

Provincia di Vicenza

Comune di S. Vito di Leguzzano

RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE
E MESSA IN SICUREZZA
DELLA SCUOLA DELL'INFANZIA PARITARIA
SS ANGELI CUSTODI
- VIA RIGOBELLO -

RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA

Committente

COMUNE DI S. VITO DI LEGUZZANO

- Febbraio 2023 -



Bertolin dr. Andrea

Geologo

Strada Pozzato 46

36015 Schio (VI)



☎ 0445525087

📠 335257574

P. IVA 02453360246 - CF BRTNDR66P02I531R - SDI KRRH6B9
geologo.bertolin@gmail.com - bertolingeo@epap.sicurezza postale.it

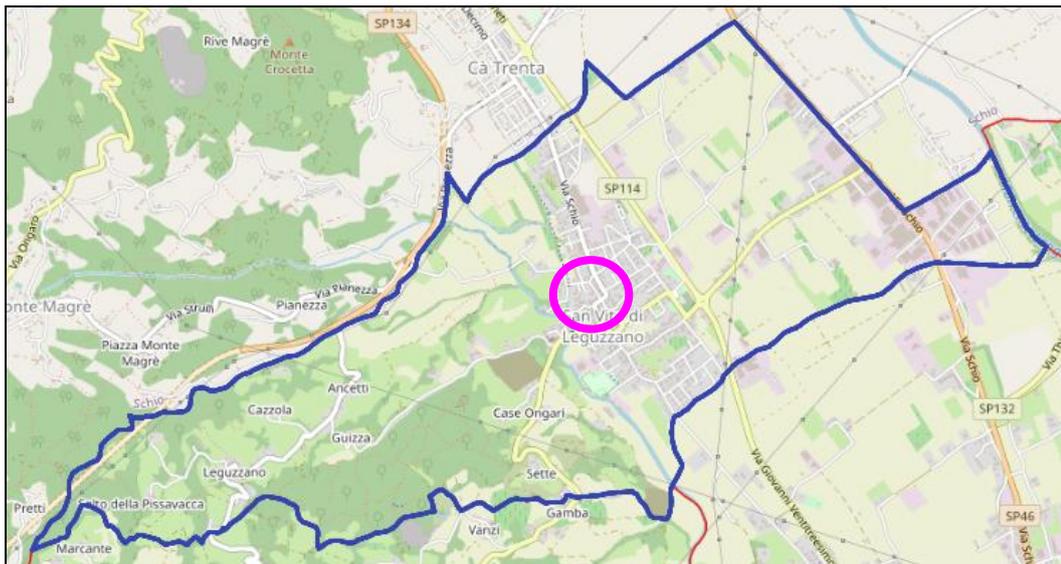
PREMESSA

Il sottoscritto per conto del Comune di S. Vito di Leguzzano ha redatto la presente relazione geologica e sismica relativa al progetto, elaborato dallo Studio Archingegno dell'Ing. Michele Scarso con sede in Vicenza, di riqualificazione funzionale e messa in sicurezza della scuola dell'infanzia paritaria SS Angeli Custodi sita in via Rigobello nel Comune di S. Vito di Leguzzano.

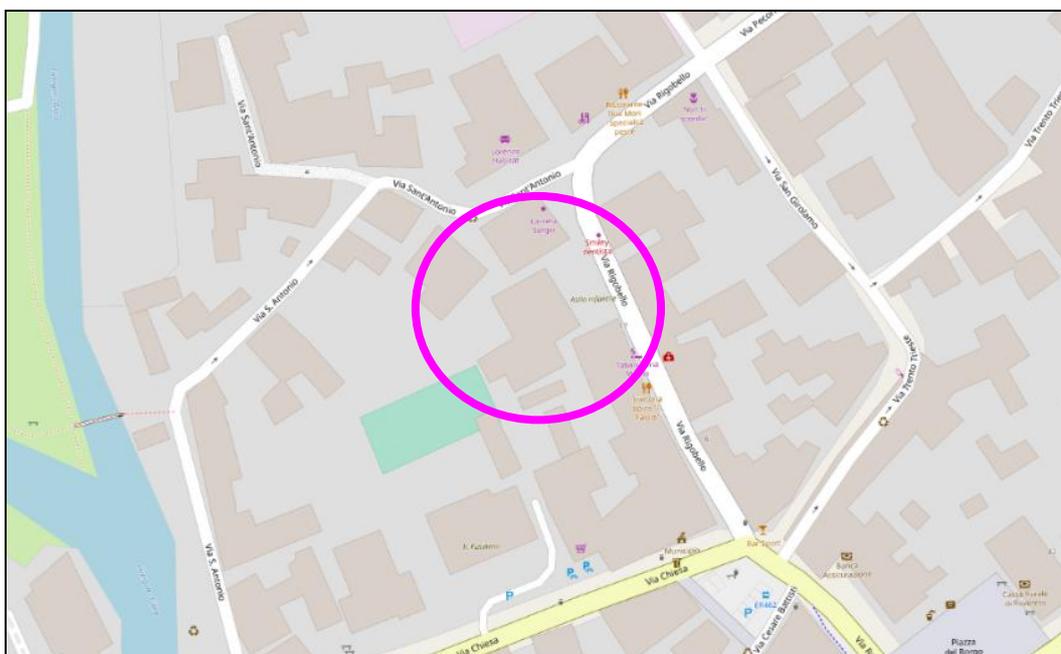
In ottemperanza a quanto disposto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17/01/2018 la relazione si articola nel modo seguente:

1. ubicazione del sito oggetto dell'intervento,
2. descrizione dell'intervento in progetto,
3. resoconto ed interpretazione delle indagini svolte in sito,
4. modello geologico,
5. modello sismico.

