

spazio per la firma digitale	<p><b>REGIONE VENETO</b>  <b>PROVINCIA DI TREVISO</b></p> <p><b>COMUNE DI CONEGLIANO</b>  località: Capoluogo</p>
------------------------------	---

**indagine:**  
**ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**  
(D.M. 17/01/2018)

**progetto:**  
**PROPOSTA DI VARIANTE AL PIANO DEGLI INTERVENTI CON**  
**INDIVIDUAZIONE DELL'AMBITO DI INTERVENTO IN VIA**  
**CACCIATORI DELLE ALPI**

**ubicazione intervento:**  
**VIA CACCIATORI DELLE ALPI**

**committente**  
**COOPERATIVA C.E.R.V. s.c.p.a.**

<p>indagini e servizi</p>  <p><b>GEO-CUBE s.r.l. s.u.</b>  <small>GEOLOGIA, STRUTTURE E AMBIENTE</small></p> <p>Corso Italia n. 5  35010, Borgoricco (PD)  C.F. e Partita IVA n. 04733800280  REA 413897  capitale sociale 10.000 € i.v.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Dr. Geol. Francesco Benincasa</b></p> <p>sede: Corso Italia 5; 35010 – Borgoricco (PD)  sede distaccata: via Battisti 13; 30030 – Vigonovo (VE)</p> <p>tel: 049-9831700 / cell: 338-8484605  e-mail: benincasa_francesco@alice.it</p> <p style="text-align: center;"><a href="http://www.geo-cube.it">www.geo-cube.it</a></p> 	<p>timbro e firma di tecnico abilitato</p> 
---	---	--

**Data, 10 maggio 2018**

**Relazione n. 60-2018-RSL**

**SERVIZI OFFERTI**

Relazioni Geologiche e Geotecniche  
Prove Penetrometriche e Sondaggi  
Mappatura Sottoservizi

Studi di Compatibilità Idraulica  
Piani Comunali di Protezione Civile  
Quadro Conoscitivo dei P.A.T.

Microzonazione Sismica e Vs30  
Indagini con Georadar  
Monitoraggi Ambientali

Consulenze e prodotti assicurativi in materia di Danni da Eventi Naturali

## 1. PREMESSA

Su incarico del **Committente** è stata eseguita una campagna geofisica e redatto il presente rapporto tecnico allo scopo di caratterizzare il terreno di fondazione della **proposta di variante al Piano degli Interventi con individuazione dell'ambito di intervento in via Cacciatori delle Alpi** a Conegliano (TV).

Le verifiche in questione sono state eseguite allo scopo di fornire valutazioni e suggerimenti di supporto alla progettazione dell'intervento in oggetto, così come previsto dalla normativa vigente emanata con **D.M. 17.01.2088** "Aggiornamento delle nuove tecniche per le costruzioni". Tali disposizioni di legge stabiliscono i criteri da osservare per la pianificazione delle indagini specialistiche e per le verifiche di fattibilità.

Per la stesura del presente elaborato tecnico sono stati utilizzati precedenti riferimenti bibliografici e d'archivio che hanno supportato le informazioni geologiche e geotecniche raccolte mediante rilevamenti eseguiti in sito. In particolare, per accertare le condizioni d'idoneità dei terreni su cui insisteranno le strutture di progetto, sono state predisposte ed attuate le seguenti fasi di lavoro:

- **Caratterizzazione** dinamica di sito attraverso n. 1 misura sismica passiva (denominata HVSR1) eseguita in data **07.05.2018** con tromografo digitale triassiale e misura delle onde sismiche S nei primi 30 m di profondità (Vs30);
- **Analisi della Risposta Sismica Locale** attraverso la funzione di trasporto dell'accelerazione di base PGA0 fornita dalla normativa, dal suolo rigido (like bedrock) al piano di imposta della fondazione (PGA). La RSL è stata eseguita per lo stato limite SLV.

I dati raccolti ed elaborati nel presente studio, sono stati riferiti alla superficie topografica esistente al momento delle indagini e assunta come piano di riferimento posto a quota 0,00 m (p.c. = piano campagna). La sismostratigrafia ottenuta dalla prova geofisica ha profondità riferite a tale quota.

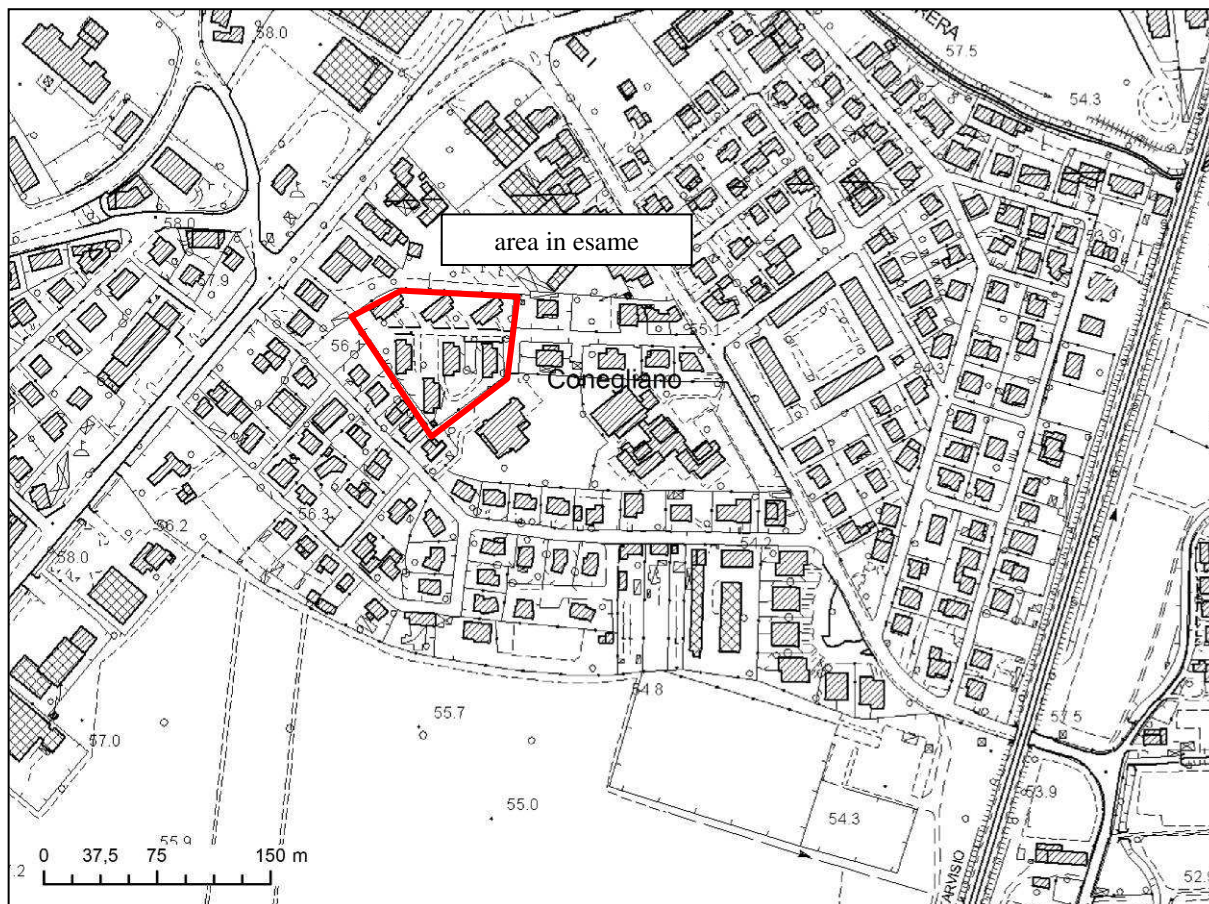
## 2. PIANO DI IMPOSTA DELLA FONDAZIONE

In assenza di informazioni specifiche il piano di imposta della fondazione è stato considerato a -0,4 m da p.c.

## 3. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA DI STUDIO

L'area in esame si trova circa 2,2 km a sud-ovest dal centro di Conegliano e si presenta occupata dai fabbricati esistenti oggetto di intervento (**figura n. 1**).

La superficie topografica dell'area in studio appare uniforme e non sono presenti rilievi e/o avvallamenti. La quota assoluta del piano campagna è mediamente di circa **+56,0 m s.l.m.**



*figura n. 1: C.T.R. n. 084120 – Conegliano (scala originaria 1:10.000)*

#### **4. ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9**

Le 42 zone-sorgente di ZS9 sono state identificate con un numero (da 901 a 936) o con una lettera (da A a F).

Nel processo che ha portato alla redazione di ZS9 è stato privilegiato il concetto di dominio cinematico posseduto da ciascuna zona.

La sismicità dell'area in esame risulta principalmente connessa alle zone (**figura n. 2**):

- 906 (Garda-Veronese);
- 905 (Friuli – Veneto Orientale);
- 912 (Dorsale Ferrarese).

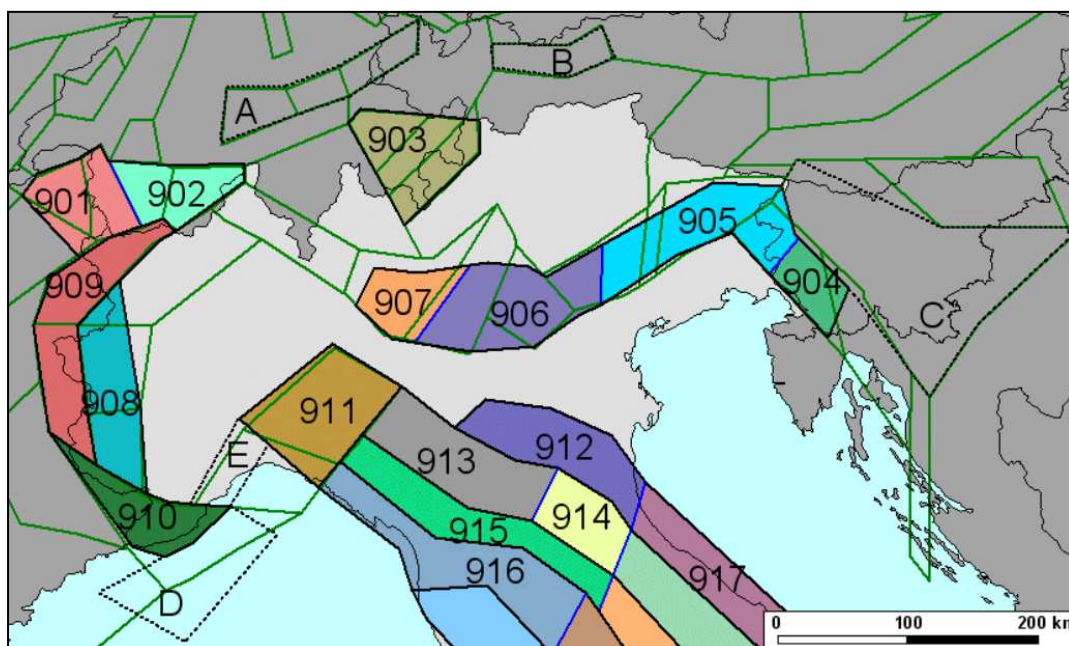


figura n. 2: zonazione sismo genetica ZS9 per il nord Italia (INGV – 2004)

## 5. CLASSIFICAZIONE GENERALE DELLA SISMICA DI BASE

La normativa di riferimento è rappresentata dal **D.M. 17 gennaio 2018** (*aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*) e dalla **O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006** (*nuova classificazione sismica nazionale*).

