

REGIONE PIEMONTE - PROVINCIA DI VERCELLI
COMUNE DI CERVATTO

Messa in sicurezza delle risorse idriche ed ambientali
del territorio comunale. Frazioni.

C.U.P. E67H22000210001

Riferimenti finanziamento intervento:

legge 30 dicembre 2018, n. 145, contributi assegnati per l' anno 2023
(comma 139 dell' articolo 1 della legge 30 dicembre 2018, n. 145, come
modificato dall' articolo 20 del decreto legge del 6 novembre 2021 n. 152,
convertito dalla legge 29 dicembre 2021, n. 233).

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE SPECIALISTICA DEL PROGETTO:
RELAZIONE DI ANALISI SISMICA
DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

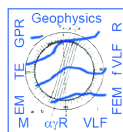
ELABORATI
TECNICI

EL.2

Data progetto:

Ottobre 2024

I tecnici incaricati:



AB GHEO FISICA S.R.L.S.

Indagini geologiche indagini geofisiche ambientali idrogeologiche

Dr. Alberto Pagano dottorato di ricerca in geofisica applicata

Via Leonardo Da Vinci 56 - 27055 RIVANAZZANO TERME (PV) - ITALY

REA PV-300745; C.f.: 02779480181

Tel.: 0383 944368; Mob. 339 4161265

e-mail: bertimagnet@alice.it

Pec: abgheofisicasrls@pec.it

Studio di Geologia

Dott. Geol. Marco Zantonelli

(Ordine Geologi Reg. Piemonte n° 175 Sez.A)

Via Vittorio Veneto n. 5 - BORGOSIESA (VC)

Tel. 335 6168114

Dott.Geol. Marco Zantonelli

firmato digitalmente

(Ordine Geologi Reg. Piemonte n° 175 Sez.A)

Prot. n.

Prot. dell'Ente:

Estremi atto di approvazione progetto:

PROGETTO P. 1754	COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO
Aprile 2024	

Indice

1. PREMESSA..... 3

2. METODO DI ANALISI DEL PROFILO DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI VS30 -
MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE [REMI] + ANALISI MULTICANALE DI ONDE DI SUPERFICIE
[MASW]..... 3

2.1 PROFILI DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI VS30 M 5

3. ANALISI DEI RISULTATI 8

PROGETTO P. 1754	COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO
Aprile 2024	

1. PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati emersi dalle indagini geologiche geofisiche realizzate a supporto del progetto di

MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP 9 IN COMUNE DI CERVATTO.

L'indagine è stata svolta nell'ottica della caratterizzazione geofisica sismica, a supporto della progettazione geologica del terreno dell'area ai sensi della normativa vigente comunale e nazionale (DM 17/01/2018, D.M. 11/03/1988).

Lo studio attuato è stato articolato nelle seguenti fasi:

- sopralluogo con rilievo di dati diretti, realizzazione di prove in sito specifiche per la valutazione geologico-stratigrafica geofisica del terreno di fondazione;
- caratterizzazione geofisica di tipo sismico dell'area in oggetto attraverso la realizzazione di misure sismiche ubicate in aree significative relativamente agli edifici ed alle strutture;
- interpretazione dei dati e relazione tecnico descrittiva.

Si fa presente, infine, che nei termini di legge il professionista incaricato conserva i diritti d'autore sul lavoro presentato, elaborati cartografici compresi e che la committenza può utilizzare gli stessi una sola volta e soltanto per lo specifico fine per il quale essi sono stati eseguiti essendo tra l'altro validi solo per l'area in oggetto.

2. METODO DI ANALISI DEL PROFILO DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI VS30 - MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE [REMI] + ANALISI MULTICANALE DI ONDE DI SUPERFICIE [MASW]

L'indagine per la caratterizzazione del suolo è avvenuta con misura diretta dei parametri geofisici per la definizione del profilo delle onde di taglio orizzontali. E' stata utilizzata la tecnica della misura dei *Microtremori Sismici Ambientali* [ReMi – *Refraction Microtremor*] + *Analisi Multicanale di Onde di Superficie* [MASW – *Multichannel Analysis of Surface Waves*].

