	124731.8
8	7.45	26.9	8.36	19495.8	19034.68	9517.34	0.2	15.0	31969.5	141712.1	82177.4
9	17.3	32.3	20.46	315595.5	31370.19	15685.09	0.06	23.0	12849.6	255682.8	191732.1
10	12.37	39.0	15.92	78108.63	7764.0	3882.0	0.06	23.0	0.6	1601.8	61830.0



### 6.3 Area 7

Nell'area 7 sono stati realizzati tre sondaggi di cui uno condizionato per una prova sismica del tipo down-hole spinto fino alla profondità di 30 metri dal p.c. (S2 - DH), un altro a carotaggio continuo fino alla profondità di 30 metri dal p.c. (S5) ed il terzo (S6) fino alla quota di 15 metri dal p.c. Inoltre si sono realizzati due stendimenti sismici a rifrazione in chiave tomografica che hanno raggiunto la profondità massima di 20 metri dal p.c.

L'area in esame interessa il tratto di strada che attraversa il torrente Acquafredda, interessato da un intenso ed ampio fenomeno alluvionale nell'Ottobre 2015 che si trova sovrapposto ad un antica conoide quaternaria. I terreni presenti nei primi metri sono riconducibili a depositi di conoide detritica, così come risulta anche dalle stratigrafie dei sondaggi eseguiti. L'analisi dei dati di rilevamento, della cartografia geologica ufficiale e dei risultati delle indagini geologiche, geofisiche e di laboratorio eseguite opportunamente interpretate permettono di descrivere la successione stratigrafica dei terreni presenti che può essere così schematicamente descritta :

- **Unità A** : da 0.00 a 0.8 m;

- **Unità B:** da 0.0 a 7.50 m;
- **Unità C:** da 7.50 a 11.50 m;
- **Unità D:** da 11.50 ad oltre 30 metri.

I risultati delle analisi di laboratorio e le interpretazioni dei dati delle prove in foro hanno restituito per le varie unità litotecniche i seguenti parametri geotecnici :

#### **Unità B:**

- angolo d'attrito  $\Phi = 30.1^\circ$ ;
- peso unità di volume  $\gamma = 17.9 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 78 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $103 \text{ kg/cm}^2$

#### **Unità C :**

- angolo d'attrito  $\Phi = 24^\circ$ ;
- coesione = 21 Kpa;
- peso unità di volume  $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 199 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $430 \text{ kg/cm}^2$

#### **Unità D :**

- angolo d'attrito  $\Phi = 26^\circ$ ;
- coesione = 25 Kpa;
- peso unità di volume  $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 250 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $555 \text{ kg/cm}^2$

### **6.4 Area 8**

Nell'area in esame è stato realizzato un sondaggio condizionato con tubo inclinometrico spinto fino alla profondità di 25 metri dal p.c. (S3 - INC). Sono state effettuate una indagine sismica a rifrazione in chiave tomografica che ha raggiunto la profondità massima di 14 metri dal p.c. ed un indagine del tipo MASW. Inoltre sono state consultate le indagini in situ e le prove di laboratorio sui campioni di terreno utilizzati per la redazione dello studio geologico a corredo del P.U.C. di Pietrelcina e realizzati in un'area prossima a quella in esame nel Maggio 2000.

Dai risultati delle indagini eseguite si evidenzia la presenza di uno strato di alterazione fino ad almeno 8 metri dal piano campagna. Le prova penetrometriche in foro presentano un aumento del numero di colpi con la profondità. Tale dato corrisponde a quello dell'indagine geofisica a rifrazione realizzata che ha raggiunto la profondità massima di 14 metri dal p.c. Il profilo che viene restituito mostra che fino a circa 8 metri dal p.c. la velocità delle  $V_p$  è inferiore a 1000 m/s. Per di più ipotizzando la probabile presenza di una falda intorno ai 5/7 metri, i valori di velocità delle  $V_p$ , influenzati dalla presenza di strati saturi di acqua, sarebbero in questo caso sovrastimati. Questi dati coincidono, fatte le opportune interpolazioni, con quelli restituiti

dall'indagine sismica MASW che vede nei primi 10 metri una velocità delle Vs inferiore ai 360 m/s.

Si può, quindi, ipotizzare che la profondità media di circa 8 metri dal p.c. corrisponda allo spessore di terreno interessato da un movimento gravitativo quiescente, cartografato nella "Carta Inventario Fenomeni Franosi" del tipo scorrimento rotazionale – colata lenta, e confermato dal rilevamento geomorfologico di dettaglio.

L'analisi dei dati di rilevamento, della cartografia geologica ufficiale e dei risultati delle indagini geologiche e sismiche eseguite opportunamente interpretate permettono di descrivere la successione stratigrafica dei terreni presenti che può essere così schematicamente descritta :

- **Unità A** : da 0.00 a 1.8 m;
- **Unità B**: da 1.8 a 8.00 m;
- **Unità C**: da 8.00 a 13.50 m;
- **Unità D**: da 13.50 ad oltre 30 metri.

I risultati delle analisi di laboratorio e le interpretazioni dei dati delle prove in foro hanno restituito per le varie unità litotecniche i seguenti parametri geotecnici :

#### **Unità B<sup>6</sup>:**

- angolo d'attrito  $\Phi' = 30.1^\circ$ ;
- angolo d'attrito residuo  $\Phi'r = 23^\circ$ ;
- coesione = 23 Kpa;
- coesione residua = 1 Kpa;
- peso unità di volume  $\gamma = 17.9 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 95 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $95.3 \text{ kg/cm}^2$

#### **Unità C :**

- angolo d'attrito  $\Phi = 26^\circ$ ;
- angolo d'attrito residuo  $\Phi'r = 15^\circ$ ;
- coesione  $c' = 21 \text{ Kpa}$ ;
- coesione residua  $c'r = 12 \text{ Kpa}$ ;
- coesione non drenata  $C_u = 22 \text{ Kpa}$ ;
- peso unità di volume  $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 170 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $200 \text{ kg/cm}^2$