## 6. CLASSIFICAZIONE REGIONALE DELLA SISMICA DI BASE

Fatte salve le indicazioni della **D.G.R.V. n. 71 del 22 gennaio 2008**, il territorio comunale di **Conegliano (TV)** è stato classificato:

- dal punto di vista amministrativo nella **zona sismica n. 3**.
- dal punto di vista tecnico nelle sottozone con accelerazione di base  $a_g$  compresa tra 0,175 e 0,250 g (**figura n. 3**).

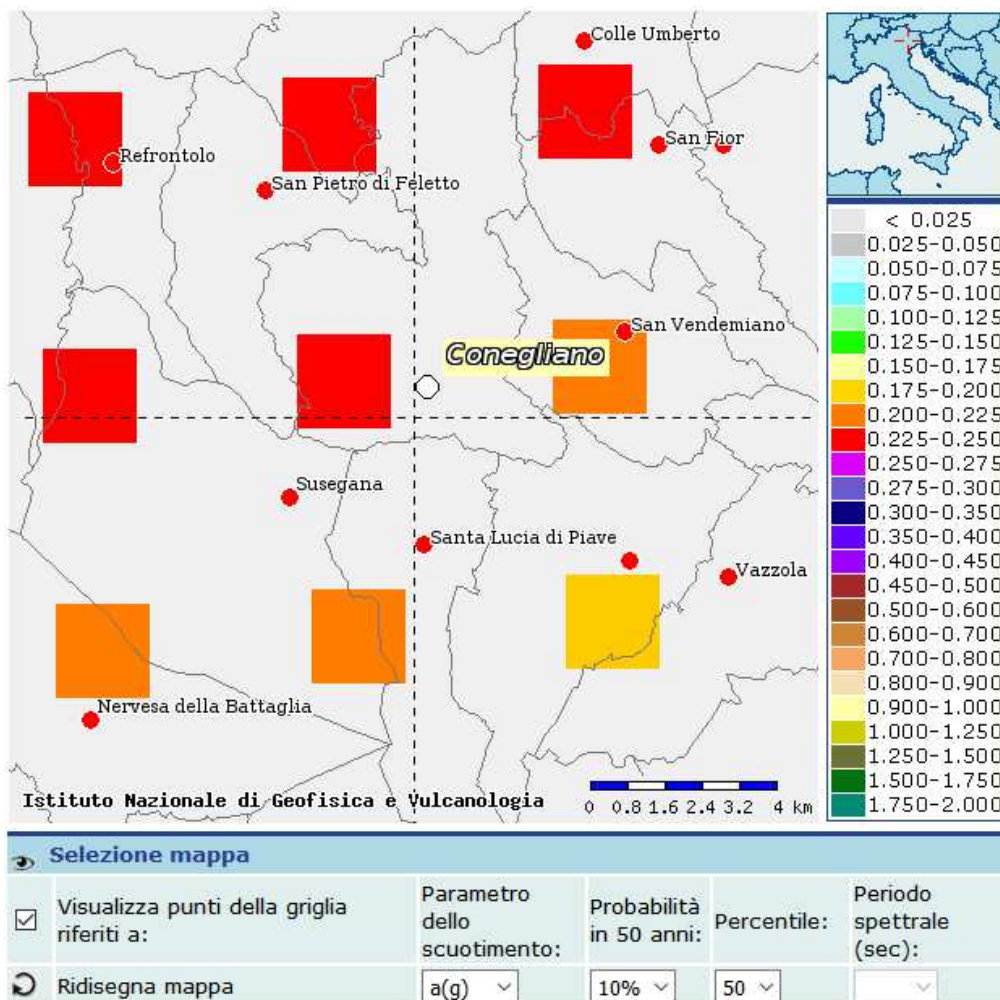


figura n. 3: classificazione sismica come da O.P.C.M. 3519 del 28/04/2006

## 7. PARAMETRI SISMICI

Di seguito vengono indicati i parametri utili alla progettazione antisismica così come previsto dalla nuova classificazione sismica e dalle nuove norme tecniche sulle costruzioni (figura n. 4).

Categoria topografica	T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$ (coefficiente di amplificazione topografica $St = 1,0$ ).
-----------------------	----	--

<p><i>Sito in esame (coordinate ED50):</i>                  latitudine: 45,874040                  longitudine: 12,283658                  Classe: 2                  Vita nominale: 50</p>	<p><i>Siti di riferimento (coordinate ED50):</i></p> <table border="0"> <tr> <td>Sito 1</td> <td>ID: 10750</td> <td>Lat: 45,8788Lon: 12,2710</td> <td>Distanza: 1111,618</td> </tr> <tr> <td>Sito 2</td> <td>ID: 10751</td> <td>Lat: 45,8795Lon: 12,3426</td> <td>Distanza: 4604,267</td> </tr> <tr> <td>Sito 3</td> <td>ID: 10973</td> <td>Lat: 45,8295Lon: 12,3436</td> <td>Distanza: 6789,666</td> </tr> <tr> <td>Sito 4</td> <td>ID: 10972</td> <td>Lat: 45,8288Lon: 12,2720</td> <td>Distanza: 5114,130</td> </tr> </table>	Sito 1	ID: 10750	Lat: 45,8788Lon: 12,2710	Distanza: 1111,618	Sito 2	ID: 10751	Lat: 45,8795Lon: 12,3426	Distanza: 4604,267	Sito 3	ID: 10973	Lat: 45,8295Lon: 12,3436	Distanza: 6789,666	Sito 4	ID: 10972	Lat: 45,8288Lon: 12,2720	Distanza: 5114,130
Sito 1	ID: 10750	Lat: 45,8788Lon: 12,2710	Distanza: 1111,618														
Sito 2	ID: 10751	Lat: 45,8795Lon: 12,3426	Distanza: 4604,267														
Sito 3	ID: 10973	Lat: 45,8295Lon: 12,3436	Distanza: 6789,666														
Sito 4	ID: 10972	Lat: 45,8288Lon: 12,2720	Distanza: 5114,130														

<i>Parametri sismici:</i>		<i>Coefficienti Sismici</i>	
Categoria di suolo:	B	<i>SLO:</i>	
Categoria topografica:	T1	Ss:	1,200
Periodo di riferimento:	50 anni	Cc:	1,470
Coefficiente cu:	1	St:	1,000
<i>Operatività (SLO):</i>		Kh:	0,014
Probabilità di superamento:	81 %	Kv:	0,007
Tr:	30 [anni]	Amax:	0,666
ag:	0,057 g	Beta:	0,200
Fo:	2,477	<i>SLD:</i>	
Tc*:	0,237 [s]	Ss:	1,200
<i>Danno (SLD):</i>		Cc:	1,450
Probabilità di superamento:	63 %	St:	1,000
Tr:	50 [anni]	Kh:	0,018
ag:	0,076 g	Kv:	0,009
Fo:	2,473	Amax:	0,894
Tc*:	0,254 [s]	Beta:	0,200
<i>Salvaguardia della vita (SLV):</i>		<i>SLV:</i>	
Probabilità di superamento:	10 %	Ss:	1,190
Tr:	475 [anni]	Cc:	1,380
<b>ag:</b>	<b>0,222 g</b>	St:	1,000
<b>Fo:</b>	<b>2,414</b>	Kh:	0,074
Tc*:	0,324 [s]	Kv:	0,037
<i>Prevenzione dal collasso (SLC):</i>		Amax:	2,594
Probabilità di superamento:	5 %	Beta:	0,280
Tr:	975 [anni]	<i>SLC:</i>	
ag:	0,301 g	Ss:	1,110
Fo:	2,415	Cc:	1,360
Tc*:	0,343 [s]	St:	1,000
		Kh:	0,094
		Kv:	0,047
		Amax:	3,276
		Beta:	0,280

<b>Disaggregazione del valore di ag con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni</b> (valori medi sito 1 - ID 10750)		
<i>Magnitudo</i>	<i>Distanza (km)</i>	<i>Epsilon</i>
5,240	7,430	0,775

*figura n. 4: parametri sismici dell'area di studio (estratto da database I.N.G.V.)*

## 8. ACCELERAZIONE AL SUOLO (metodo semplificato)

Le norme ammettono l'uso di una procedura semplificata per la valutazione delle azioni sismiche sulle opere strutturali.

Nella procedura semplificata, data l'intensità dell'azione sismica al substrato rigido di riferimento (bedrock o like bedrock), l'influenza della successione stratigrafica superficiale (convenzionalmente assunta corrispondente ai primi 30 m a partire dal piano di posa delle opere di fondazione) sulla risposta sismica locale è determinata, in prima approssimazione, facendo ricorso alle categorie di sottosuolo.

Le Norme stabiliscono cinque categorie (A, B, C, D, E) descritte sulla base di alcune loro proprietà geofisiche.

Le categorie di sottosuolo e topografiche danno origine ai rispettivi coefficienti:

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$S_t$  = coefficiente di amplificazione topografica.

$$S = S_s \times S_t$$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Nel caso in esame la categoria di sottosuolo è la B ed il coefficiente di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) è pari a:

$$S_s = 1,40 - (0,40 \times 2,414 \times 0,222) = 1,185$$

Ma:  $1,185 < 1,2$ . Pertanto,  $S_s$  avrà il valore di 1,185.