1 - COROGRAFIA



- Territorio comunale -



- OSM -

La scuola dell'infanzia sorge lungo via Rigobello, nel centro dell'abitato di S. Vito di Leguzzano, nella parte centrale del territorio comunale.

2 - PROGETTO

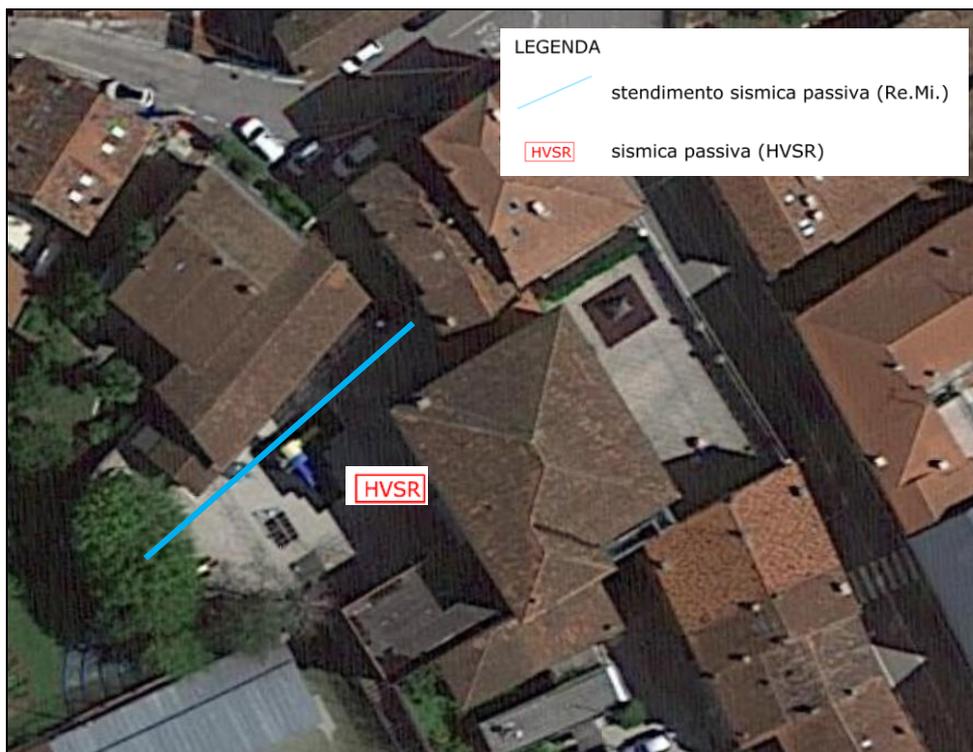
Il progetto propone interventi di riqualificazione funzionale e di messa in sicurezza dell'edificio esistente.

3 - INDAGINI

Per delineare l'assetto geologico e sismico dell'area oggetto dell'intervento, oltre ai rilievi di campagna di superficie ed alla consultazione di bibliografia tematica (e.g. quadro conoscitivo del PAT) sono state condotte le seguenti prove in sito:

- n. 1 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor),
- n. 1 registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con tromometro ed elaborazione con metodo H.V.S.R.,

L'ubicazione delle prove è riportata nell'immagine di seguito allegata.



- ubicazione prove in sito -

Le indagini svolte si ritengono sufficienti a caratterizzare il volume significativo interessato dall'intervento in progetto.

Segue la descrizione del tipo di strumentazioni impiegate, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati ottenuti.

3.1 - Indagine Sismica di Tipo Passivo in Array - Re.Mi.

3.1.1 - Descrizione della Tecnica Adottata

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito dispersione in frequenza ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico – matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale - rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso Re.Mi. rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi.

Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica Δx . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine.

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r) che sono correlabili con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$).

Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio $x - t$ (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borcherdt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	V_s min [m/s]	V_s media [m/s]	V_s max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate).	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia).	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose).	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

3.1.2 - Descrizione Strumentazione Impiegata

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n. 16 geofoni verticali a 4.5 Hz uniti in un *array* lineare totalmente digitale (*SoilSpy Rosina*). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 3 m quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 45 m (si veda la foto a fianco). Non sono presenti sostanziali variazioni di quota e quindi il sito può essere considerato orizzontale.



Il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è Grilla v.9.7 beta release 2021.

Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}}$$

Vs = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];

H = profondità alla quale si desidera stimare Vs [m] (30 m in caso di Vs30);

hi = spessore dello strato i – esimo [m];

vi = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i – esimo [m/s].