PROGETTO P. 1754	COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA
Aprile 2024	MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre e dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, etc.), dall'attività antropica (attività, viabilità automezzi, rumore industriale). Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel *campo vicino* (10^{-15} [m/s²]²) in termini di accelerazione.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva consentono di valutare si basa sul concetto di contrasto di *impedenza* esistente nella successione delle unità "fisiche" stratigrafiche costituite dai depositi naturali del sottosuolo. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta, da quelle sopra e sottostanti, da un contrasto di *impedenza*; ossia la distinzione avviene per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

La curva di dispersione delle *onde di Rayleigh* [velocità V_R] è strettamente correlata al profilo di velocità delle onde di taglio S orizzontali [V_S]. Poiché inoltre $0.87 < V_R / V_S < 0.96$ (Aki e Richards, 1980), al fine di ottenere l'andamento delle V_S con la profondità, la curva di dispersione sperimentale viene analizzata con una procedura di inversione. La frequenza minima cui la curva di dispersione risulta riconoscibile vincola la profondità d'indagine.

La procedura richiede che il microtremore sismico sia relativamente omogeneo intorno al sito di misura; che il modello di sottosuolo sia assimilabile al caso di strati piani e paralleli e che alla base del modello sia posto un semispazio di spessore infinito.

Se i requisiti geometrici non sono soddisfatti, i risultati forniti dall'*array* vanno interpretati come valori *medi* nell'intorno investigato.

Si fa notare che in relazione a questo modello le onde Prime [V_P] e la densità ρ dei mezzi sono quasi ininfluenti. Pertanto i valori di V_P e ρ che compaiono nelle tabelle vanno considerati come indicativi.

Le componenti verticali naturali [REMI] e indotte artificialmente dalla superficie [MASW] del moto del suolo registrate vengono elaborate attraverso le seguenti procedure che consentono di ottenere la curva di dispersione delle *onde di Rayleigh* (relazione tra la velocità di propagazione e le frequenze):

1) analisi tipo REMI (*REFRACTION MICROTREMOR*, Louie, 2001). Le tracce vengono segmentate in finestre temporali nel dominio frequenza-velocità di fase (*trasformata ω -V*, o *slant-stack*, *trasformata di Fourier*) al fine di discriminare l'energia associata alle *onde di Rayleigh*, secondo il metodo *Refraction Microtremor*. Viene analizzato l'esito dell'elaborazione in ciascuna finestra e vengono quindi selezionate quelle informative. Il risultato è ottenuto dalla media delle analisi delle finestre selezionate;

2) Il risultato dell'analisi è rappresentato attraverso il contenuto energetico delle *onde di Rayleigh* presente nel rumore sismico ambientale, in funzione della frequenza e della velocità di fase di propagazione dell'onda di superficie. Si stima, secondo la letteratura scientifica in relazione alla strumentazione utilizzata di ottimo livello tecnologico ed ai parametri ambientali variabili che ne influenzano la risoluzione, generalmente una tolleranza nella valutazione della velocità delle velocità V_S pari a circa il 5% nei primi strati del sottosuolo; fino a circa il 15% per gli strati più profondi.

L'indagine è stata strutturata attraverso l'acquisizione dei dati di campagna in fasi di misura con sismografo di elevata qualità (24 Canali, 24 bit Delta-Sigma A/D Conversion; Wide dynamic range 117 db 4 ms; Preamp Gain 12-48 db). Ciò al fine di esplorare il sottosuolo

PROGETTO P. 1754	COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO
Aprile 2024	

attraverso un insieme di misure statisticamente significative. E' seguita l'elaborazione, l'interpretazione dei dati con illustrazione dei risultati conclusivi.

