

Comune di Verona

Provincia di Verona

TITOLO

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO

DENOMINAZIONE (LOCALITÀ SACRA FAMIGLIA - VERONA)

TIPOLOGIA (Scheda Norma n° 379, Tessuto Perimetrato n°,
Accordo di Programma n. 0185349/2023 del 16/05/2023 fascicolo 6.2 n.387/2023 ...)

UBICAZIONE (Via Saturno, Via Vigasio, Via Ca' Brusà, Via Apollo - Quartiere/Località SACRA FAMIGLIA, Verona - ATO 10, Circoscrizione 5)

FASCICOLO

ANALISI

3

TAVOLE

3.2 ANALISI SISMICA

GRUPPO DI LAVORO

committenti

SITTA S.R.L.

ulteriori figure professionali
o integrazione committenti



STUDIO BENINCA'

Associazione tra Professionisti

Dott. Geol. Gionata Andreis



progettista

AGGIORNAMENTI

data 07/11/2025

num.rev.

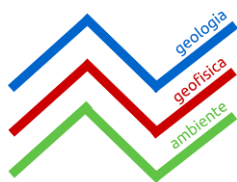
REGIONE VENETO – PROVINCIA DI VERONA

COMUNE DI VERONA

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO ATO 10
SCHEDA NORMA "379"
LOCALITÀ SACRA FAMIGLIA - VERONA

ANALISI SISMICA

COMMITTENTE SITTA S.R.L.



**STUDIO DI GEOLOGIA
DOTT. GIONATA ANDREIS**

~
Via Riccarda Castellani, 20
37057 - San Giovanni Lupatoto (Verona)

~
Via Gardesana, 384
37018 - Malcesine (Verona)

~
Cell. 333 6794246
P.IVA 03405830237
gionata.andreis@gmail.com

Dott. Geol. Gionata Andreis



IL TECNICO

				novembre 2025
REV	descrizione			data
CODICE	AG23122	NUM. ELABORATO 3.2	File: AG23122 – Analisi sismica.doc	

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE	4
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	6
4	CAMPAGNA INDAGINI.....	7
4.1	PREMESSA	7
4.2	INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW	8
5	ANALISI SISMICA	10
5.1	INQUADRAMENTO TETTONICO - STRUTTURALE.....	10
5.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO PROGETTUALE.....	14
5.3	STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE	16
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	17

ALLEGATI AL TESTO

ALLEGATO 1: **REPORT INDAGINE SISMICA**

Codice di Rif.: AG23122

San Giovanni Lupatoto, novembre 2025

1 PREMESSA

Nell'ambito del Piano Urbanistico Attuativo relativo alla Scheda Norma "379" in località Sacra Famiglia nel Comune di Verona è stata eseguita la presente analisi sismica in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) e finalizzata alla ricostruzione dell'assetto sismico e alla caratterizzazione sismica dell'area di interesse.

Lo studio è stato condotto avvalendosi delle informazioni provenienti dalla cartografia geologica e sismica esistente, dell'esperienza professionale maturata dallo scrivente in studi svolti in passato a breve distanza dal lotto in esame e nel medesimo contesto nonché alla luce di una mirata campagna geognostica condotta *in situ* e concretizzatasi attraverso l'esecuzione di:

- **n. 1 indagine geofisica con tecnica MASW** per la modellazione sismica dell'area, la definizione del profilo verticale delle onde di taglio (V_s) nel terreno e la corretta attribuzione della categoria di sottosuolo di fondazione richiesta dalle NTC 2018.

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE

Il progetto in esame prevede la realizzazione di un Piano Urbanistico Attuativo di espansione residenziale nella porzione meridionale del territorio comunale di Verona, tra Via Vigasio e Strada della Genovesa, definito dalla Scheda Norma n°379 del Piano degli Interventi. Nello specifico, l'ambito del P.U.A. si estende su una superficie complessiva (derivante dal rilievo topografico) di 114.380 m² con ST 116.528 m². Il piano urbanistico si distribuisce su due aree, rispettivamente ad Est e ad Ovest di Via Apollo, e prevede la suddivisione dell'intero comparto in un'ampia area da sottoporre a forestazione e cessione (84.000 m²) e i rimanenti 32.528 m² da suddividere in n°28 lotti edificabili a destinazione residenziale con contestuale realizzazione delle opere di urbanizzazione primaria (ingressi ai lotti, parcheggi, marciapiedi, aree verdi, sottoservizi, reti impiantistiche di servizio e raccordi alla viabilità esistente).