3.2 - Sismica Passiva a Stazione Singola con Elaborazione HVSR

3.2.1 - Descrizione della Tecnica Adottata

La tecnica sismica passiva a Stazione Singola con elaborazione HVSR (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la *frequenza caratteristica di risonanza del sito* che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la *frequenza fondamentale di risonanza di un edificio*, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (*free field*) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

- la *velocità media delle onde di taglio Vs* calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la Vs,30 e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008*;
- la *stratigrafia del sottosuolo* con un *range* di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

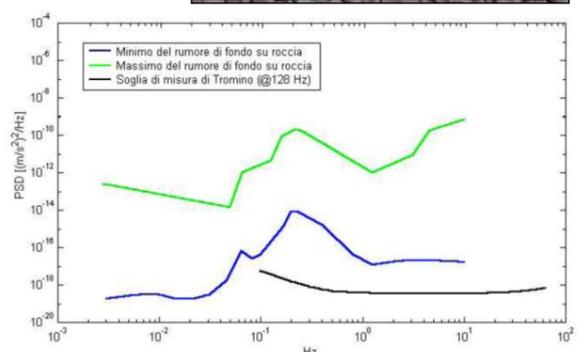
Possiamo scrivere questo come:

segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

3.2.2 - Descrizione strumentazione impiegata

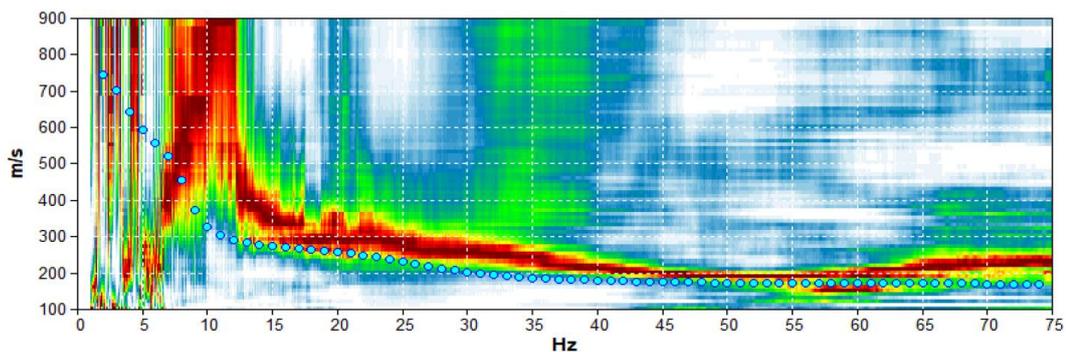
Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Moho s.p.a. modello "Tromino - zero 3g" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra - leggeri e ultra - compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre terne velocimetriche con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



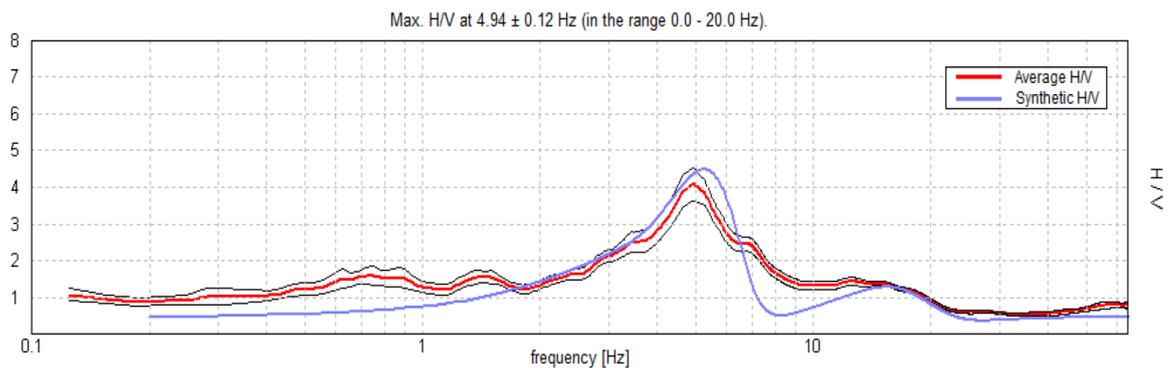
3.3 - Risultati Ottenuti dalle Prospezioni Sismiche

L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S, mentre la prospezione passiva a stazione singola (H.V.S.R.) ha determinato, oltre alla rigidità del *bedrock geofisico*, le frequenze di risonanza di sito, cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata poiché la coerenza del segnale è buona e lo spettro di velocità è ben definito nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo.



Spettro di velocità e curve sintetiche da indagine sismica in array (Re.Mi.)



Spettro di velocità e curve sintetiche da misura a stazione singola (H.V.S.R.)

Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare i valori di picco dello spettro di risposta HVSR con le frequenze fondamentali di risonanza di sito.