Le Tabelle seguenti illustrano, per la località di misura, il profilo di velocità delle onde S, associato alla curva sperimentale di dispersione energetica.

Nelle Tabelle sono riportati i valori del miglior modello di *adattamento* interpretato dall'inversione dei dati. Il computo del parametro Vs30, secondo le *Norme Tecniche per le Costruzioni* (D.M.17/01/2018), è calcolato utilizzando la formula:

$Vs\ 30\ Equivalente = 30 / \text{Somatoria } (h_i / Vs_i)$, in cui h_i e Vs_i sono spessori e velocità dei singoli strati.

2.1 PROFILI DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI VS30 M

Profilo 1. TORNANTE SP 9 IN COMUNE DI CERVATTO - [Vs30 m]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
171.05	-1.22	1.22
857.28	-2.15	0.93
988.62	-3.62	1.47
1100.36	-11.86	8.24
1335.36	-14.07	2.21
1560.66	-20.42	6.35
2124.88	-30.00	9.58

$$Vs_{30\ m} = 1093,89\ m/s$$

PROGETTO P. 1754	COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO
Aprile 2024	

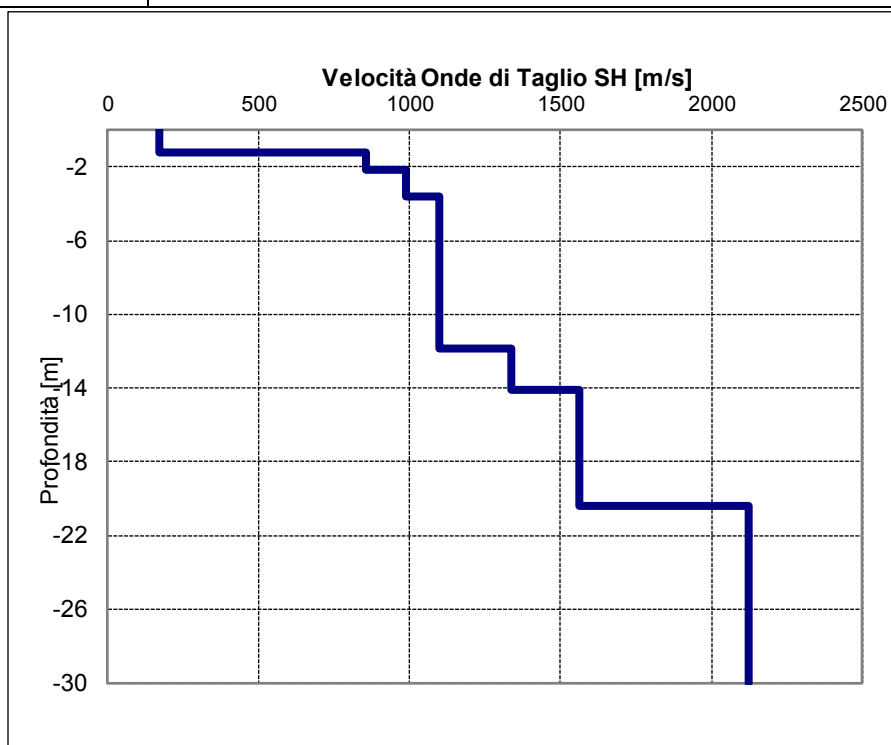


Figura 1. AREA D'INDAGINE. Profilo 1 di velocità Vs 30 m delle onde di taglio orizzontali.