Quindi:  $S = 1,185 \times 1,0 = 1,185$

Utilizzando il metodo semplificato, il parametro  $a_{max}$  può essere valutato come segue:

$$a_{max} = S \times a_g$$

dove  $a_g = PGA_0 = 0,222 \text{ g}$

Nel caso in esame  $a_{max} = 1,185 \times 0,222 \text{ g} = 0,263 \text{ g} = PGA$

**Il metodo semplificato non garantisce la valutazione della precisa sollecitazione agente sul piano di fondazione. La verifica della Risposta Sismica Locale viene raccomandata dalle Norme, soprattutto per:**

- a) Costruzioni di classe d'uso III e IV;
- b) In sottosuoli di tipo D o peggiori;
- c) In siti a sismicità media o alta ( $a_g > 0,25 \text{ g}$ );
- d) In presenza di elevati contrasti di rigidezza al contatto fra gli strati contigui di terreno.

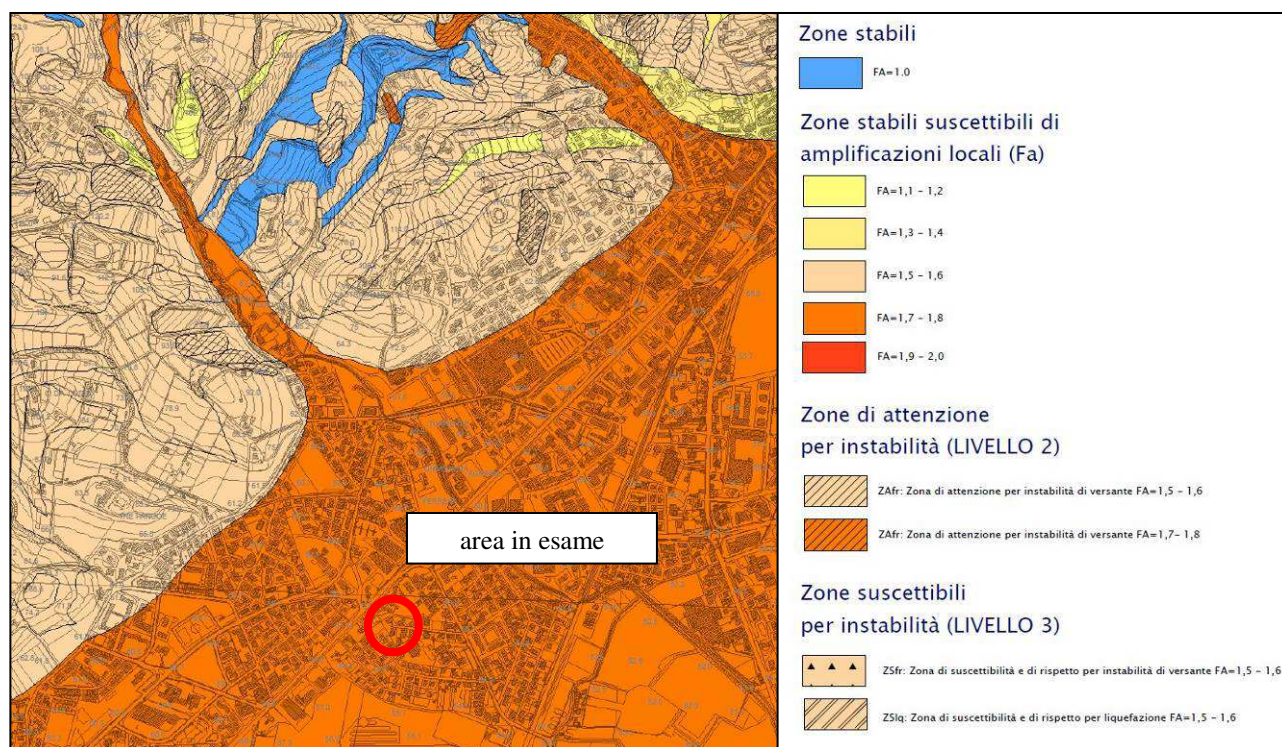
**Poiché la struttura in esame rientra al punto c), di seguito viene elaborata la R.S.L. con metodologia rigorosa.**

## 9. MICROZONAZIONE SISMICA COMUNALE

Per tale tema si fa riferimento alla carta di microzonazione sismica di II e III livello del territorio comunale di Conegliano (anno 09.01.2017, scala 1:8500).

Da tale documento risulta che l'area in esame è classificata (**figura n. 5**):

- Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (Fa) tra 1,7 e 1,8.



*figura n. 5: parametri sismici dell'area di studio (estratto da database I.N.G.V.)*

## 10. ANALISI DINAMICA DEL SITO

Allo scopo di caratterizzare il sito fino a profondità adeguate e di soddisfare la normativa di settore in termini di  $V_{s30}$  e caratteristiche dinamiche di sito, il lotto è stato oggetto di indagine sismica con tromografo digitale triassiale a stazione singola.

La metodologia permette di indagare il sottosuolo senza i problemi della sismica attiva (necessità di lunghi stendimenti per le acquisizioni e di impegnativi metodi di energizzazione) e permette la misura dei seguenti parametri:

- le caratteristiche dinamiche del sito indagato (frequenza di risonanza e amplificazione  $H/V$  del suolo);
- la velocità delle onde sismiche  $V_s$  e  $V_p$ ;
- la profondità delle principali discontinuità lito-stratigrafiche;
- la definizione della litologia prevalente;
- profondità del suolo rigido (bedrock o like bedrock).



La strumentazione è rappresentata da un tromografo in grado di misurare il rumore sismico (microtremore sismico) indotto dall'attività umana e/o dalla natura. Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici e dall'attività dinamica terrestre, oltre che, dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto più piccole ( $10^{-15}$  [m/s<sup>2</sup>]<sup>2</sup> in termini di accelerazione) di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio gli impulsi e/o le esplosioni della sismica attiva.

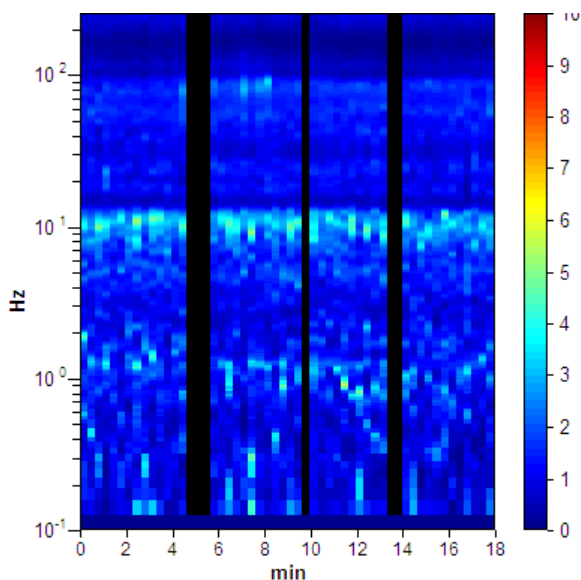
### PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE

<b>Alimentazione</b>	2 batterie alcaline x 1.5 VDC AA
<b>Voltaggio interno</b>	+3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
<b>Consumi</b>	75 mW (GPS disattivato), 450 mW (GPS attivo)
<b>Durata delle batterie</b>	80 h di misura continua con GPS disattivato
<b>Numero di canali</b>	3+1 analogici
<b>Amplificatori</b>	tutti canali con input differenziali
<b>Rumore</b>	< 0.5 $\mu$ V r.m.s. @128 Hz sampling
<b>Impedenza dell'input</b>	10 <sup>6</sup> Ohm
<b>Range di frequenze</b>	DC - 360 Hz
<b>Frequenza di campionamento</b>	16384 Hz per canale
<b>Frequenze di sovracampionamento</b>	32x, 64x, 128x
<b>Conversione A/D</b>	equivalente a 24 bit
<b>Massimo input analogico</b>	51.2 mV (781 nV/digit)
<b>Display grafico</b>	grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato
<b>Orologio</b>	interno, permanente con datario e allarme, può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
<b>Livella</b>	a bolla d'aria, elevata precisione orizzontale, sensibilità 5' d'arco (0.083°)
<b>Conessioni</b>	porta USB, tipo B
<b>Registrazione dati</b>	memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
<b>Dimensione e peso</b>	10 x 14 x 7.7 (altezza) cm, 1.1 kg, contenitore di alluminio
<b>Accoppiamento col terreno</b>	su punte e cuscinetto reologico
<b>Condizioni operative</b>	temperatura - 10 / +70°C umidità 0-90% senza condensa
<b>Sensori</b>	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccaggio quando non in acquisizione

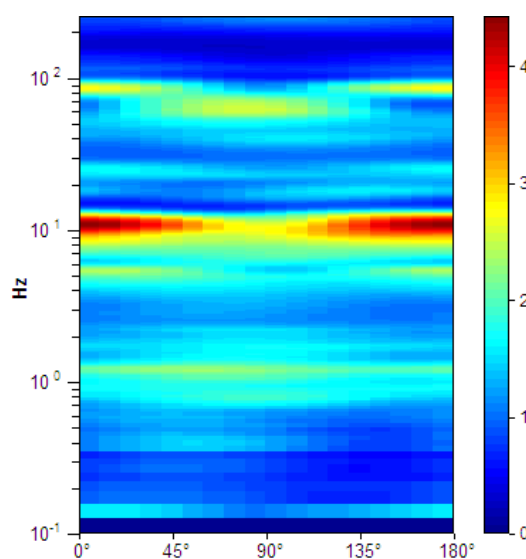
L'avanzata metodologia geofisica impiegata, ha quindi permesso, oltre alla determinazione delle caratteristiche stratigrafiche profonde del sito (**figura n. 6**, **figura n. 7**, **figura n. 8**, **figura n. 9**) e delle Vs30 secondo la normativa, anche la valutazione del periodo proprio del suolo, parametro necessario per scongiurare possibili condizioni di doppia risonanza suolo-edificio.