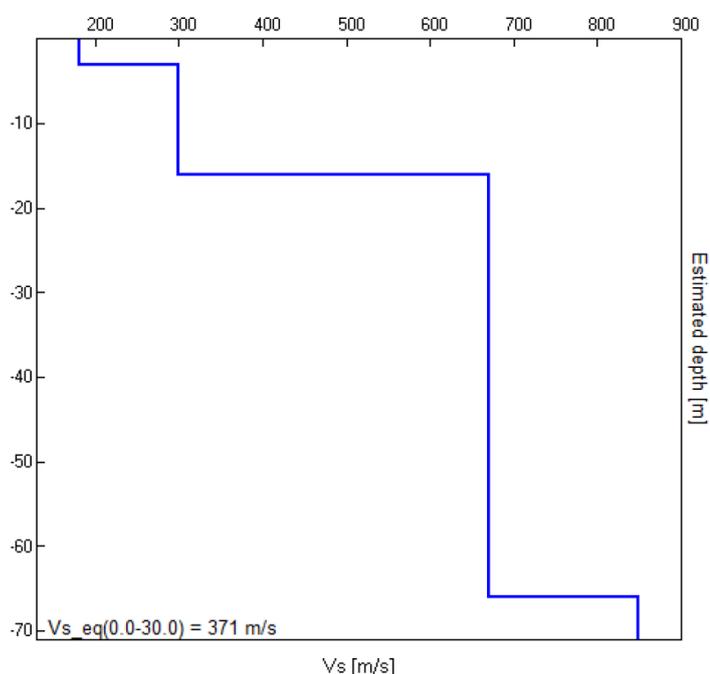
Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

La frequenza caratteristica di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale ($H/V \approx 4$), è di circa 5 Hz.

Le indagini hanno permesso di ricostruire la seguente stratigrafia sismica:

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
<i>I SISMOSTRATO</i>	180	3,0	0,0 – 3,0
<i>II SISMOSTRATO</i>	300	13	3,0 – ≈ 16
<i>III SISMOSTRATO</i>	670	50	≈ 16 – ≈ 56
<i>IV SISMOSTRATO</i>	850	<i>Semisp.</i>	≈ 56 – <i>Semisp.</i>

- modello sismo-stratigrafico interpretativo -



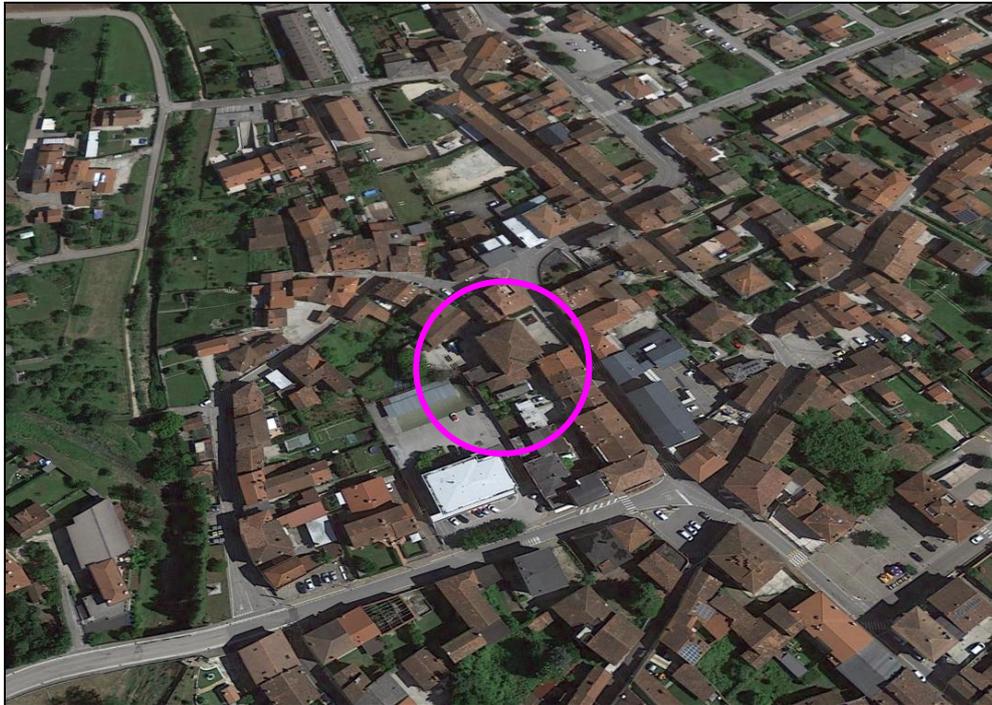
- profilo verticale onde S (vs) -

Come espressamente richiesto dalla normativa vigente (Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17/01/2018), si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni (V_{s30}), a partire da varie profondità dal piano campagna:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$	Categoria di sottosuolo
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 371$ m/s	B
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 390$ m/s	B
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 412$ m/s	B
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 437$ m/s	B