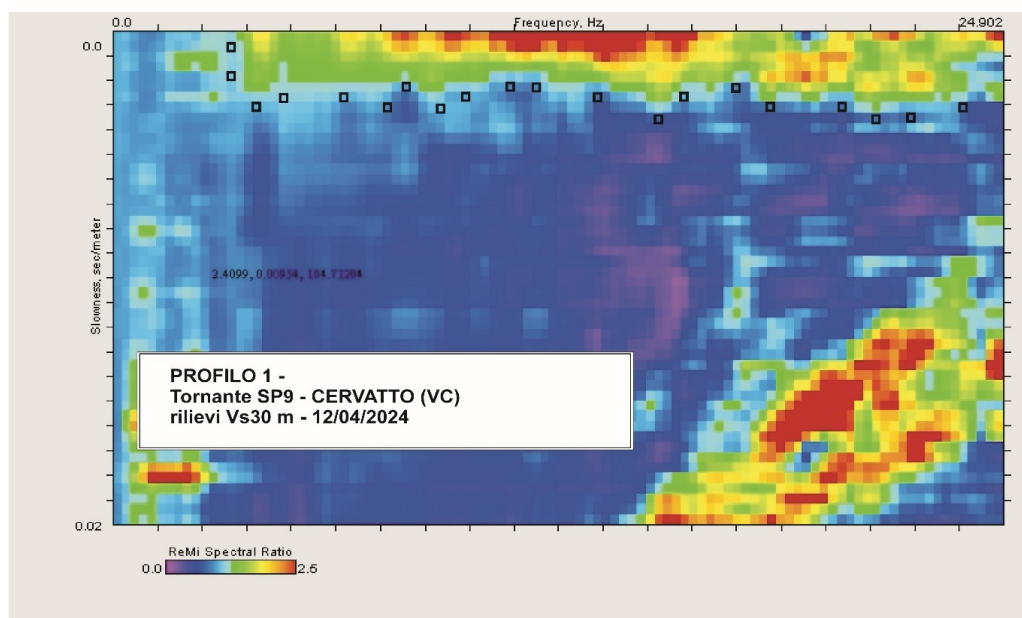


Figura 2 - AREA D'INDAGINE . Dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

<p>PROGETTO P. 1754</p>	<p>COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO</p>
<p>Aprile 2024</p>	



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6

Figura 3 – Profilo 1. Misura in sito delle onde di taglio orizzontali Vs30 m.

PROGETTO P. 1754	COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO
Aprile 2024	



Figura 4 – Ubicazione delle misure in sito delle onde di taglio orizzontali PROFILO 1 [Vs30 m] (traccia in BLU).

3. ANALISI DEI RISULTATI

La presente relazione illustra i risultati emersi dalle indagini geologiche geofisiche realizzate a supporto del progetto MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP 9 IN COMUNE DI CERVATTO.

L'indagine per la caratterizzazione geofisica del suolo è avvenuta con misura diretta del profilo di velocità delle onde di taglio orizzontali Vs 30 m. E' stata utilizzata la tecnica della misura dei *Microtremori Sismici Ambientali* [ReMi – Refraction Microtremor] + *Analisi Multicanale di Onde di Superficie* [MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves].

PROGETTO P. 1754	COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO
Aprile 2024	

L'interpretazione delle misure geofisiche realizzate nell'area di progetto consente di definire le caratteristiche litologiche fisiche di rigidità dei depositi naturali e la valutazione analitica del *Periodo di risonanza del sito T* sulla base dei contrasti di impedenza significativi rilevati nell'area e della profondità del substrato individuata.

La tipologia di suolo di fondazione risultante dalle prove geofisiche realizzate è corrispondente alla categoria di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018) di seguito descritta.

VELOCITÀ MISURATA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI = 1093 M/S CIRCA