### ACQUISIZIONE SISMICA HVSR 1

#### ACQUISIZIONE H/V

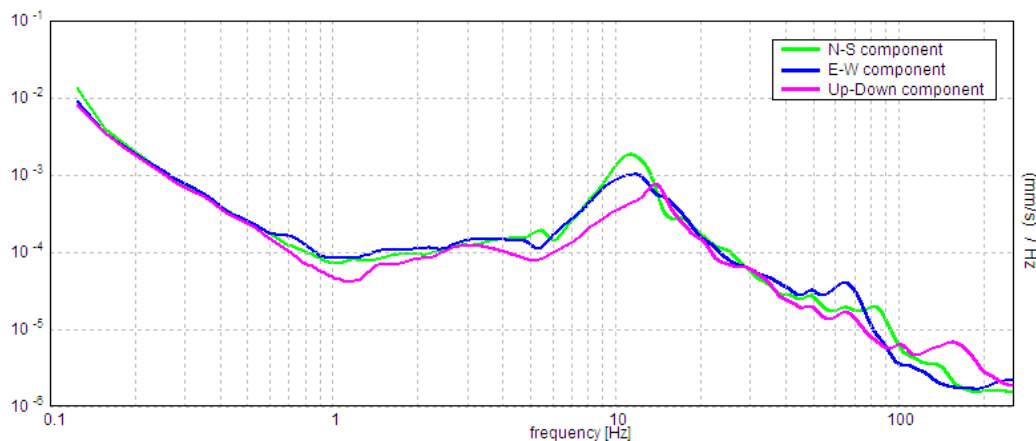


#### DIREZIONALITA' DEL RAPPORTO H/V



*figura n. 6: acquisizione*

### SINGOLE COMPONENTI SPETTRALI



*figura n. 7: spettri in velocità delle tre componenti del moto*

### CONFRONTO TRA CURVA H/V E CURVA TEORICA

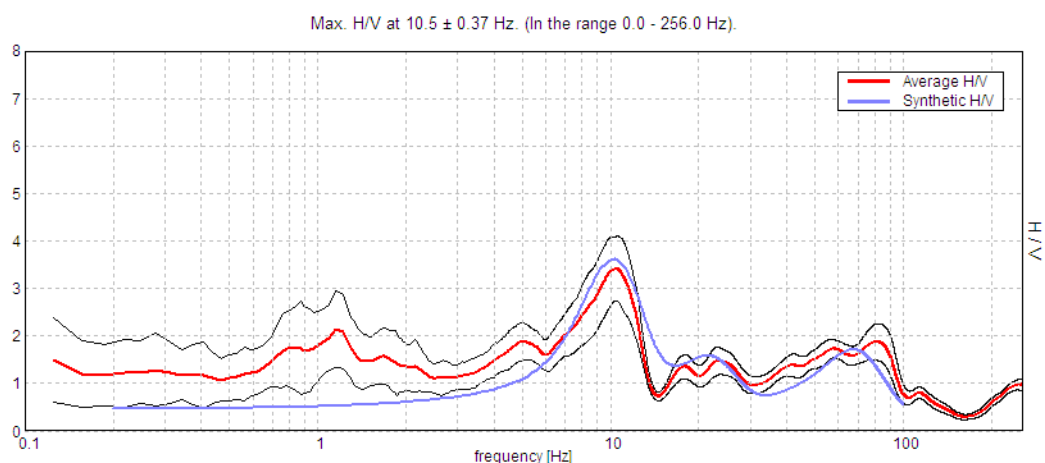


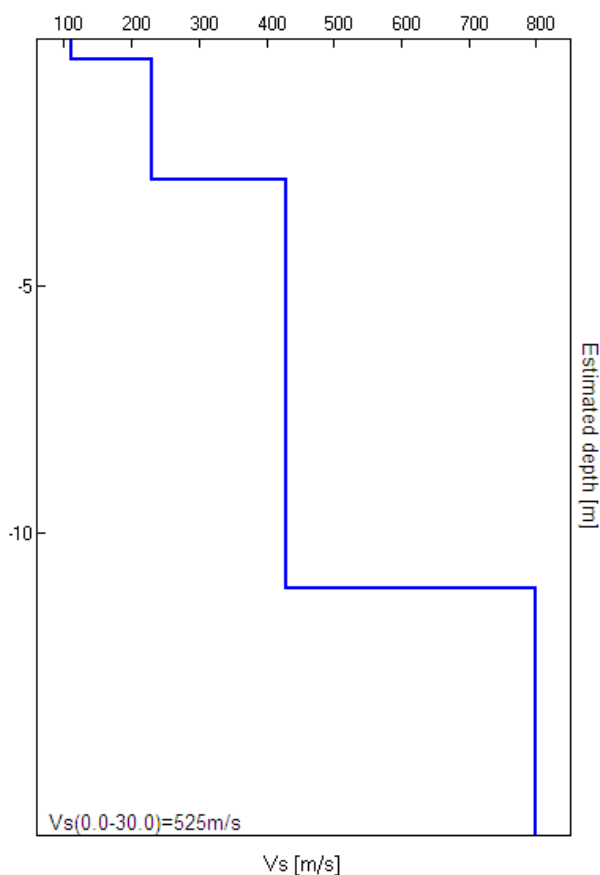
figura n. 8: confronto tra curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (azzurro)

### TABELLA RIASSUNTIVA

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vs30 [m/s]
-0,40	0,40	110	525
-2,85	2,45	230	
-11,10	8,25	430	
inf.	inf.	800	
FREQUENZA DI RISONANZA DEL TERRENO = 10 Hz			
PERIODO PROPRIO DEL TERRENO = 0,1 s			
AMPLIFICAZIONE H/V DEL TERRENO = 3,4			

PROFONDITA' DEL SUOLO RIGIDO (like bedrock) = 11,10 m da p.c.

**VELOCITA' ONDE SISMICHE**



**SISMOSTRATIGRAFIA**

Metri da p.c.	Litologia prevalente
-0,40	terreno vegetale
-2,85	limosa
	ghiaiosa
-11,10	
oltre	suolo rigido (like bedrock)

*figura n. 9: sismostratigrafia*

**11. VELOCITA' DELLE ONDE SISMICHE E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO**

Dall'indagine sismica passiva è stato possibile ricavare la velocità di propagazione delle onde nel terreno. Per gli scopi del presente studio (principalmente dinamici), di seguito viene riportata la Vs30 della colonna stratigrafica.

Descrizione	Prova	Profondità (metri)	Vs	Categoria di sottosuolo
indagine sismica passiva a stazione singola	HVSR1	0,0÷30,0	525 m/s	B

In base alle indagini eseguite in sito di seguito viene indicata la categoria di sottosuolo del terreno di fondazione:

Categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione	B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
--	---	---

## 12. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA

### Sondaggio di taratura

Per valutare le caratteristiche della stratigrafia locale, si fa riferimento alla carta delle sezioni litostratigrafiche contenute nello studio di microzonazione sismica comunale (data 09.01.2017).

Da tale documento risulta che l'are in esame è classificata (**figura n. 10**):

- ML, limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose e argillose, limi argillosi di bassa plasticità.

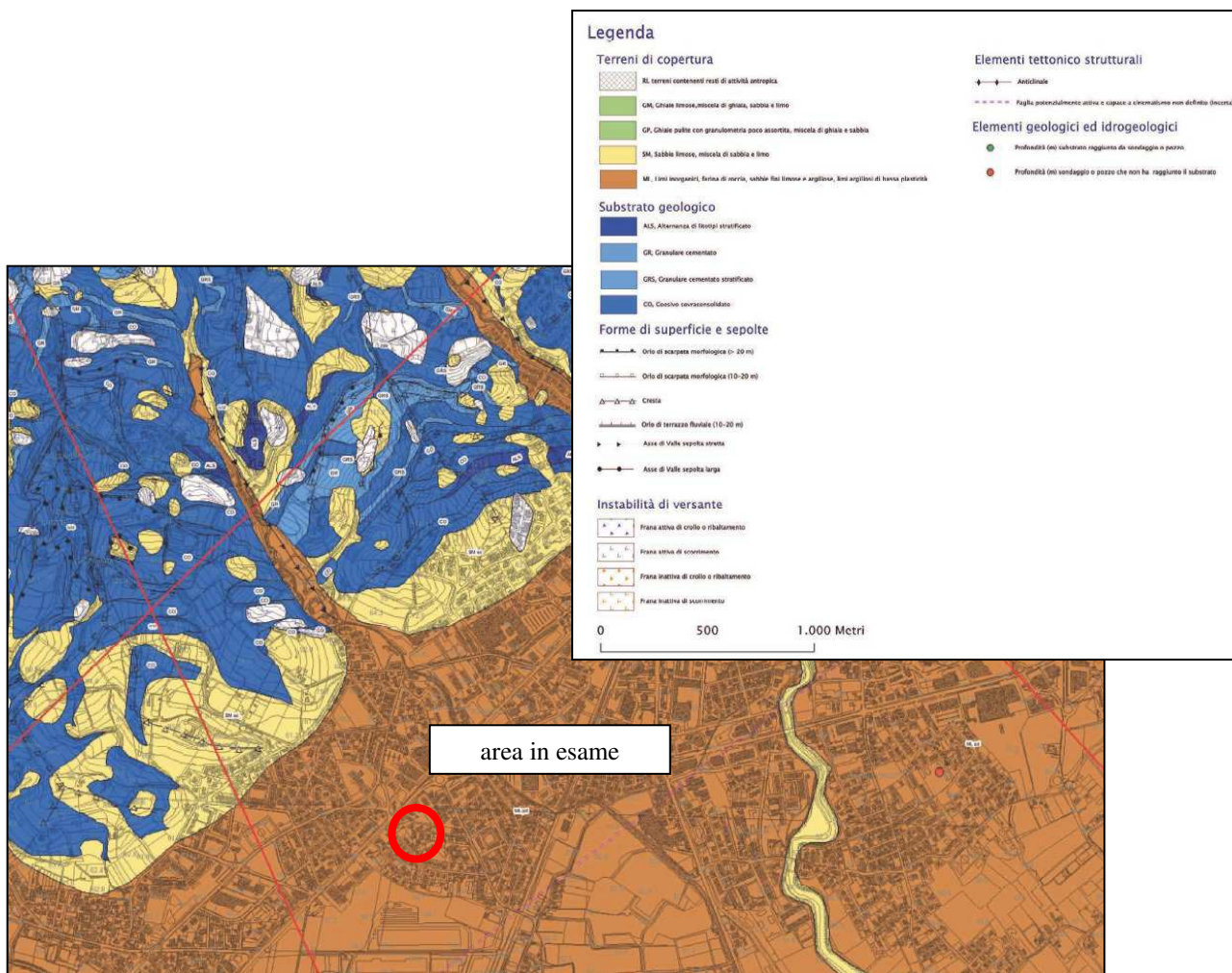


figura n. 10: estratto carta geologico-tecnica di I livello

### 13. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il periodo di riferimento  $V_R$  si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$  definito, al variare della classe d'uso.

La vita nominale  $V_N$  relativa al presente intervento di progetto è di **50 anni** (tipo di costruzione 2 “*Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale*”).

La classe d'uso utilizzata è:

**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.*”

A tale classe corrisponde un **coefficiente d'uso  $C_U$  pari a 1,0**. In questo modo si ottiene un **periodo di riferimento  $V_R$  di 50 anni**.

Le forme degli spettri di risposta ai sensi delle NTC 2018 sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

**$a_g$**  : accelerazione orizzontale massima al sito;

**$F_0$**  : 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.

Nota la vita di riferimento della costruzione  $V_R$  e la probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate a ciascuno degli stati limite considerati, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili è possibile ricavare le corrispondenti azioni sismiche.