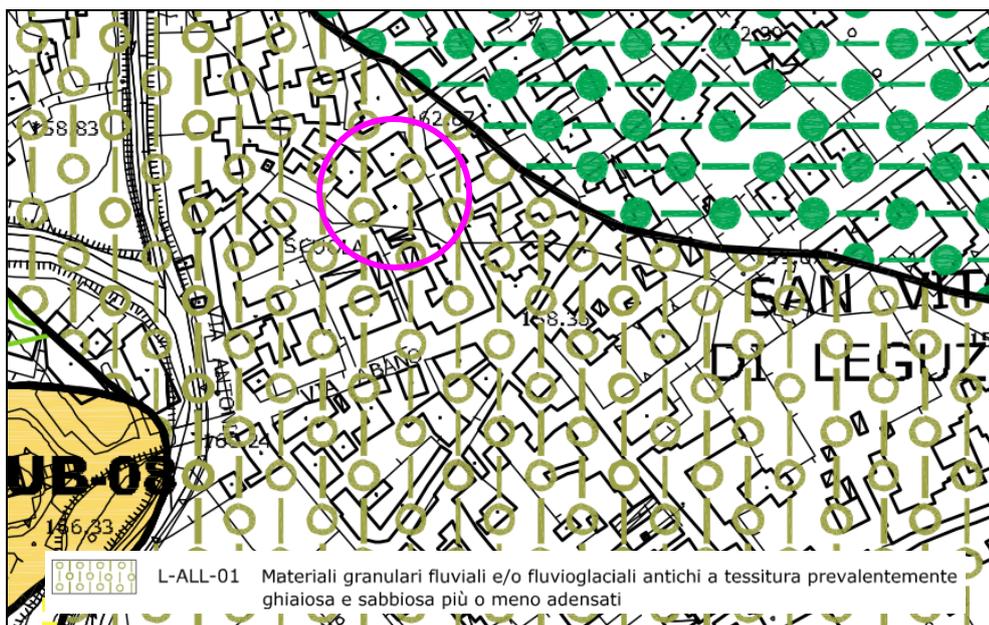
4 - MODELLO GEOLOGICO

L'immagine di seguito allegata propone una panoramica del contesto morfologico nella quale è inserita l'area oggetto dell'intervento. Quest'ultima si trova sulle propaggini nord-occidentali dell'alta pianura vicentina, compresa tra gli alvei dei Torrenti Livergon e Leogra. Scendendo ad una scala di maggior dettaglio la scuola sorge su di un'area pressochè pianeggiante.



- Immagine satellitare -

Come indicato nella cartografia di seguito allegata, il sottosuolo dell'area oggetto di studio è costituito da una spessa coltre di depositi quaternari.



- estratto non in scala della Carta Geolitologica del PAT -

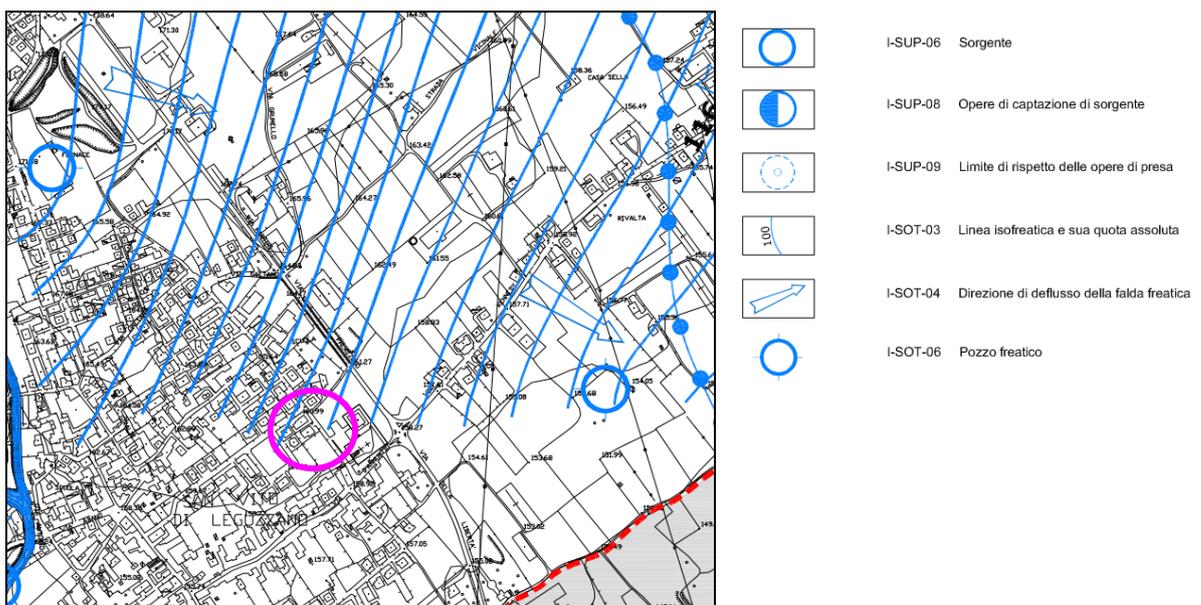
Si tratta in prevalenza di terreni granulari grossolani di natura ghiaiosa, caratterizzati dalla presenza sia di ciottoli, sia di una abbondante matrice fine in prevalenza di natura sabbioso-limosa. Nell'area in esame i depositi sopra descritti raggiungono uno spessore pari ad almeno alcune decine di metri.