#### **Unità D :**

- angolo d'attrito  $\Phi = 26^\circ$ ;
- coesione  $c' = 25 \text{ Kpa}$ ;

---

<sup>6</sup> I parametri geotecnici delle Unità B e C sono stati ottenuti utilizzando anche i risultati di laboratorio eseguite su campioni di terreno simili nelle indagini a corredo del P.U.C. di Pietrelcina SG 138 campioni C1 – C2 – C3)

- peso unità di volume  $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$ ;

E' stata effettuata una verifica di stabilità allo stato di fatto considerando nel calcolo l'angolo di attrito residuo che il materiale presenta dopo che la rottura lungo una superficie di scivolamento si è verificata. Il risultato rispecchia le condizioni geostatigrafiche con superfici di rottura nei primi 10/15 m:

#### Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	41.188606/14.869329
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Residuo
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

#### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-9.64 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	214.09 m
Ascissa vertice destro superiore xs	145.2 m
Ordinata vertice destro superiore ys	270.82 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

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

##### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.61	2.4	0.28
S.L.D.	50.0	0.82	2.35	0.3
S.L.V.	475.0	2.61	2.29	0.38
S.L.C.	975.0	3.58	2.3	0.4

##### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.915	0.2	0.0187	0.0093
S.L.D.	1.23	0.2	0.0251	0.0125
S.L.V.	3.4825	0.28	0.0994	0.0497
S.L.C.	4.2823	0.28	0.1223	0.0611

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0994
Coefficiente azione sismica verticale	0.0497

##### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	159.0
2	8.37	160.2
3	20.94	161.54
4	32.85	163.55

5	41.14	166.09
6	52.91	172.24
7	59.73	176.66
8	62.41	178.4
9	67.22	179.73
10	71.9	178.8
11	76.32	178.13
12	81.4	177.59
13	90.1	179.06
14	99.86	182.81
15	107.88	187.09
16	117.78	190.7
17	127.68	194.45
18	136.64	197.66
19	150.02	202.07

#### Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-0.4	144.72
2	14.31	147.8
3	62.07	159.2
4	113.03	174.48
5	150.07	187.7

#### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	150.51
2	6.74	150.99
3	41.45	157.87
4	63.01	166.28
5	79.83	169.18
6	105.51	176.06
7	136.86	187.38
8	150.02	193.26

#### Vertici strato .....2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	144.46
2	28.6	149.15
3	57.65	156.03
4	84.72	163.68
5	129.98	178.66
6	150.02	187.27

#### 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

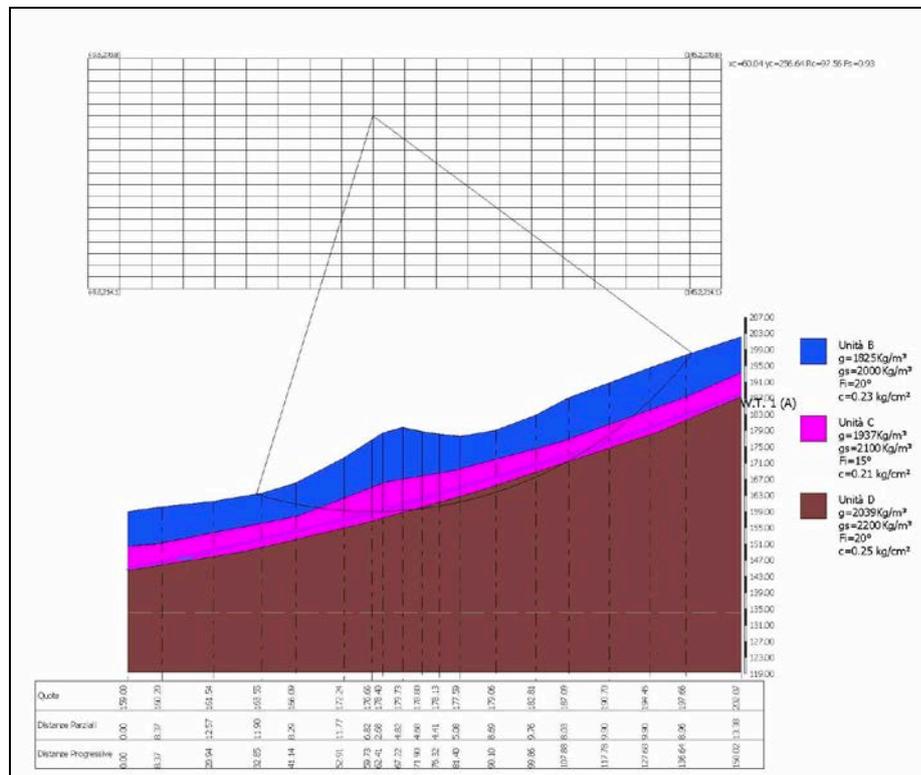
Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0.23		20	1825	2000	Unità B
2	0.21		15	1937	2100	Unità C
3	0.25		20	2039	2200	Unità D

#### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	0.93
Ascissa centro superficie	60.04 m
Ordinata centro superficie	256.64 m
Raggio superficie	97.56 m

**xc = 60.037 yc = 256.636 Rc = 97.565 Fs=0.933**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1.31	-16.6	1.37	740.81	73.64	36.82	0.23	20.0	0.0	2300.0	5349.6
2	8.29	-13.7	8.5345	227.35	4495.6	2247.8	0.23	20.0	0.059445	6.5	54565.0
3	11.77	-7.7	11.8819	8275.9	19708.63	9854.31	0.21	15.0	0.0214336	5	106788.9
4	6.82	-2.2	6.8319	4032.5	19286.83	9643.42	0.21	15.0	0.0197467	4	86460.6
5	2.68	0.6	2.68	92002.9	9145.09	4572.54	0.21	15.0	0.091597	4	38753.3
6	4.82	2.8	4.8217	9315.0	17823.91	8911.95	0.21	15.0	4032.917	1951.2	72289.6
7	4.68	5.6	4.7174	128.0	17308.32	8654.16	0.21	15.0	8927.315	9364.0	67878.4
8	4.41	8.3	4.4615	4210.4	15328.52	7664.26	0.25	20.0	0.0143937	0	82499.2
9	5.08	11.1	5.1816	5231.8	16424.04	8212.02	0.25	20.0	0.0151216	5	89024.4
10	56.72	32.9	67.5615	99732.0	159013.4	79506.68	0.21	15.0	45492.714	17526.079	8389.8