Categoria di Suolo

Categoria A

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

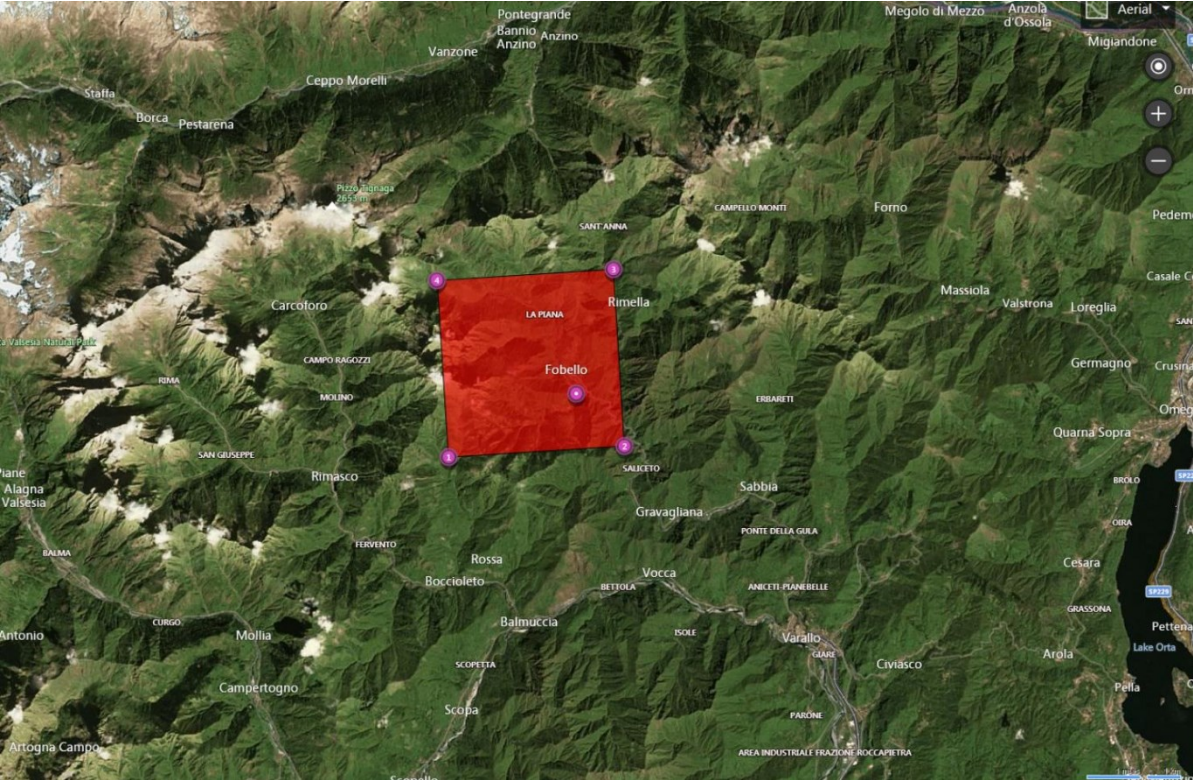
TABELLA 1 - AREA DI PROGETTO. Inquadramento della CATEGORIA DI SUOLO del sito.

Si individuano i seguenti periodi di sito e discontinuità a substrato sensibile (*bedrock like*) che generano frequenze di risonanza di sito compatibili con i valori calcolati analiticamente nella seguente tabella.

Si ritiene che, in riferimento al *grado di giudizio* nell'ottica antisismica ai sensi della normativa nazionale NTC2018, le indagini e le metodologie di analisi strumentale implementate comportino una valutazione di grado di *attendibilità* MEDIO-ALTA.

<div> <div> <div>PROGETTO</div> <div>P. 1754</div> </div> <div> <div>Aprile 2024</div> </div> </div>	<div> <div>COMUNE DI CERVATTO</div> <div>RELAZIONE SISMICA</div> <div>MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M]</div> <div>MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO</div> </div>
--	---

PARAMETRI SISMICI



Vita nominale (Vn):	50 [anni]
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso (Cu):	1
Periodo di riferimento (Vr):	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975 [anni]
Tipo di interpolazione:	Media ponderata
Coordinate geografiche del punto	
Latitudine (WGS84):	45.8830528 [°]
Longitudine (WGS84):	8.1620998 [°]
Latitudine (ED50):	45.8839874 [°]
Longitudine (ED50):	8.1631908 [°]

PROGETTO P. 1754	COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO
Aprile 2024	