Indagini svolte nelle immediate vicinanze a corredo del progetto promosso lo scorso anno dall'Amministrazione Comunale di riqualificazione urbana di Piazza G. Marconi, hanno permesso di accertare che i terreni ghiaiosi sopra descritti sono occultati da una coltre di terreni fini di natura argilloso-limosa che si spinge fino a 2.0÷3.0 m da piano campagna.

L'assetto stratigrafico sopra descritto è presente anche nell'area oggetto del presente studio: le prospezioni sismiche mostrano la presenza di un contrasto di impedenza alla quota di 3.0 m da p.c. che segna il contatto tra le coperture argillose ed i sottostanti depositi ghiaiosi.

La parte pianeggiante del territorio comunale insiste sull'alta pianura. Quest'ultima, dal punto di vista idrogeologico, è costituita da un potente materasso alluvionale che ospita un'unica falda libera a carattere freatico, perlopiù caratterizzata da una continuità laterale determinata dal contatto diretto tra i materiali grossolani permeabili delle varie conoidi alluvionali: questa fascia viene definita dell'acquifero indifferenziato.

Come indicato nella carta idrogeologica del PAT di seguito allegata, il sottosuolo è saturato da acque sotterranee che sono presenti a partire da una profondità di almeno 30 m da piano campagna.



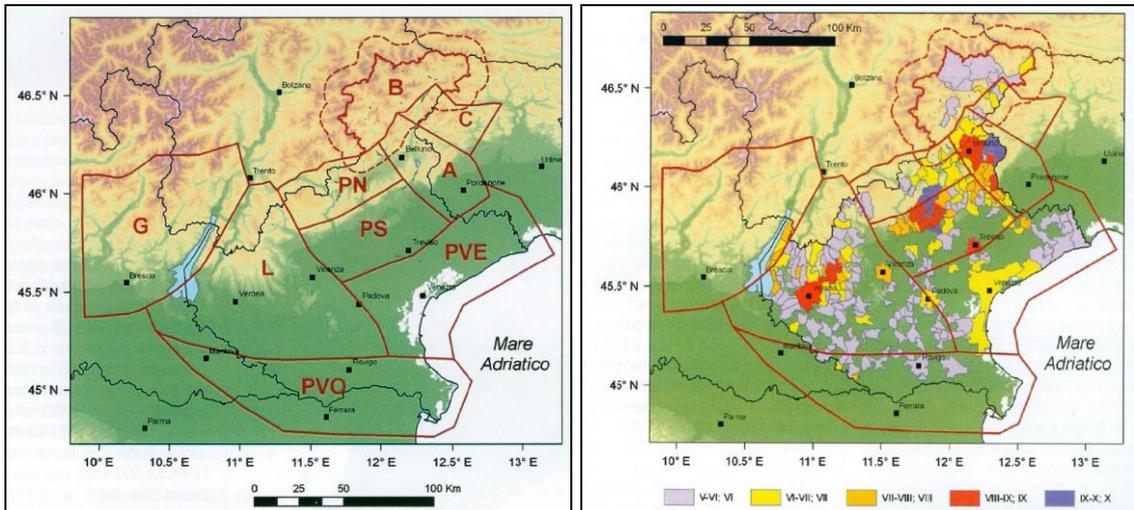
- estratto non in scala della Carta Idrogeologica del Quadro Conoscitivo del PAT -

5 - MODELLO SISMICO

5.1 – Assetto Regionale

Il Veneto è una regione disomogenea dal punto di vista geologico-strutturale e, quindi, lo è anche dal punto di vista sismico. Sono stati riconosciuti dei "distretti sismici" definibili come zone all'interno delle quali i terremoti possono essere identificati da alcuni elementi sismogenetici comuni. Nella figura di seguito allegata vengono mostrati i distretti sismici del Veneto (tratto da Sugan e Peruzza - 2001).

Il Comune di S. Vito di Leguzzano si trova all'interno del distretto sismico L - Lessini-Schio. All'interno di questo territorio i maggiori risentimenti in termini di intensità macrosismica sono stati del IX grado MCS.



Distretti sismici del Veneto: G Giudicarie; L Lessini-Schio; PS Pedemontana Sud; PN Pedemontana Nord; A Alpago-Cansiglio, C Calut; B Alto Bellunese-Dolomiti; PVE Pianura Veneta Est; PVO Pianura Veneta Ovest.

Massima intensità macrosismica osservata al di sopra della soglia di primo danno (V-VI MCS) - tratto da Stucchi et al. 2007.