### 6.5 Area 8bis

Nell'area in esame è stato realizzato un sondaggio condizionato con tubo inclinometrico spinto fino alla profondità di 25 metri dal p.c. (S4 - INC). Le prove penetrometriche eseguite (DPSH4 e DPSH5) hanno raggiunto la profondità di rifiuto rispettivamente a 11,40 metri e 10,40. Inoltre si sono effettuate uno stendimento sismico a rifrazione in chiave tomografica che ha raggiunto la profondità massima di circa 14 metri dal p.c. ed un indagine del tipo MASW. Sono stati consultate le indagini in situ e le prove di laboratorio sui campioni di terreno utilizzati per la redazione dello studio geologico a corredo del P.U.C. di Pietrelcina e realizzati in un'area prossima a quella in esame nel Maggio 2000<sup>7</sup>.

Dai risultati delle indagini eseguite si evidenzia la presenza di uno strato di alterazione fino ad almeno 7 metri dal piano campagna. Le prove penetrometriche in foro presentano un aumento del numero di colpi con la profondità. Tale dato corrisponde a quello dell'indagine geofisica a

<sup>7</sup> I parametri geotecnici delle Unità B e C sono stati ottenuti utilizzando anche i risultati di laboratorio eseguite su campioni di terreno simili nelle indagini a corredo del P.U.C. di Pietrelcina SG 138 campioni C1 – C2 – C3)

rifrazione realizzata che ha raggiunto la profondità massima di 14 metri dal p.c. e che vede un aumento progressivo delle velocità. Il profilo che viene restituito mostra che fino a circa 6 metri dal p.c. la velocità delle  $V_p$  è inferiore a 1000 m/s. Per di più ipotizzando la probabile presenza di una falda intorno ai 7 metri, i valori di velocità delle  $V_p$ , influenzati dalla presenza di strati saturi di acqua, sarebbero in questo caso sovrastimati. Questi dati coincidono, fatte le opportune interpolazioni, con quelli restituiti dall'indagine sismica MASW che vede nei primi 6 metri una velocità delle  $V_s$  inferiore ai 300 m/s.

Si può, quindi, ipotizzare che la profondità media di circa 7,00 metri dal p.c. corrisponda allo spessore di terreno interessato da un movimento gravitativo in atto cartografato nella "Carta Inventario Fenomeni Franosì" del tipo scorrimento rotazionale – colata lenta e confermato dal rilevamento geomorfologico di dettaglio. Inoltre le prove di laboratorio, correlate con quelle allegate allo studio geologico del P.U.C. di Pietrelcina, evidenziano che le caratteristiche geotecniche dei terreni delle unità più profonde (C e D) risultano scadenti.

L'analisi dei dati di rilevamento, della cartografia geologica ufficiale e dei risultati delle indagini geologiche e sismiche eseguite opportunamente interpretate permettono di descrivere la successione stratigrafica dei terreni presenti che può essere così schematicamente descritta :

- **Unità A** : da 0.00 a 0.6 m;
- **Unità B**: da 0.6 a 7.00 m;
- **Unità C**: da 7.00 a 10.00 m;
- **Unità D**: da 10.00 ad oltre 30 metri.

I risultati delle analisi di laboratorio e le interpretazioni dei dati delle prove in foro hanno restituito per le varie unità litotecniche i seguenti parametri geotecnici :

#### **Unità B<sup>8</sup>:**

- angolo d'attrito  $\Phi' = 24.1^\circ$ ;
- angolo d'attrito residuo  $\Phi'r = 16^\circ$ ;
- coesione = 26 Kpa;
- coesione residua = 22 Kpa;
- peso unità di volume  $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 55 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young =  $59 \text{ kg/cm}^2$

#### **Unità C :**

- angolo d'attrito  $\Phi = 20^\circ$ ;
- angolo d'attrito residuo  $\Phi'r = 13^\circ$ ;
- coesione  $c' = 9 \text{ Kpa}$ ;
- coesione residua  $c'r = 3 \text{ Kpa}$ ;

---

<sup>8</sup> I parametri geotecnici delle Unità B e C sono stati ottenuti utilizzando anche i risultati di laboratorio eseguite su campioni di terreno simili nelle indagini a corredo del P.U.C. di Pietrelcina SG 138 campioni C1 – C2 – C3)

- coesione non drenata  $C_u = 12 \text{ Kpa}$ ;
- peso unità di volume  $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ ;
- modulo edometrico  $E_d = 72 \text{ kg/cm}^2$ ;
- modulo di Young  $= 157 \text{ kg/cm}^2$

#### Unità D :

- angolo d'attrito  $\Phi = 21^\circ$ ;
- coesione  $c' = 14 \text{ Kpa}$ ;
- peso unità di volume  $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$ ;

E' stata effettuata una verifica di stabilità allo stato di fatto considerando nel calcolo l'angolo di attrito residuo che il materiale presenta dopo che la rottura lungo una superficie di scivolamento si è verificata. Il risultato rispecchia le condizioni geostatigrafiche con superfici di rottura nei primi 10/15 m:

#### Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	41.192466/14.872409
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Residuo
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

#### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-33.9 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	311.7 m
Ascissa vertice destro superiore xs	452.11 m
Ordinata vertice destro superiore ys	516.12 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

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

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.61	2.4	0.28
S.L.D.	50.0	0.81	2.35	0.3
S.L.V.	475.0	2.61	2.29	0.38
S.L.C.	975.0	3.58	2.3	0.4

#### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.915	0.2	0.0187	0.0093
S.L.D.	1.215	0.2	0.0248	0.0124