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	10248	45.866010	8.111229	4491.93
2	10249	45.869160	8.182682	2234.90
3	10027	45.919060	8.178242	4070.22
4	10026	45.915910	8.106653	5633.94

Parametri di pericolosità sismica per
Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.021	2.537	0.167
SLD	50	0.027	2.491	0.200
SLV	475	0.059	2.641	0.291
SLC	975	0.071	2.710	0.308

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

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

1.000

Categoria sottosuolo: A

Categoria topografica:

T2: Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

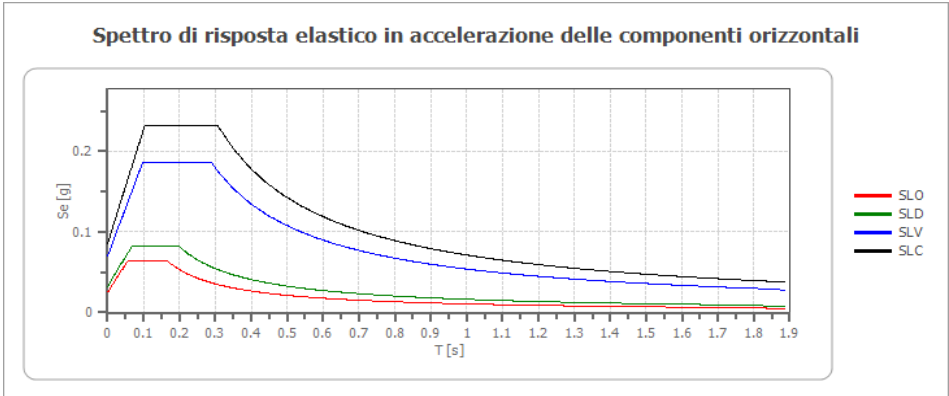
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.005	0.007	0.014	0.017
kv	0.003	0.003	0.007	0.009
amax [m/s²]	0.247	0.321	0.689	0.837
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.015	0.027	--
kv	--	0.008	0.013	--
amax [m/s²]	0.247	0.321	0.689	0.837
Beta	--	0.470	0.380	--

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

<div> <div> PROGETTO P. 1754 </div> <div> Aprile 2024 </div> </div>	<div> COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO </div>
---	--



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	1.0	0.021	2.537	0.167	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.056	0.167	1.684	0.025	0.064
SLD	1.0	0.027	2.491	0.200	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.067	0.200	1.709	0.033	0.082
SLV	1.0	0.059	2.641	0.291	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.097	0.291	1.834	0.070	0.185
SLC	1.0	0.071	2.710	0.308	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.103	0.308	1.885	0.085	0.231

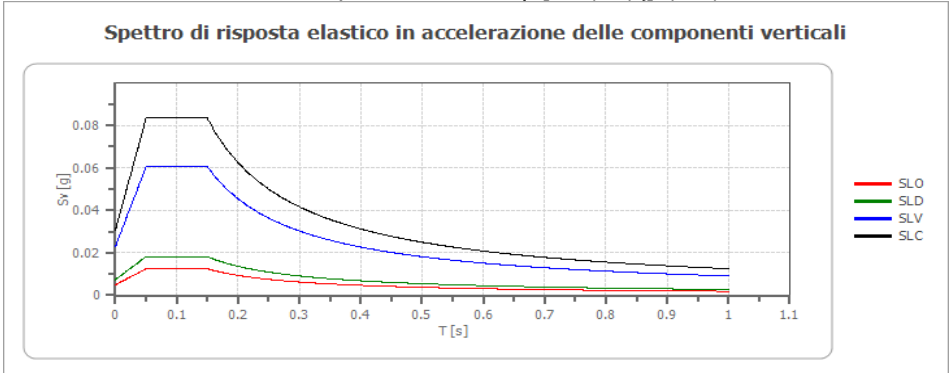
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