5.2 - Evoluzione Normativa e Cenni di Ingegneria Sismica

La storia della classificazione sismica Italiana comincia dopo il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908 (XI grado MCS) che provocò la morte di circa 80.000 persone. In seguito a questo evento ci fu un deciso impegno dello Stato a tradurre in legge le conoscenze scientifiche e tecniche sulle costruzioni sino ad allora maturate. Fu così emanato il Regio decreto n°193 [1909] nel quale è contenuta la prima classificazione sismica del territorio Italiano. Negli anni a seguire si continuò ad aggiornare la normativa tecnica ampliando la classificazione in base alle zone colpite da eventi sismici. Nel 1962 fu pubblicata la Legge n°1684, in seguito ai terremoti di Carnia (1956), Valle del Velino (1961) e Irpinia (1962) dove, per la prima volta, si prescrisse l'applicazione delle norme sismiche ai comuni "soggetti a intensi movimenti sismici" e non solo a quelli colpiti dal terremoto. In seguito ai terremoti dei Monti Nebrodi (1967), della Valle del Belice (1968) e di Tuscania (1971), fu emanata la Legge n°64 [1974], che costituisce una pietra miliare nel panorama della normativa sismica poiché stabilì che la classificazione sismica dovesse procedere sulla base di comprovate motivazioni tecniche scientifiche.

La promulgazione dell'Ordinanza P.C.M. n°3274 del 20/3/2003 e successive modifiche ed integrazioni ha determinato sul panorama nazionale un grande rinnovamento sul fronte della normativa tecnica in zona sismica, rappresentata fino ad allora dai contenuti del D.M. 16 gennaio 1996. La principale novità introdotta dall'O.P.C.M. n°3274 è l'abbandono del carattere puramente prescrittivo e convenzionale che caratterizzava le norme tecniche di vecchia concezione, come il D.M. 16/01/1996, per abbracciare un'impostazione puramente prestazionale, in cui gli obiettivi della progettazione e quindi il livello di sicurezza sono esplicitamente dichiarati, a seconda della risposta

sismica attesa per la struttura e il sito di costruzione, per un prefissato livello di severità dell'azione sismica.

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 14 gennaio 2008) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n°3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui forse il più rilevante riguarda la definizione dell'**azione sismica**.

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di **risposta sismica locale**. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) s'intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale $H / V = 1$) con quello effettivamente misurato in superficie.

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito: $f_n = 1 / T_n = (V_s * (2n - 1)) / (4 * H)$ con $n = 1, 2$, mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza: $f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di "**doppia risonanza**", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero gravose.

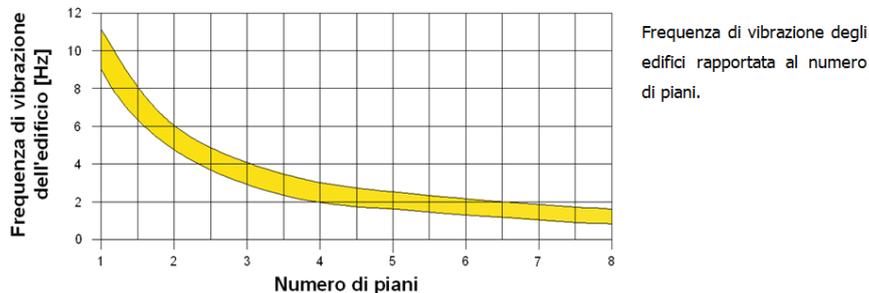
Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$freq. naturale edificio \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$freq. naturale edificio \approx freq. fondamentale di risonanza del sito$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.



Frequenza di risonanza	Altezza critica edifici
1.0÷2.0 Hz	>30
2.0÷3.5 Hz	15÷30
3.5÷7.0 Hz	15÷5
>7.0 Hz	<5

- tabella di correlazione fra frequenza di risonanza del sito ed altezza degli edifici -

5.3 – Frequenza Fondamentale del Terreno

È ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito dall'onda sismica e quella naturale dell'edificio.

Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell'edificare strutture aventi lo stesso periodo di vibrazione del terreno.

L'area oggetto di studio è contrassegnata da una frequenza naturale del terreno di 5 Hz e da un rapporto $H/V \approx 4.0$. Il sito è pertanto esposto a contrasti di impedenza non del

tutto trascurabili. Si possono pertanto generare fenomeni di doppia risonanza, i quali, come indicato nella tabella riportata nel precedente paragrafo, interesseranno maggiormente gli edifici con altezza compresa tra 5 m e 15 m, ossia anche l'immobile oggetto dell'intervento.