S.L.V.	3.4825	0.28	0.0994	0.0497
S.L.C.	4.2823	0.28	0.1223	0.0611

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0994  
 Coefficiente azione sismica verticale 0.0497

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	178.0
2	20.2	184.58
3	52.69	196.44
4	86.06	204.78
5	121.18	211.37
6	135.67	216.2
7	145.33	214.44
8	166.41	218.83
9	203.29	222.78
10	245.0	225.86
11	291.1	234.64
12	343.79	248.69
13	381.11	257.91
14	415.36	269.76
15	453.12	283.37

**Piezometrica Nr..1**

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	170.45
2	30.92	178.93
3	75.77	193.2
4	108.89	200.85
5	131.16	205.88
6	163.53	210.35
7	207.26	215.17
8	252.02	219.65
9	284.93	224.65
10	335.53	236.67
11	400.52	255.11
12	453.12	274.56

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	166.85
2	20.46	170.43
3	68.3	183.81
4	98.41	193.18
5	152.28	202.21
6	196.11	206.9
7	237.27	212.58
8	280.43	218.27
9	336.31	230.32
10	370.77	241.36
11	408.58	253.4
12	436.35	264.11
13	453.12	269.37

**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

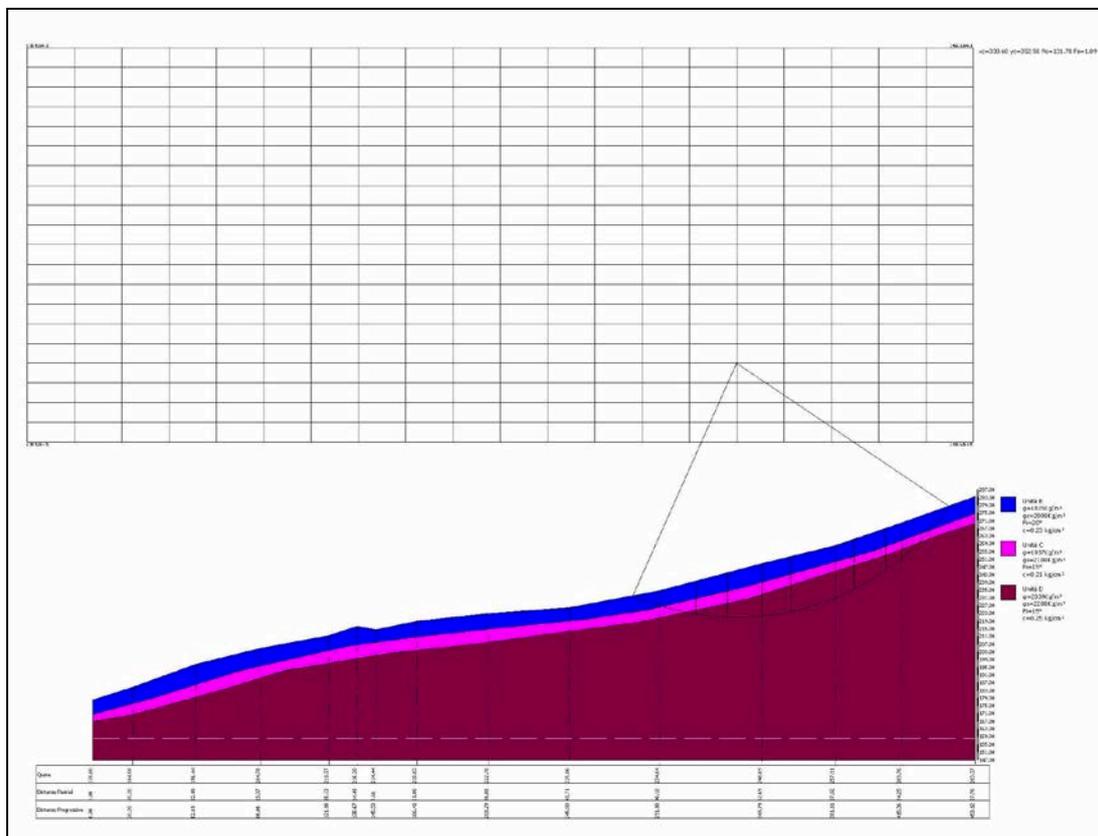
Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0.23	20	1825	2000	Unità B
2	0.21	15	1937	2100	Unità C
3	0.25	15	2039	2200	Unità D

### Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato 1.09  
 Ascissa centro superficie 330.6 m  
 Ordinata centro superficie 352.58 m  
 Raggio superficie 131.78 m

**xc = 330.603 yc = 352.582 Rc = 131.784 Fs=1.094**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	13.72	-20.6	14.66102857.6	10224.04	5112.02	0.23	20.0	0.0145725.5	101663.5		
2	18.72	-13.3	19.23447231.2	44454.78	22227.39	0.21	15.0	0.0504863.6	197917.0		
3	16.22	-5.5	16.3631727.6	62793.73	31396.86	0.25	15.0	0.0657704.1	239050.4		
4	17.75	1.9	17.76871991.0	86675.91	43337.95	0.25	15.0	0.0862541.4	302291.8		
5	14.7	9.0	14.88803209.4	79839.01	39919.5	0.25	15.0	0.0770935.0	270637.1		
6	22.63	17.4	23.711253350.0	124583.0	62291.48	0.25	15.0	0.01184069.0432666.1			
7	9.82	24.9	10.82509361.2	50630.5	25315.25	0.25	15.0	0.0482032.7	188848.7		
8	16.22	31.4	19.0758966.4	75441.27	37720.63	0.25	15.0	0.0726935.6	311199.7		
9	8.21	37.8	10.39314341.1	31245.5	15622.75	0.25	15.0	0.0305939.3	149743.5		
10	24.23	47.9	36.15486793.9	48387.31	24193.66	0.21	15.0	0.0478427.3	333936.5		