Il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni rappresenta il parametro caratterizzante la pericolosità sismica. Esso è legato a  $P_{VR}$  e  $V_R$  dalla:

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

Con software denominato Spettri-NTCver 1.0.3 (distribuito dal Consiglio Superiore dei LL.PP.) si ottengono i parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  (ottenuti con il calcolo della media ponderata) per i periodi di riferimento corrispondenti agli stati limite considerati sono di seguito riportati in forma tabulare.

STATO LIMITE	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c$ (s)
SLO	30	0,057	2,481	0,237
SLD	50	0,077	2,476	0,253
SLV	475	0,226	2,412	0,324
SLC	975	0,306	2,409	0,343

*figura n. 11: valori  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per i diversi stati limite*

La scelta dello stato limite da utilizzare dipenderà dalle verifiche che il progettista intenderà eseguire.

**Nei calcoli successivi è stato considerato lo stato limite SLV con accelerazione di ancoraggio PGAo di 0,226 g (figura n. 11).**

## 14. DEFINIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE IN INGRESSO

Le azioni sismiche in ingresso sono costituite da **accelerogrammi** rappresentativi del moto sismico atteso del sito, inteso come riferimento rigido affiorante (sottosuolo di categoria A – affioramento roccioso o terreni molto rigidi). Il capitolo 3.2.3.6 delle NTC descrive le caratteristiche che devono avere gli accelerogrammi per poter rispondere alle richieste normative.

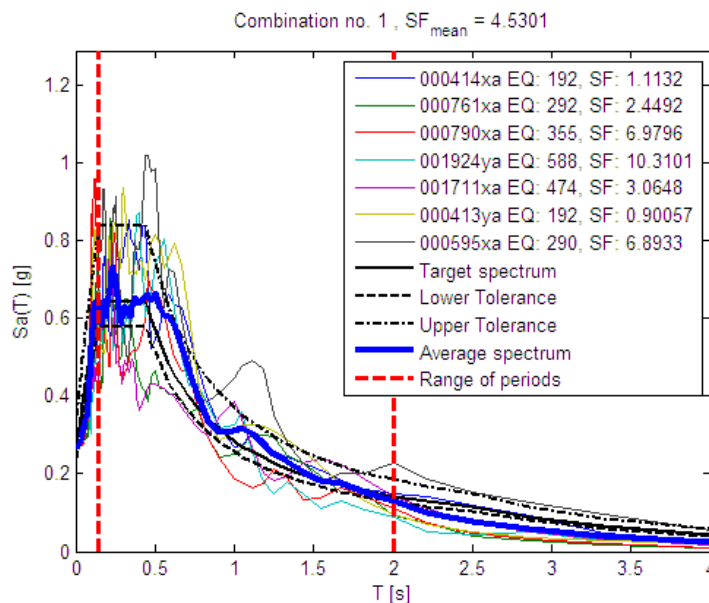
Nel caso in esame, sono stati utilizzati accelerogrammi naturali, ossia registrazioni di eventi sismici reali. Attualmente il metodo più utilizzato per estrarre da una banca dati accelerometrica eventi con le caratteristiche sopra elencate è quello di ricorrere all'uso del software REXEL versione 3.5 (Iervolino et al., 2009) che implementa al proprio interno un elevato numero di terremoti e consente di effettuare ricerche di eventi compatibili, per numero e caratteristiche, con le prescrizioni delle NTC.

REXEL permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle Norme Tecniche per le Costruzioni, dell'Eurocodice 8 (EC8-CEN, 2003), dell'ASCE/SEI 7-05 (ASCE, 2006) o completamente definiti dall'utente.

I database inclusi nel software sono:

- European Strong-motion Database (ESD);
- Italian Accelerometric Archive (ITACA) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV);
- SIMBAD v 3.0, Selected Input Motion for displacement-Based Assessment and Design (Smerzini e Paolucci, 2011).

I tre database coprono diversi intervalli di magnitudo-distanza, di conseguenza, sulla base delle caratteristiche di sito, si può scegliere di utilizzare uno solo dei tre, o tutti. Nel caso in esame, è necessario un numero sufficiente alto di accelerogrammi reali è maggiormente rappresentativo della naturale variabilità del moto di input; per tale ragione sono stati utilizzati n. 7+7+7+7 accelerogrammi (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.12).



*figura n. 12: spettri di accelerazione SLV dei 7 accelerogrammi naturali utilizzati nelle elaborazioni*

Gli accelerogrammi sono stati scalati alla accelerazione sismica di base attesa per ciascun stato limite.

Fondamentale importanza riveste la funzione di trasferimento dell'accelerazione dal bedrock (accelerazione di ancoraggio) al piano di posa della fondazione. Nel caso in esame, le indagini hanno permesso di individuare il suolo rigido (definito like bedrock) alla profondità di **11,10 m da p.c.**

## 15. SPOSTAMENTO ORIZZONTALE AL SUOLO

Lo spettro di spostamento medio ottenuto dai 7+7+7+7 accelerogrammi naturali (**figura n. 13**) con il software REXEL-DISP v1.2, indica che per il periodo proprio  $T$  del terreno (0,1 sec) corrisponde uno spostamento massimo al suolo di:

- 1,5 cm nella condizione di SLV.



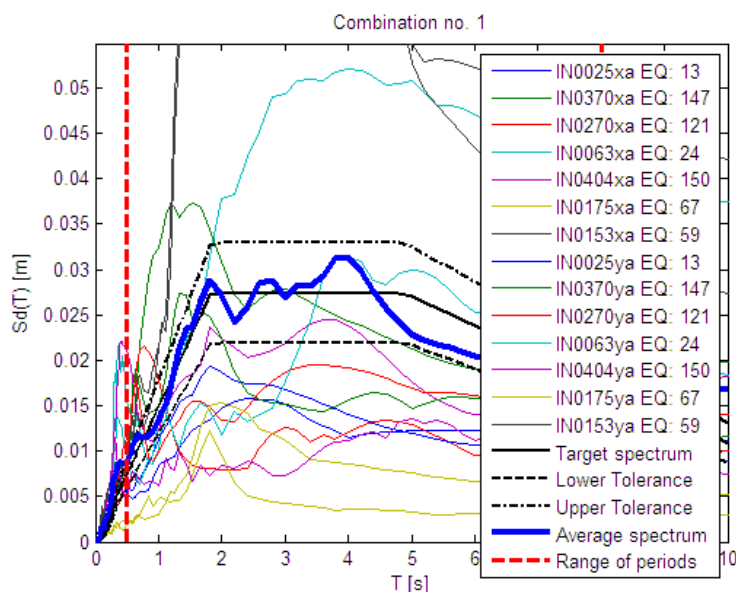


figura n. 13: spettri di spostamento SVL dei / accelerogrammi naturali utilizzati nelle elaborazioni

## 16. PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione. Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
  - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
- 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato. Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero:

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M-1}{10}$$

dove  $M$  rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, si considera un suolo variamente stratificato composto da  $N$  strati orizzontali (**figura n. 14**) di cui l' $N$ -esimo è il letto di roccia (bedrock).

Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt  $\left[ \tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$ , la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove:  $u$  rappresenta lo spostamento;  $t$  il tempo;  $\rho$  la densità;  $G$  il modulo di deformazione al taglio;  $\eta$  la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z)^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (3)$$

dove  $\omega$  rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto  $G^* = G + i\omega\eta$ , ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove  $\xi$  rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice \* indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z,t) = E e^{i(\alpha+k^*z)} + F e^{i(\alpha-k^*z)} \quad (7)$$

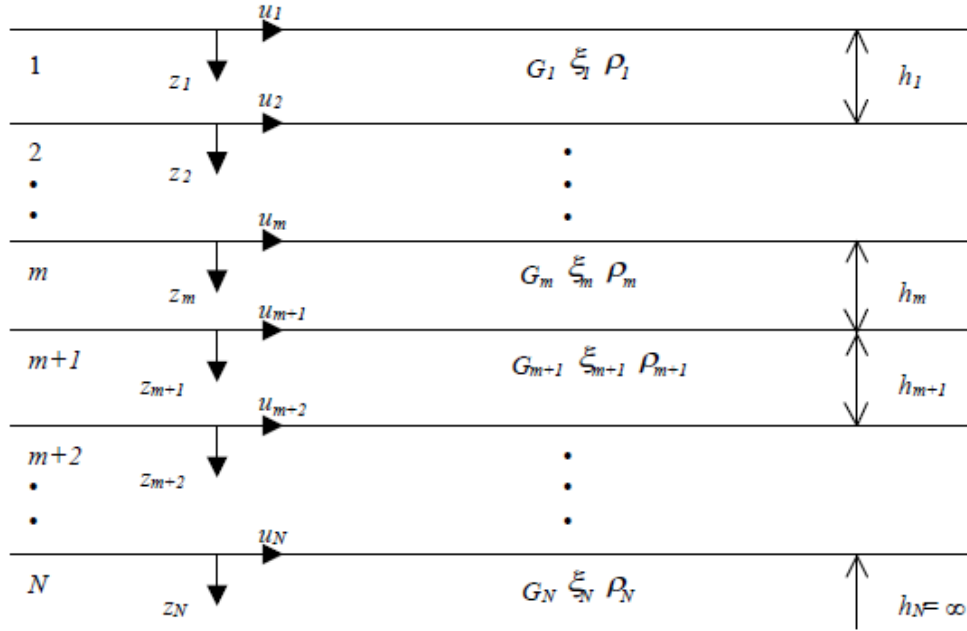


figura n. 14: esempio di stratigrafia per riferimento.

Dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre  $k^*$  rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[ E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato  $m$  di spessore  $h_m$  gli spostamenti, rispettivamente in sommità ( $z = 0$ ) ed al fondo ( $z = h_m$ ), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' $m$ -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove  $\alpha_m^*$  rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati  $m$  ed  $m+1$ , ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_{m+1}^* G_{m+1}^*}{k_m^* G_m^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che  $E_1 = F_1$ .