5.4 – Ag e Spettro di Risposta Elastico

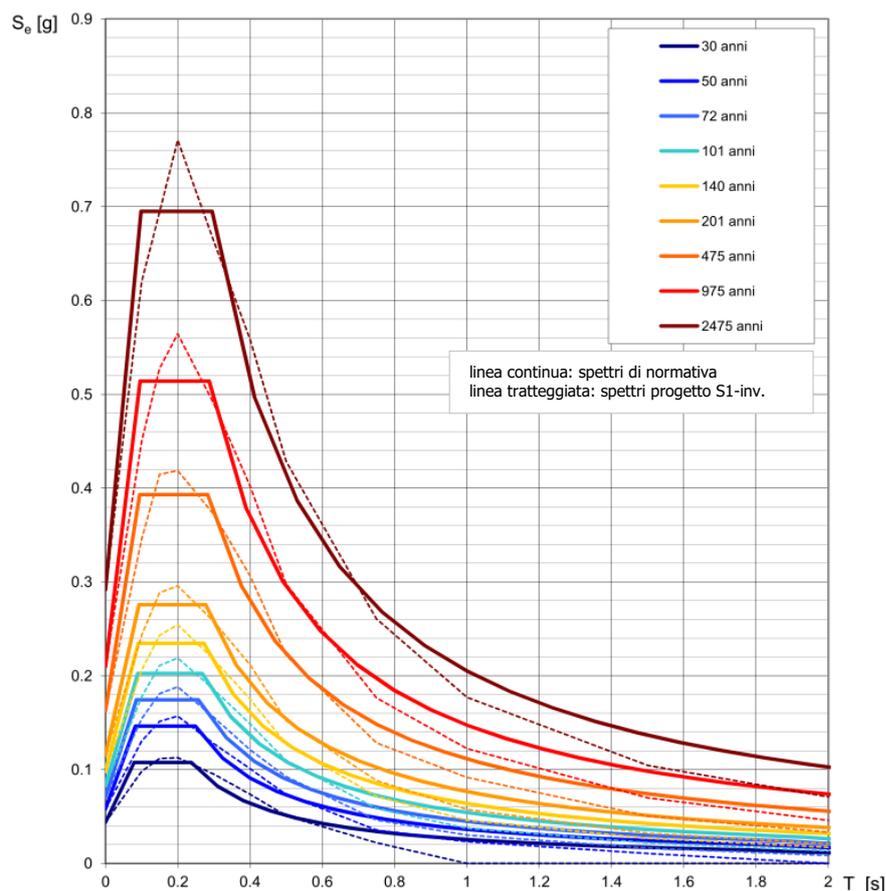
La classificazione sismica nazionale - O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/06 - suddivide il territorio nazionale in 4 zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco attesa.

Il Comune di S. Vito di Leguzzano, secondo quanto indicato dal D.G.R. n. 244 del 09/03/2021, ricade in zona 2.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	0.25 $a_g \leq 0.35$
2	0.15 <math>a_g \leq 0.25</math>
3	0.05 $a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Le NTC-18 mettono a disposizione un sisma di progetto per ogni punto del territorio nazionale facendo riferimento a punti di ancoraggio nodali con un reticolo di 4 km di lato. Inserendo le coordinate del sito (latitudine 45.68 e longitudine 11.38) nel file excel Spettri-NTC fornito dal C.S.L.P., si ottengono gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto in funzione del tempo di ritorno T_r che sono riportati nella tabella a fianco. Segue il grafico degli spettri di risposta elastici.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.044	2.462	0.237
50	0.058	2.519	0.249
72	0.071	2.466	0.257
101	0.083	2.442	0.268
140	0.098	2.388	0.272
201	0.116	2.387	0.277
475	0.163	2.416	0.283
975	0.210	2.453	0.287
2475	0.292	2.383	0.295



5.5 – Categoria del Sottosuolo

Il D.M. 17/01/2018 nella tabella 3.2.II distingue le seguenti categorie di sottosuolo:

Categoria	Descrizione
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Dalla ricostruzione del modello geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si propone l'inserimento del sito d'indagine nella Categoria di Sottosuolo denominata B, così definita:

Categoria 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.

5.6 – Categoria Topografica

L'area in esame appartiene alla Categoria T1: *Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* - cfr. Tabella 3.2.IV del par. 3.2.2 delle NTC.

Il coefficiente di amplificazione topografica *ST* si può quindi assumere pari ad 1,0, come indicato nella Tabella 3.2.VI del paragrafo 3.2.3.2.1 delle NTC.

5.7 – Liquefazione

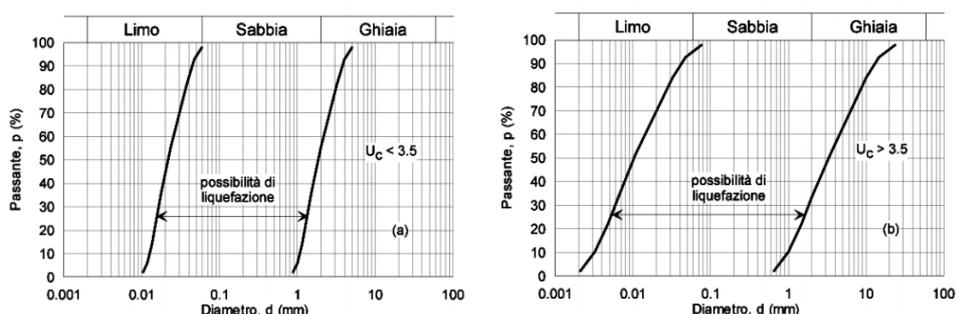
7.2.1 - Premessa Introduttiva

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione. Con tale termine si intende quell'insieme di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Secondo la normativa vigente, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura di seguito allegata a sinistra, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$, e in figura a destra nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



- Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione -

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

5.2.2 - Esclusione della Verifica a Liquefazione

Nel caso in esame non è necessario procedere con la verifica in quanto l'area in esame soddisfa almeno la condizione n. 2.

Schio, li 24/02/2023

Bertolin Andrea – *geologo*