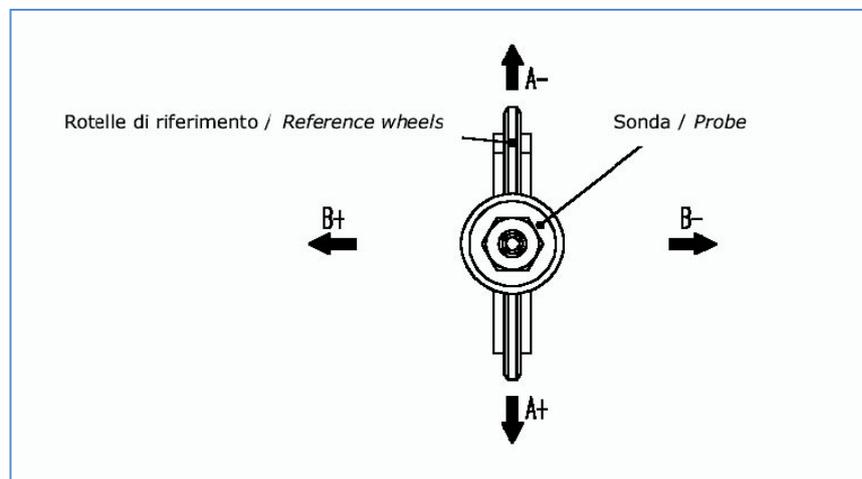
## 7. MONITORAGGIO INCLINOMETRICO

Sono stati installati n°2 inclinometri entrambi fino alla profondità di 25 m dal p.c. ed in corrispondenza dei movimenti franosi in area 8 e area 8 bis per il controllo dei movimenti e delle deformazioni dei terreni, nonché per la determinazione delle variazioni di assetto delle strutture. Per motivi dovuti alla mancanza di tempo utile per effettuare un monitoraggio di una frana lenta valutato in almeno 6 mesi di intervallo tra misure successive a causa della necessità di consegnare tale studio nei tempi stabiliti dalla convenzione, è stata eseguita dalla SIA s.r.l. soltanto la misura zero iniziale, per la taratura dell'inclinometro stesso e dello strumento. Sarà quindi necessario in fase di progettazione esecutiva effettuare le misure successive al fine di valutare con maggiore precisione la profondità di rottura.

I rilievi consistono nella misura della variazione delle inclinazioni rispetto alla verticale di punti significativi. Dall'inclinazione, mediante integrazione numerica, si risale agli spostamenti. La configurazione di misura più diffusa prevede che l'inclinometro (sonda inclinometrica) sia calato entro un tubo guida. La strumentazione di base è composta dalle seguenti parti principali:

La sonda inclinometrica, costituita da un corpo metallico cilindrico provvisto di 2 carrelli che consentono di mantenere costante l'orientamento azimuthale della sonda e quindi dei sensori contenuti. I sensori misurano l'inclinazione in due piani ortogonali, uno dei quali è il piano delle ruote dei carrelli ed è convenzionalmente chiamato asse A mentre l'altro è chiamato asse B. Le misure sono quindi puntuali, riferite cioè ad una precisa quota/distanza

*Definizione degli assi A e B*



Il cavo di misura, serve per calare la sonda in profondità e per effettuare il collegamento elettrico. E' armato con un cavo ed una treccia in acciaio inox per evitare l'allungamento, ed è provvisto di tacche tattili ogni 0,5 così che l'operatore non debba distrarre la vista dalla centralina di misura. La centralina di misura, permette di rilevare i valori inclinometrici alle varie quote nella forma più idonea per l'elaborazione. Può essere più o meno sofisticata con possibilità di registrare in una memoria i dati.

Le misure della sonda inclinometrica sono riferite tutte ad una lettura iniziale detta di zero, nel corso della quale viene anche normalmente verificata l'eventuale spirality delle guide. Le misure sono

eseguite due volte alle diverse quote, ruotando la sonda di 90°, per annullare gli errori sistematici. Le determinazioni con sonde removibili possono essere effettuate sia in discesa che in salita, con passo di 0,5 m o 1 m. Le letture possono essere riferite alla testa della tubazione inclinometrica (la cui posizione è determinata con misure ottiche) oppure al fondo (considerato ancorato o comunque solidale al substrato stabile).

## 8. IPOTESI DI OPERE DI SISTEMAZIONE, RISANAMENTO E RIDUZIONE DEL RISCHIO

La progettazione delle opere strutturali di messa in sicurezza e risanamento devono tenere conto delle singolarità geostratigrafiche, geomorfologiche e geotecniche riscontrate nelle varie aree di studio. Inoltre dovrà essere valutata la compatibilità idrogeologica con ciò che è dettato dalle norme di attuazione del PSAI dell' Autorità di Bacino Nazionale Liri, Volturno e Garigliano.

Al fine di ripristinare le condizioni di stabilità del corpo stradale sono stati ipotizzati interventi di tipo strutturale finalizzati sia al miglioramento delle caratteristiche geotecniche del corpo stradale e sia a rendere efficiente il sistema di drenaggio delle acque superficiali, quasi del tutto assente o malfunzionante e senza dubbio la principale causa di innesco dei dissesti. Gli interventi di tipo strutturale sono considerate tutte le opere volte alla stabilizzazione dei corpi di frana e/o alla diminuzione della suscettività dei versanti (interventi di drenaggio, strutture di sostegno, interventi di riprofilatura dei versanti, sistemi di rinforzo interno, ecc.).