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad  $m$ . La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  che lega gli spostamenti in sommità degli strati  $m$  ed  $n$  è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

$A_{mn}$  rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti  $m$  e  $n$ .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$v(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad a(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati  $n$  ed  $m$ :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{v_m}{v_n} = \frac{a_m}{a_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità  $z$  e al tempo  $t$  dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di **figura n. 15** in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

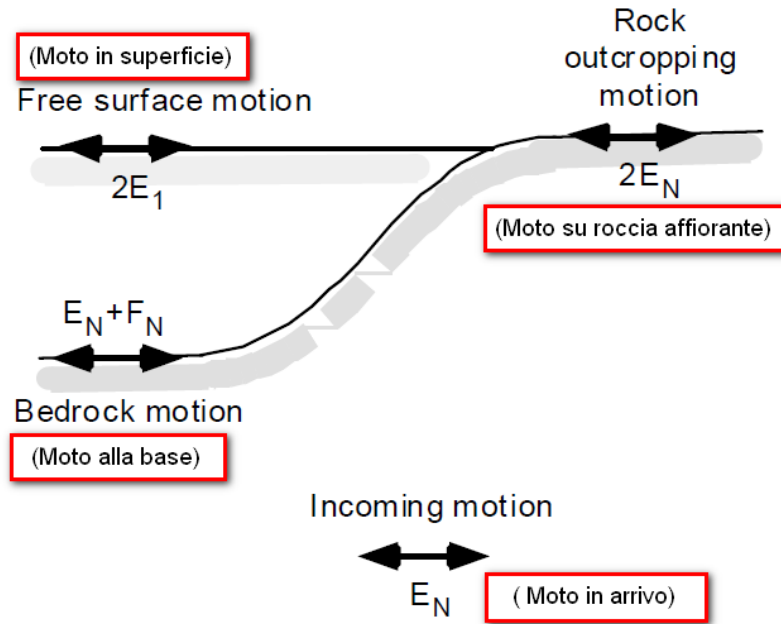


figura n. 15: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad  $E_N$ ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a  $E_N + F_N$ . Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ( $E_N = F_N$ ), il moto avrà ampiezza pari a  $2E_N$ . La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché  $G$  è funzione di  $\gamma$ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di  $\gamma$ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo  $G$  così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per  $G(\gamma)$  adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità (figura n. 16):

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove  $G_{max}$  è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \tag{28}$$

dove  $\rho$  è la densità del terreno e  $V_s$  la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di  $G$  per la prima iterazione.

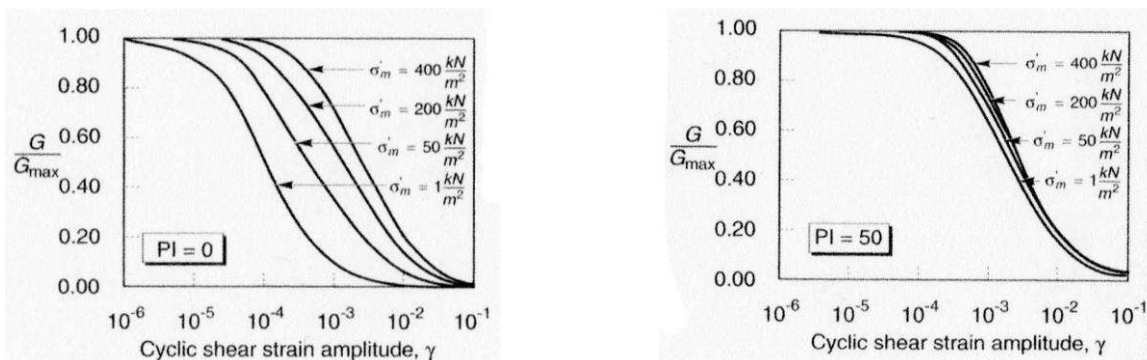


figura n. 16: influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.3})}{2} \left[ 0.586 \left( \frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \tag{29}$$

da cui si deduce che anche  $\xi$  deve essere ricalcolato ad ogni iterazione (figura n. 17).

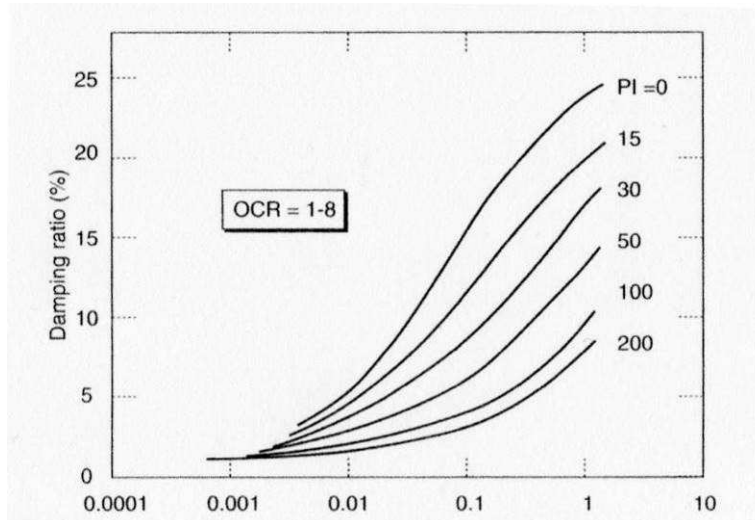


figura n. 17: influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso

## 17. SPETTRO NORMALIZZATO

Come risultato dell'analisi condotta in funzione degli accelerogrammi caricati e della stratigrafia imposta vengono elaborati i diagrammi relativi a:

- Spettro di risposta elastico in accelerazione;
- Spettro di velocità relativa;
- Spettro di spostamento relativo.

Può essere necessario al Progettista avere il dato di output dello spettro elastico normalizzato alla classica forma dello spettro di normativa. Attraverso l'elaborazione degli spettri, il software utilizzato elabora anche i fattori di amplificazione, lo spettro medio e lo spettro normalizzato.

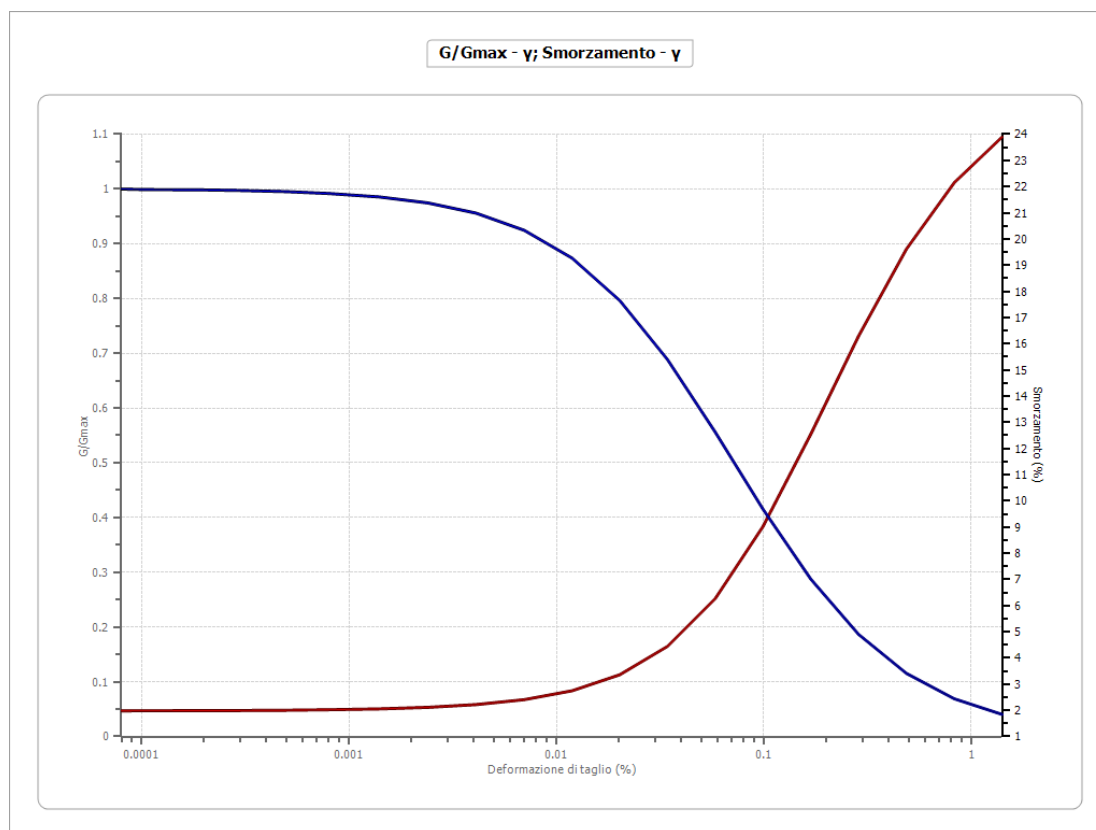
Per definire il modello di spettro normalizzato plottato insieme agli altri, il software utilizzato fornisce due metodologie di calcolo. Nel caso in esame è stata utilizzata l'opzione 1 che consiste nel calcolo automatico dello spettro normalizzato tramite la metodologia proposta dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica parti I e II.

Infine viene proposto il confronto degli spettri di risposta elastici ottenuti mediante l'elaborazione (spettro medio e spettro normalizzato) con gli spettri definiti dalle NTC 2018.