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 [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	1.0	0.021	2.537	0.167	1	1.000	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.005	0.012
SLD	1.0	0.027	2.491	0.200	1	1.000	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.007	0.018
SLV	1.0	0.059	2.641	0.291	1	1.000	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.023	0.061
SLC	1.0	0.071	2.710	0.308	1	1.000	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.031	0.083

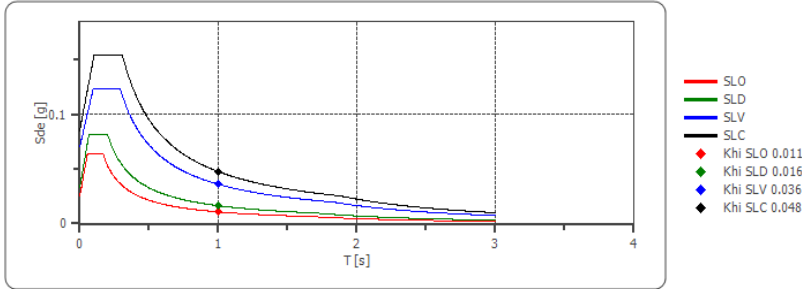
<div> <div> PROGETTO P. 1754 </div> <div> Aprile 2024 </div> </div>	<div> COMUNE DI CERVATTO RELAZIONE SISMICA MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M] MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO </div>
---	--

Spettro di progetto

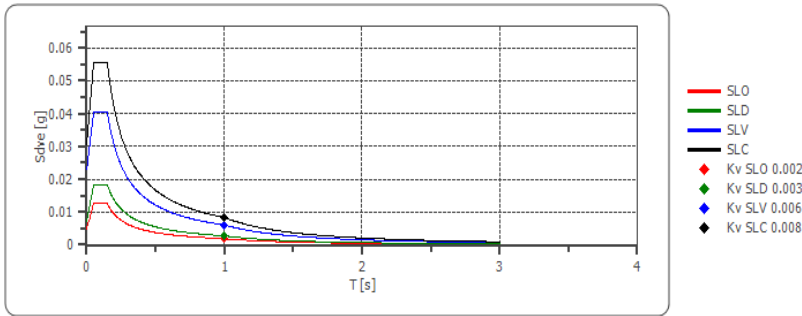
Fattore di struttura spettro orizzontale q:	1.50
Fattore di struttura spettro verticale q:	1.50
Periodo fondamentale T:	1.00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0.011	0.016	0.036	0.048
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0.002	0.003	0.006	0.008

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(T B) [g]
SLO orizzontale	1.0	0.021	2.537	0.167	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.056	0.167	1.684	0.025	0.064
SLO verticale	1.0	0.021	2.537	0.167	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.005	0.012
SLD orizzontale	1.0	0.027	2.491	0.200	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.067	0.200	1.709	0.033	0.082
SLD verticale	1.0	0.027	2.491	0.200	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.007	0.018
SLV orizzontale	1.0	0.059	2.641	0.291	1.000	1.000	1.200	1.200	1.500	0.097	0.291	1.834	0.070	0.124

PROGETTO P. 1754	<p>COMUNE DI CERVATTO</p> <p>RELAZIONE SISMICA</p> <p>MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI [VS 30 M]</p> <p>MESSA IN SICUREZZA TORNANTE SP9 IN COMUNE DI CERVATTO</p>
Aprile 2024	

SLV verticale	1.0	0.059	2.641	0.291	1.000	1.000	1.200	1.200	1.500	0.050	0.150	1.000	0.023	0.040
SLC orizzontale	1.0	0.071	2.710	0.308	1.000	1.000	1.200	1.200	1.500	0.103	0.308	1.885	0.085	0.154
SLC verticale	1.0	0.071	2.710	0.308	1.000	1.000	1.200	1.200	1.500	0.050	0.150	1.000	0.031	0.056

Dr. Marco Zantonelli

Geologo, Ordine Geologi Regione Piemonte n. 175



Dr. Alberto Pagano

Geofisico Ph.D., Ordine Geologi Regione Lombardia n. 721