La seguente tabella<sup>9</sup> fornisce una lista riassuntiva dei differenti interventi utilizzabili per la stabilizzazione di un particolare movimento franoso:

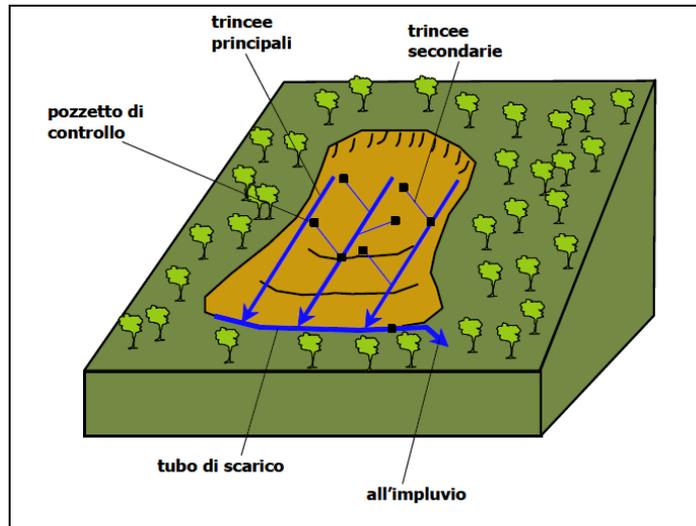
MATERIALE	TIPO DI FRANA	OPERE DI INTERVENTO														
		RIPROFILATURA DEL VERSANTE (A)				INTERVENTI DI DRENAGGIO (B)				STRUTTURE DI SOSTEGNO (C)			STRUTTURE DI RINFORZO INTERNE (D)		PROTEZIONE - ELIMINAZIONE DEL PROBLEMA (E)	
		Riduzione uniforme della pendenza (A1)	Appesantimento al piede (A2)	Scarico in testa (A3)	Gradonatura (A4)	Opere di protezione dall'erosione (B1)	Regimazione delle acque superficiali (B2)	Interventi di drenaggio superficiali (B3)	Interventi di drenaggio profondo (B4)	Strutture a gravità (C1)	Strutture in cemento armato (C2)	Strutture speciali (C3)	Rinforzo del materiale (D1)	Miglioramento delle caratteristiche meccaniche del materiale (D2)	Disgaggio (E1)	Opere di protezione (E2)
TERRA	SCIVOLAMENTI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	COLATE LENTE						X	X	X					X		

Ad esempio, nella stabilizzazione di una colata lenta, i gruppi principali di interventi a cui fare riferimento sono: gli interventi di drenaggio (categoria B sottocategorie B2, B3, B4) e il ricorso a strutture di rinforzo interne (categoria D sottocategoria D2). Esaminando le relative tabelle dei gruppi di intervento, si può notare come, nel caso degli interventi di drenaggio le possibili soluzioni di rimedio comprendano tutte le opere di drenaggio superficiale (da B2a a B2e) e gran parte di quelle di drenaggio subsuperficiale (da B3b a B3f) e profondo (da B4a a B4c);

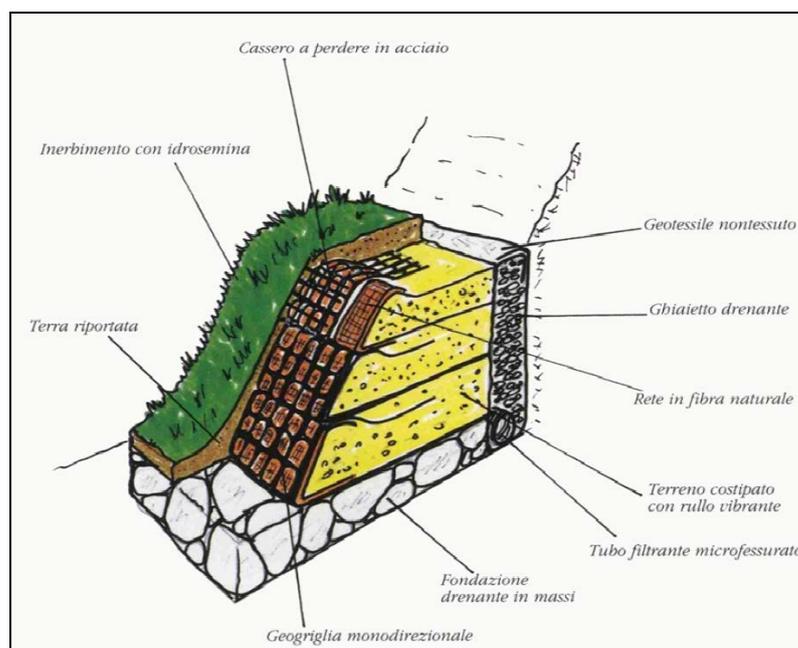
<sup>9</sup> Canuti et al, 2007 "Linee guida per la stabilizzazione delle frane"

Si descrivono, quindi, le ipotesi progettuali valutate per le singole aree (vedi allegati D) :

- AREA 5: è presente una frana per colata lenta riattivata con molta probabilità dopo l'evento del 2015 e dovuta a una mancanza di drenaggio delle acque sub superficiali. Una stabilizzazione può essere effettuata mediante la progettazione di dreni sub superficiali, tipo trincea drenante come schematizzato in allegato, per l'allontanamento delle acque meteoriche che dovranno essere recapitate a valle. Uno schema è mostrato in figura:

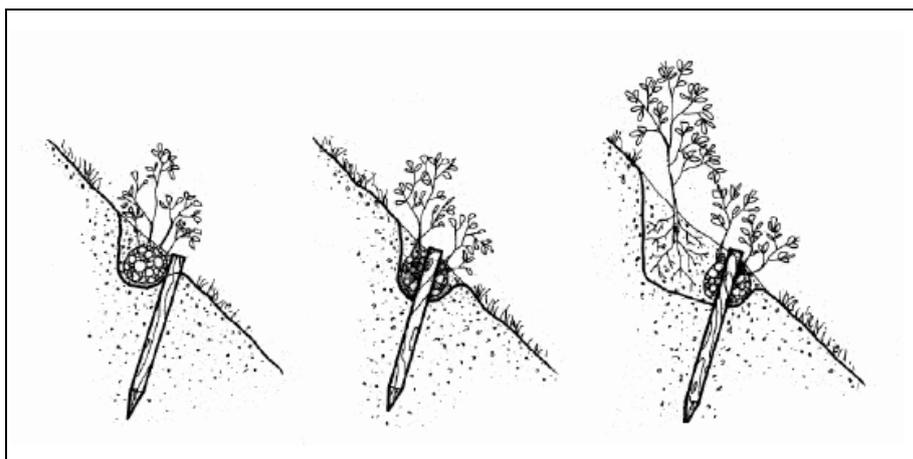


- AREA 6: è presente una frana di neoformazione che interessa la scarpata del rilevato stradale, che può essere sistemata con Terre Rinforzate che oltre a garantire un sostegno alla strada, svolgono un'ottima resistenza alla trazione ed all'erosione non sovraccaricando i terreni sottostanti. Uno schema è riportato in figura:

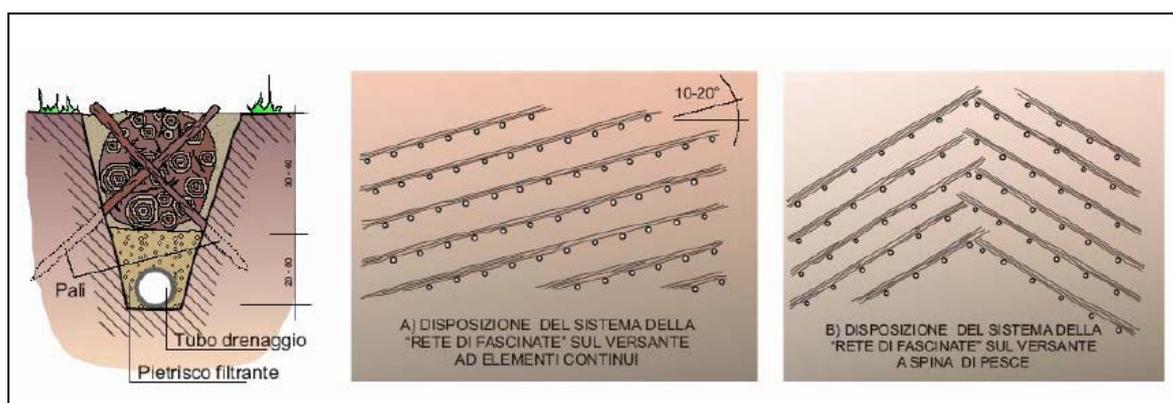


A monte dovranno essere effettuate opere di sistemazione con interventi di ingegneria naturalistica e drenaggi sui corpi di frana per limitare l'erosione areale e puntuale delle acque meteoriche. Un esempio possono essere le fasciate drenanti, interventi di

stabilizzazione superficiali e di rinverdimento, caratterizzati da fascine di ramaglie, di specie ad elevata capacità vegetativa (pioppo, salice, ecc.), disposte in trincee profonde e larghe dai 30 ai 50 cm, scavate parallelamente alle linee di livello del versante con un'interdistanza tra le file variabile da 1.5 a 2 m; le fascine sono fissate al terreno tramite paletti della lunghezza di 60-100 cm, infilati in mezzo ai rami o a valle della fascina stessa e ricoperte tramite il materiale proveniente dallo scavo superiore, come mostrato in figura:



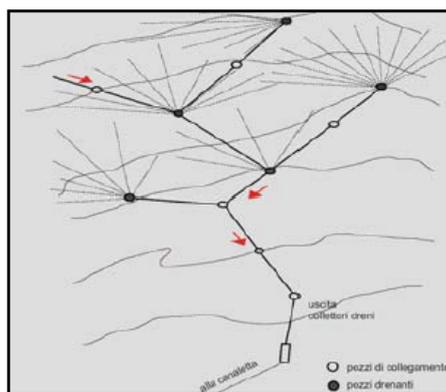
Le fascinate possono essere usate anche come sistemi di drenaggio superficiale, in questo caso sul fondo del fosso viene posto generalmente un tubo drenante circondato da materiale drenante; la disposizione delle fascinate dovrà essere inclinata rispetto alle linee di livello o a spina di pesce, per consentire l'allontanamento delle acque dall'area instabile:



- AREA 7: il tratto di rilevato attraversa il conoide attivo del vallone Acqua Fredda fungendo quasi da diga in terra, l'ipotesi progettuale è quella di bypassare tale conoide con un ponte o un viadotto che abbia compatibilità idraulica con gli eventi di piena prevedibili. Inoltre l'area a monte del rilevato stradale va rinaturalizzata con interventi di pulizia, opere di difesa spondale ed in alveo, come gabbionate e\o opere di ingegneria

naturalistica tipo palificate doppie e/o viminate rinforzate e briglie in legno così da evitare fenomeni di scalzamento laterale al piede oltre che regimare meglio le acque ruscellanti.

- AREA 8: è presente un movimento franoso per scorrimento/colata, l'ipotesi di intervento preveda una palificata in C.A. spinta almeno a 15 m dal pc e progettata seguendo le caratteristiche geotecniche e sismiche dell'area, una sistema di dreni sub orizzontali, a monte della palificata, con recapito delle acque in pozzetti e/o a valle e una sistemazione del versante a monte ed a valle del tratto stradale con risagomature ed opere di ingegneria naturalistica per limitare l'erosione areale e puntuale delle acque meteoriche con interventi tipo fascinate drenanti
- AREA 8 bis: anche qui è presente un movimento franoso per scorrimento/colata, l'ipotesi di intervento preveda una palificata in C.A. spinta almeno a 15/20 m dal pc e progettata seguendo le caratteristiche geotecniche e sismiche dell'area, una sistema di dreni sub orizzontali, a monte della palificata, con recapito delle acque in pozzetti e/o a valle. L'intervento consiste nella riduzione delle pressioni interstiziali del versante instabile, attraverso una serie di tubi drenanti microfessurati inseriti in fori pre-scavati ad andamento sub-orizzontale (in genere inclinati di 5°-15° secondo la pendenza del versante); per evitare l'ostruzione dei fori da parte della vegetazione, i primi 150 cm dei tubi non dovrebbero essere perforati. La disposizione dei dreni è di solito a raggiera o spina di pesce per facilitare la raccolta e l'evacuazione delle acque nonché la realizzazione dell'intervento (limitare il numero di posizionamenti del macchinario di perforazione).