### TERRENI

#### Limi sabbiosi (tra 0,40 e 2,90 m da p.c.)

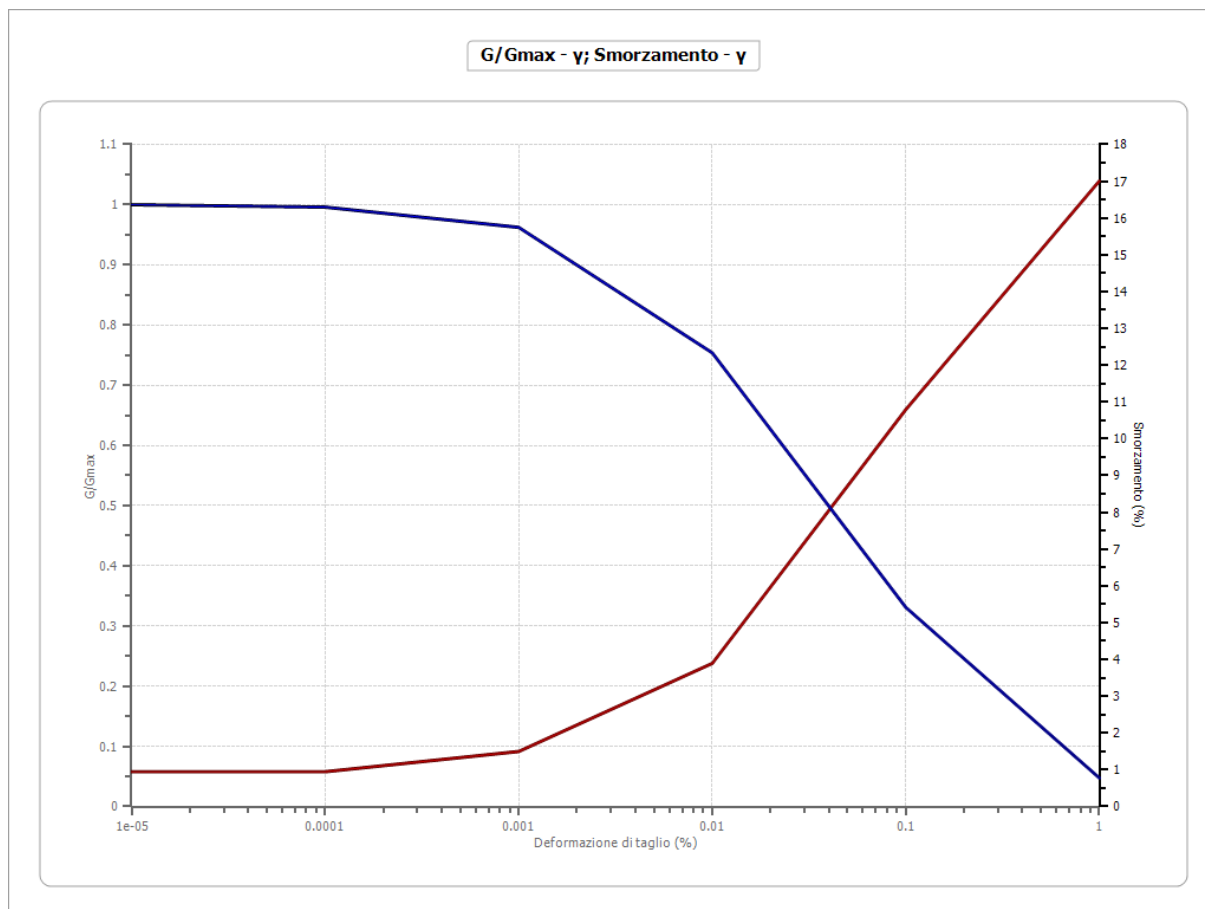
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.9826
0.0001	0.99915	0.0001	1.98695
0.0002	0.9985	0.0002	1.9903
0.0003	0.9974	0.0003	1.9962
0.0005	0.9953	0.0005	2.0067
0.0008	0.9918	0.0008	2.02525
0.0014	0.98555	0.0014	2.05825
0.0024	0.97465	0.0024	2.11705
0.0041	0.956	0.0041	2.222
0.007	0.9246	0.007	2.4103
0.0119	0.87385	0.0119	2.7498
0.0202	0.7964	0.0202	3.36165
0.0343	0.6886	0.0343	4.4464
0.0583	0.556	0.0583	6.2701
0.099	0.41535	0.099	9.0215
0.1684	0.2876	0.1684	12.55055
0.2862	0.1867	0.2862	16.2968
0.4866	0.11545	0.4866	19.6163
0.8272	0.0691	0.8272	22.15295
1.4063	0.0405	1.4063	23.89285





**Ghiaie (tra 2,90 e 11,20 m da p.c.)**

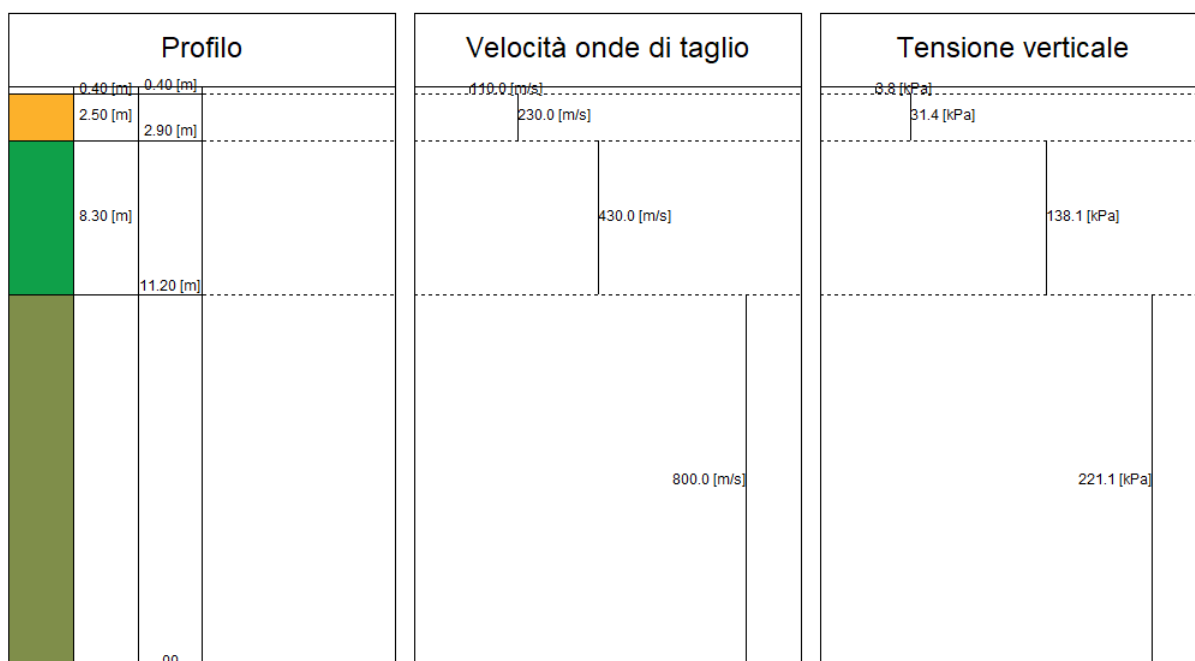
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00001	1.000	0.00001	0.9488
0.0001	0.996	0.0001	0.9488
0.001	0.9624	0.001	1.4981
0.010	0.754	0.010	3.8938
0.100	0.3311	0.100	10.7935
1.000	0.0476	1.000	17.0087



### SISMOSTRATIGRAFIA

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	0,00	0,40	Terreno vegetale	23.44	--	19.0	110.0	3.8
2	0,40	2,50	Limi sabbiosi	102.46	--	19.0	230.0	31.4
3	2,90	8,30	Ghiaie	376.96	--	20.0	430.0	138.1
4	11,20	oltre	Bedrock	1370.03	--	21.0	800.0	221.1

Strato con falda: 4  
 Strato rilevamento accelerogramma: 4



## CONDIZIONE S.L.V.

### Elaborazione

Numero di iterazioni 15  
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5  
 Tipo di modulo elastico Shake  
 Massimo errore percentuale di convergenza 0 E-00

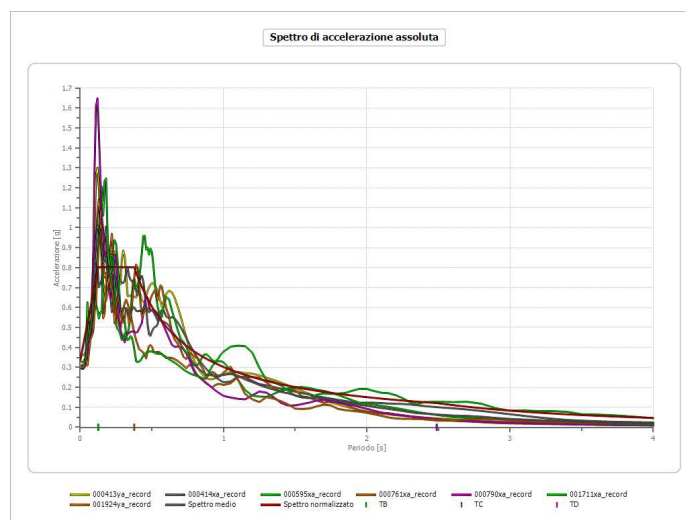
### Fattori di amplificazione

Tai	0.230 [s]
Tvi	0.620 [s]
Tao	0.120 [s]
Tvo	0.620 [s]
Sami	5.211 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.445 [m/s]
Samo	7.869 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.472 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.510 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.060 [-]</b>
TB	0.126 [s]
TC	0.377 [s]
TD	2.488 [s]
SA(0)	0.335 [g]
SA(TB)	0.802 [g]

### Fattori di amplificazione su intensità spettrale

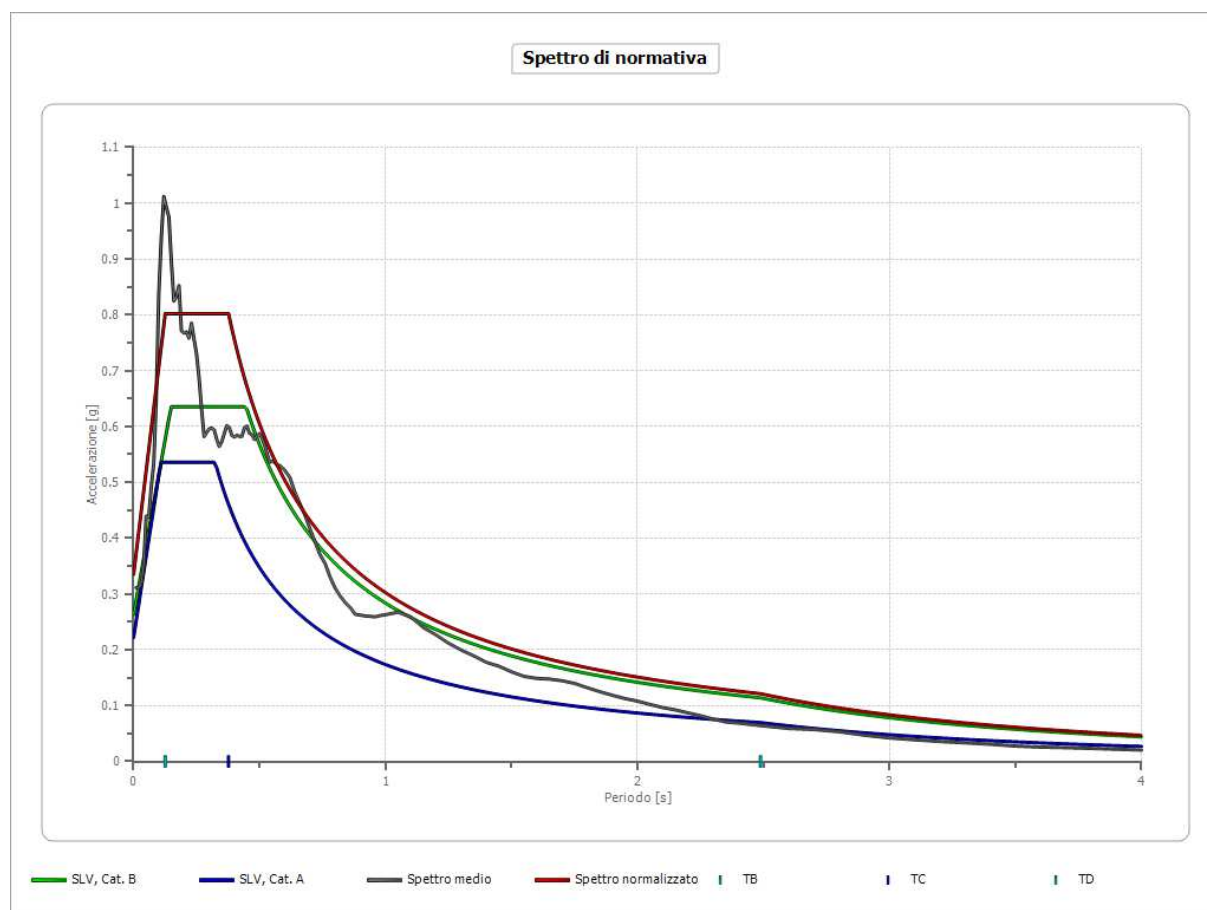
Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.094	0.118	0.200	1.247
0.500	1.000	0.208	0.220	0.500	1.056