Visto che la tecnica di realizzazione di questo tipo di intervento non permette la messa in posto di una massa filtrante intorno alla fessurazione dei dreni, questa può eventualmente essere protetta dall'intasamento da parte di sedimenti a granulometria fine tramite rivestimento con geotessili. Inoltre dovrà essere effettuata una sistemazione del versante a monte ed a valle del tratto stradale con risagomature ed opere si

ingegneria naturalistica per limitare l'erosione areale e puntuale delle acque meteoriche, come in precedenza descritte.

Lungo tutto il tratto di strada dovranno essere inoltre effettuati Interventi di manutenzione straordinaria della strada intercomunale con la realizzazione di un sistema di drenaggio delle acque meteoriche e di ruscellamento superficiale con canalette e pozzetti adeguati;

## 9. CONCLUSIONI

Lo scopo della presente relazione geologica è stato quello di valutare i risultati delle indagini realizzate e modellizzare dal punto di vista geologico, idrogeologico, geomorfologico e sismico nell'ambito del progetto definitivo per lavori di completamento e risanamento della S.P. di penetrazione e collegamento S. Giorgio La Molara S.S. 90 bis.

Sono state effettuate nei mesi tra febbraio e marzo 2017 le seguenti indagini geognostiche:

- n°6 sondaggi a carotaggio continuo, dei quali 2 spinti a 30 metri, 2 spinti a 25 metri, 1 spinto a 20 metri ed 1 spinto a 15 metri dal p.c.;
- n°5 prove penetrometriche DPSH spinte fino a profondità di rifiuto;
- Installazione di n°1 piezometri a tubo aperto;
- Installazione di n°2 inclinometri;
- Prelievo di n°10 campioni indisturbati;
- n°10 analisi caratteristiche fisiche generali campioni indisturbati;
- n°7 prova di taglio diretto;
- n°5 prova di taglio residuo;
- n°6 indagine sismica a rifrazione in chiave tomografica;
- n°4 indagine sismica MASW;
- n°1 indagine sismica DOWN HOLE;

Le analisi dei risultati, insieme ad un dettagliato rilevamento geologico e geomorfologico delle aree interessate dal progetto in esame, hanno consentito di stilare varie carte tematiche:

- Carta Geologica;
- Carta Idrogeologica;
- Carta Geomorfologica;
- DTM
- Sezioni geostratigrafiche e modello geologico
- Carta delle ipotesi delle opere di sistemazione

E' stato, quindi, possibile elaborare una modellizzazione sismica di base nei siti in oggetto i cui risultati sono così schematizzati:

Area 5:

Categoria sottosuolo C

Categoria topografica T1

Area 6

Categoria sottosuolo C

Categoria topografica T1

Area 7

Categoria sottosuolo C

Categoria topografica T1

Area 8

Categoria sottosuolo C

Categoria topografica T1

Area 8 bis

Categoria sottosuolo C

Categoria topografica T1

Si sottolinea inoltre che l'aree ricadono tutte molto vicine ovvero a distanza minore di 30 Km dalle aree identificate come sorgenti sismogenetiche. Sarà necessario tenere conto delle considerazioni di cui al paragrafo 4.13 e cioè che dal punto di vista ingegneristico si può tradurre, in termini strutturali, in una domanda sismica (lineare e/o non lineare) particolarmente severa in corrispondenza di particolari ordinate spettrali che dovrà in fase di progettazione esecutiva essere opportunamente analizzata e verificata.

L'analisi dei risultati delle indagini geognostiche in situ, di laboratorio e sismiche, congiuntamente al rilevamento geologico di dettaglio e correlate a quelle già in possesso dello scrivente, hanno permesso di delineare per l'aree in esame le unità geologiche che possono essere considerate uniformi dal punto di vista litotecnico, e così schematizzate:

- **Unità A** : Riporto; spessore da 0 a 2 m
- **Unità B**: Depositi eluvio – colluviali e/o depositi di frana caotici ed i conoide costituiti da limi sabbiosi, sabbie limose e limi – sabbioso – argilloso con inclusi clasti eterometrici ed eterogenei; spessore max 7 m
- **Unità C**: Limi con argilla sabbiosi con inclusi clasti eterogenei ed eterometrici ( porzione alterata substrato); spessore max 5 m
- **Unità D**: Argilla limosa debolmente sabbiosa intercalati a livelli marnosi, arenacei e calcarei intensamente fratturati ed alterati (substrato)

I parametri geotecnici generali sono descritti in capitolo 6.

Le tipologie di sistemazione delle aree in frana per la mitigazione del rischio idrogeologico sono schematicamente le seguenti:

Area 5:

- dreni sub superficiali, tipo trincea drenante

Area 6:

- Terre rinforzate, sistemazione versante con fascinate drenanti

Area 7:

- ponte o un viadotto sul vallone Acqua Fredda; rinaturalizzazione e pulizia alveo per ripristino sezione idraulica, opere di difesa spondale al piede.

Area 8:

- palificata in C.A, sistema di dreni sub orizzontali, fascinate drenanti

Area 8 bis:

- palificata in C.A, sistema di dreni sub orizzontali, fascinate drenanti

Lungo tutto il tratto di strada dovranno essere inoltre effettuati Interventi di manutenzione straordinaria della strada con la realizzazione di un sistema di drenaggio delle acque meteoriche e di ruscellamento superficiale con canalette e pozzetti adeguati;

Dovrà infine essere previsto ed attuato un adeguato piano di monitoraggio delle opere realizzate, anche considerando strumentazioni di misurazione in continuo e wireless, tipo pluviometri, misuratori di portata di piena ed inclinometri in remoto.

Da quanto fin qui esposto si può affermare che, in base ai risultati delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche effettuate, il modello geologico sopra descritto possiede caratteristiche geologiche e sismiche tali da garantire requisiti positivi relativamente alla progettazione in oggetto.

Avendo con ciò, a proprio giudizio, espletato l'incarico ricevuto, si rimette la presente relazione di consulenza tecnica, rimanendo a disposizione per ogni eventuale chiarimento.

Salerno, 4 maggio 2017

Dott. Geol Francesco Petrosino