### Confronto tra gli spettri



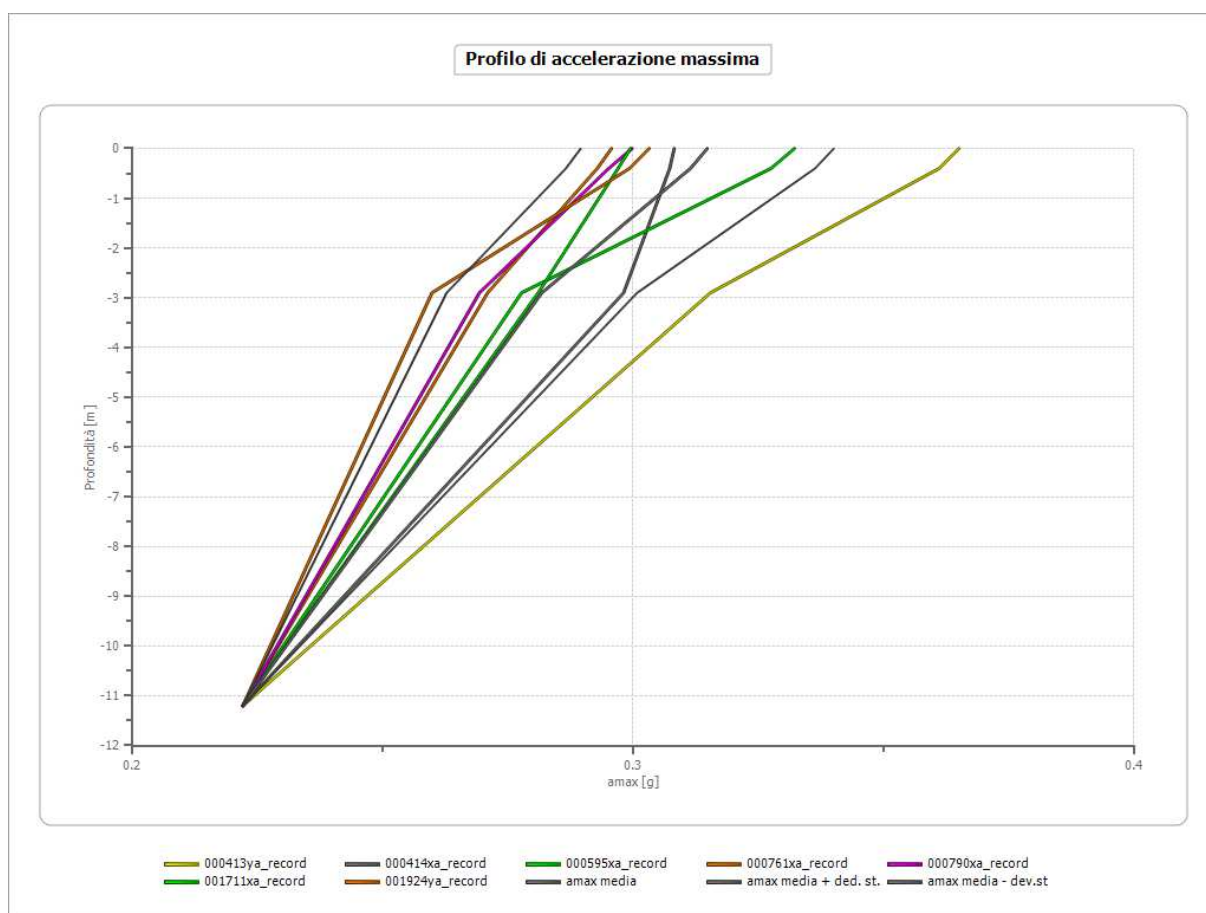
### Confronto spettro normativa

	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.057	0.076	0.222	0.301	0.057	0.076	0.222	0.301
Fo	2.477	2.473	2.414	2.415	2.477	2.473	2.414	2.415
Tc* [s]	0.237	0.254	0.324	0.343	0.237	0.254	0.324	0.343
Ss	1.20	1.20	1.19	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.47	1.45	1.38	1.36	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.116	0.123	0.149	0.156	0.079	0.085	0.108	0.114
TC [s]	0.348	0.368	0.447	0.467	0.237	0.254	0.324	0.343
TD [s]	1.828	1.904	2.488	2.804	1.828	1.904	2.488	2.804
Se(0) [g]	0.068	0.091	0.263	0.334	0.057	0.076	0.222	0.301
Se(TB) [g]	0.169	0.226	0.635	0.806	0.141	0.188	0.536	0.727



### Profilo di massima accelerazione

	0,0 [m]	0,4 [m]	11,4 [m]	40,4 [m]
000413ya_record [g]	0.365	0.361	0.315	0.222
000414xa_record [g]	0.308	0.307	0.298	0.222
000595xa_record [g]	0.332	0.328	0.278	0.222
000761xa_record [g]	0.296	0.293	0.271	0.222
000790xa_record [g]	0.300	0.295	0.269	0.222
001711xa_record [g]	0.299	0.297	0.281	0.222
001924ya_record [g]	0.303	0.299	0.260	0.222
media [g]	0.315	0.311	0.282	0.222
Dev. St. [g]	0.025	0.025	0.019	0.000



**Dati spettro normalizzato**

Periodo Accelerazione [g] [s],	Periodo Accelerazione [g] [s],	Periodo Accelerazione [g] [s],	Periodo Accelerazione [g] [s],
0.01 , 0.3724	0.41 , 0.7374	1.10 , 0.2748	3.80 , 0.0796
0.02 , 0.4096	0.42 , 0.7198	1.15 , 0.2629	3.90 , 0.0775
0.03 , 0.4467	0.43 , 0.7031	1.20 , 0.2519	4.00 , 0.0756
0.04 , 0.4839	0.44 , 0.6871	1.25 , 0.2419	
0.05 , 0.5211	0.45 , 0.6718	1.30 , 0.2326	
0.06 , 0.5582	0.46 , 0.6572	1.35 , 0.2239	
0.07 , 0.5954	0.47 , 0.6432	1.40 , 0.2159	
0.08 , 0.6326	0.48 , 0.6298	1.45 , 0.2085	
0.09 , 0.6697	0.49 , 0.6170	1.50 , 0.2015	
0.10 , 0.7069	0.50 , 0.6046	1.55 , 0.1950	
0.11 , 0.7440	0.51 , 0.5928	1.60 , 0.1890	
0.12 , 0.7812	0.52 , 0.5814	1.65 , 0.1832	
0.13 , 0.8021	0.53 , 0.5704	1.70 , 0.1778	
0.14 , 0.8021	0.54 , 0.5599	1.75 , 0.1728	
0.15 , 0.8021	0.55 , 0.5497	1.80 , 0.1680	
0.16 , 0.8021	0.56 , 0.5399	1.85 , 0.1634	
0.17 , 0.8021	0.57 , 0.5304	1.90 , 0.1591	
0.18 , 0.8021	0.58 , 0.5212	1.95 , 0.1550	
0.19 , 0.8021	0.60 , 0.5039	2.00 , 0.1512	
0.20 , 0.8021	0.62 , 0.4876	2.05 , 0.1475	
0.21 , 0.8021	0.64 , 0.4724	2.10 , 0.1440	
0.22 , 0.8021	0.66 , 0.4581	2.15 , 0.1406	
0.23 , 0.8021	0.68 , 0.4446	2.20 , 0.1374	
0.24 , 0.8021	0.70 , 0.4319	2.25 , 0.1344	
0.25 , 0.8021	0.72 , 0.4199	2.30 , 0.1314	
0.26 , 0.8021	0.74 , 0.4085	2.35 , 0.1286	
0.27 , 0.8021	0.76 , 0.3978	2.40 , 0.1260	
0.28 , 0.8021	0.78 , 0.3876	2.50 , 0.1209	
0.29 , 0.8021	0.80 , 0.3779	2.60 , 0.1163	
0.30 , 0.8021	0.82 , 0.3687	2.70 , 0.1120	
0.31 , 0.8021	0.84 , 0.3599	2.80 , 0.1080	
0.32 , 0.8021	0.86 , 0.3515	2.90 , 0.1042	
0.33 , 0.8021	0.88 , 0.3435	3.00 , 0.1008	
0.34 , 0.8021	0.90 , 0.3359	3.10 , 0.0975	
0.35 , 0.8021	0.92 , 0.3286	3.20 , 0.0945	
0.36 , 0.8021	0.94 , 0.3216	3.30 , 0.0916	
0.37 , 0.8021	0.96 , 0.3149	3.40 , 0.0889	
0.38 , 0.7956	0.98 , 0.3085	3.50 , 0.0864	
0.39 , 0.7752	1.00 , 0.3023	3.60 , 0.0840	
0.40 , 0.7558	1.05 , 0.2879	3.70 , 0.0817	

## 18. CONCLUSIONI

L'analisi della Risposta Sismica Locale ha permesso di stabilire che la stratigrafia locale amplifica l'effetto del sisma atteso secondo un fattore di amplificazione FA variabile.

Dai 7 accelerogrammi naturali previsti da normativa per ciascun stato limite, risulta che l'accelerazione PGA al livello del piano d'imposta della fondazione risulta mediamente di:

- o nella condizione SLV pari a 0,311 g (ma variabile tra 0,293÷0,361) – FA medio 1,51;

**Data, 10 maggio 2018**



**Dr. Geol. Francesco Benincasa**

# ALLEGATO FOTOGRAFICO