Fig. 1. Scheda norma "379" relativa al Piano Urbanistico Attuativo di espansione residenziale in loc. Sacra Famiglia a Verona.

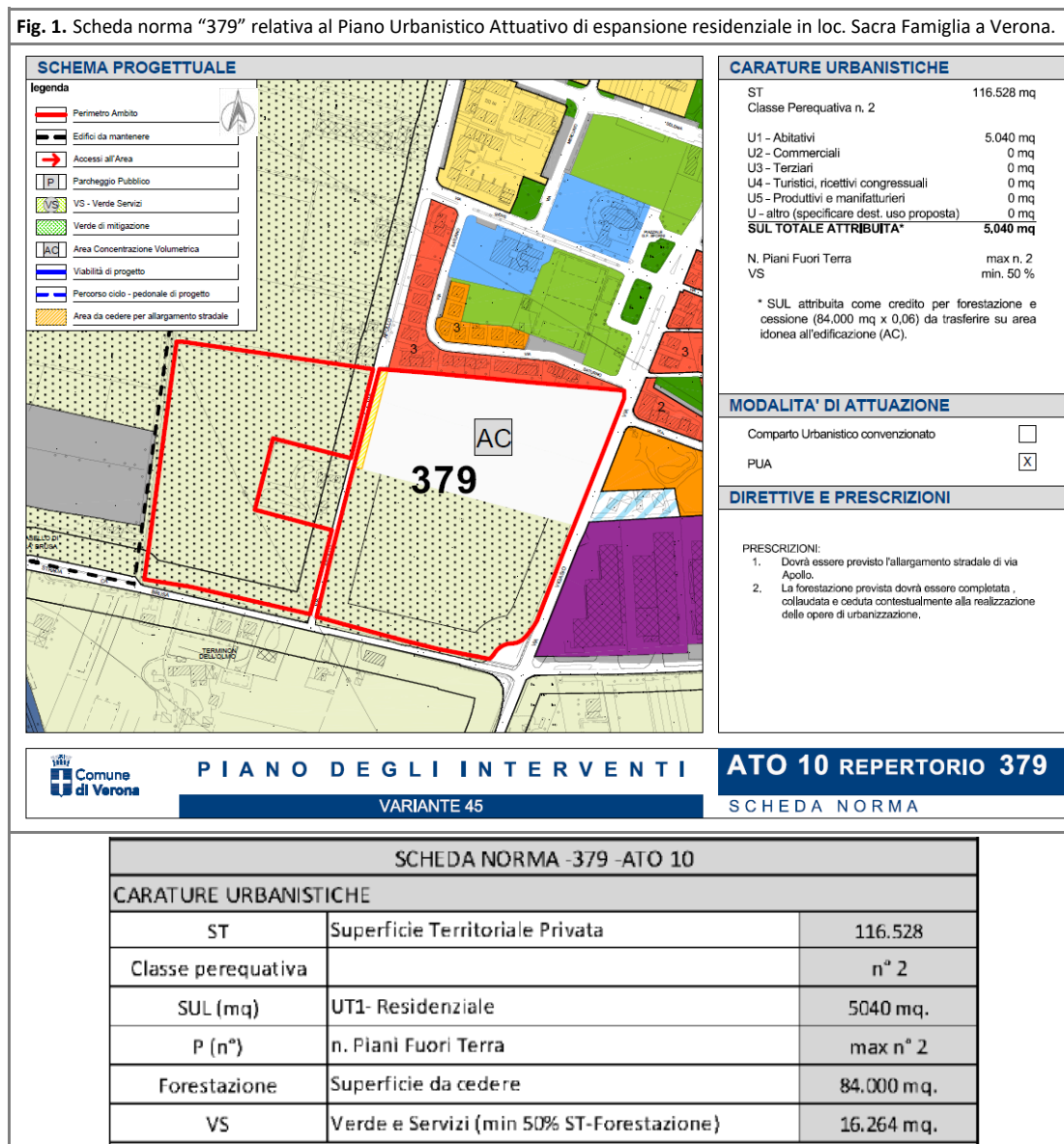


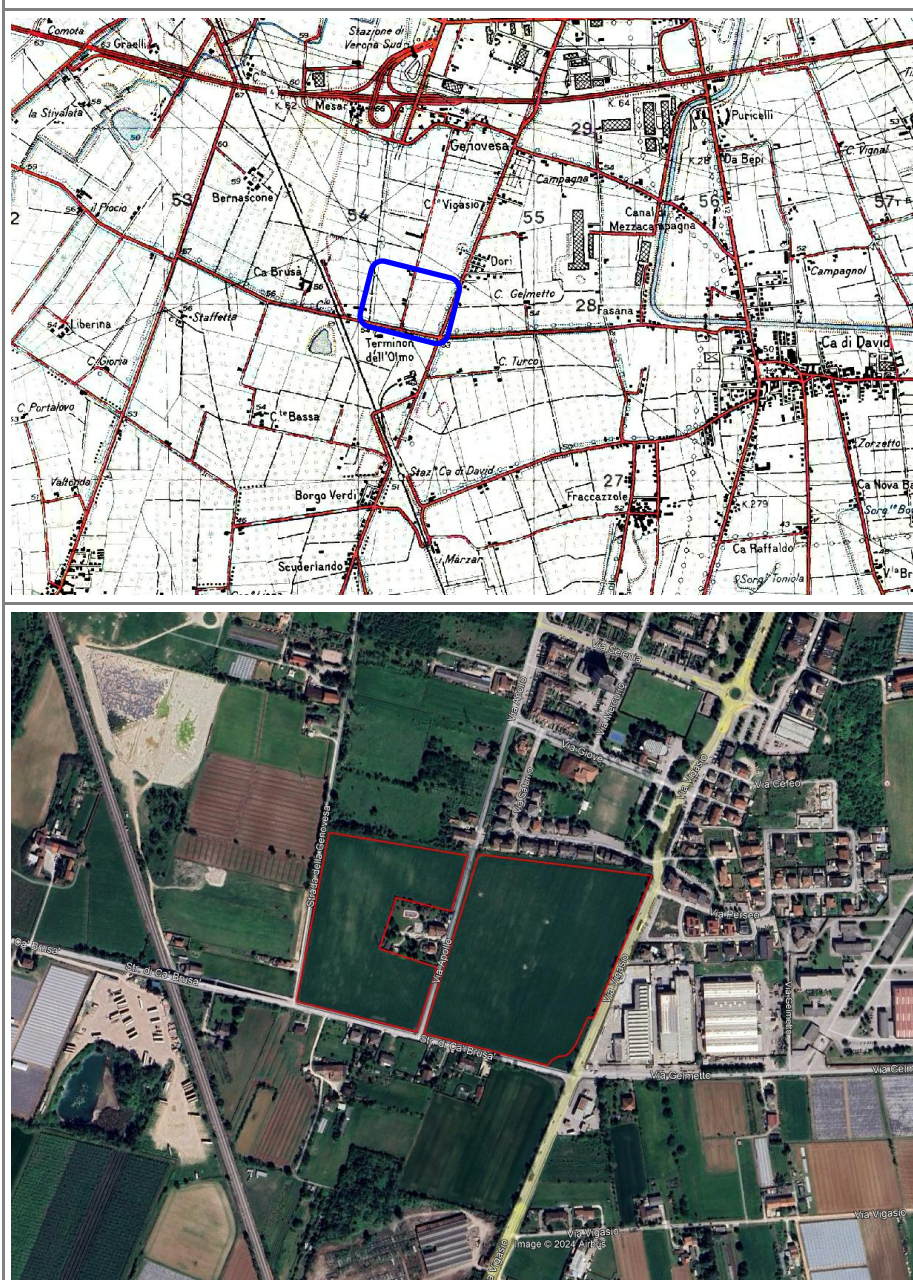
Fig. 2. Planimetria generale e di dettaglio dell'area Est del Piano Urbanistico Attuativo di espansione residenziale in località Sacra Famiglia a Verona definito dalla Scheda Norma "379" del Piano degli Interventi.



3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito interessato dal Piano Urbanistico Attuativo ricade nella porzione meridionale del territorio comunale di Verona e si sviluppa su due aree non edificate separate da Via Apollo. Inserito in una zona circostante a destinazione mista, da agricola a residenziale e subordinatamente artigianale, il lotto di intervento confina a Nord con un'area verde e un complesso residenziale, a Sud con Via Cà Brusà, ad Est con Via Vigasio e ad Ovest con Strada della Genovesa (Fig. 3).

Fig. 3. Inquadramento geografico (sotto) e foto aerea del lotto oggetto di studio (in basso).



4 CAMPAGNA INDAGINI

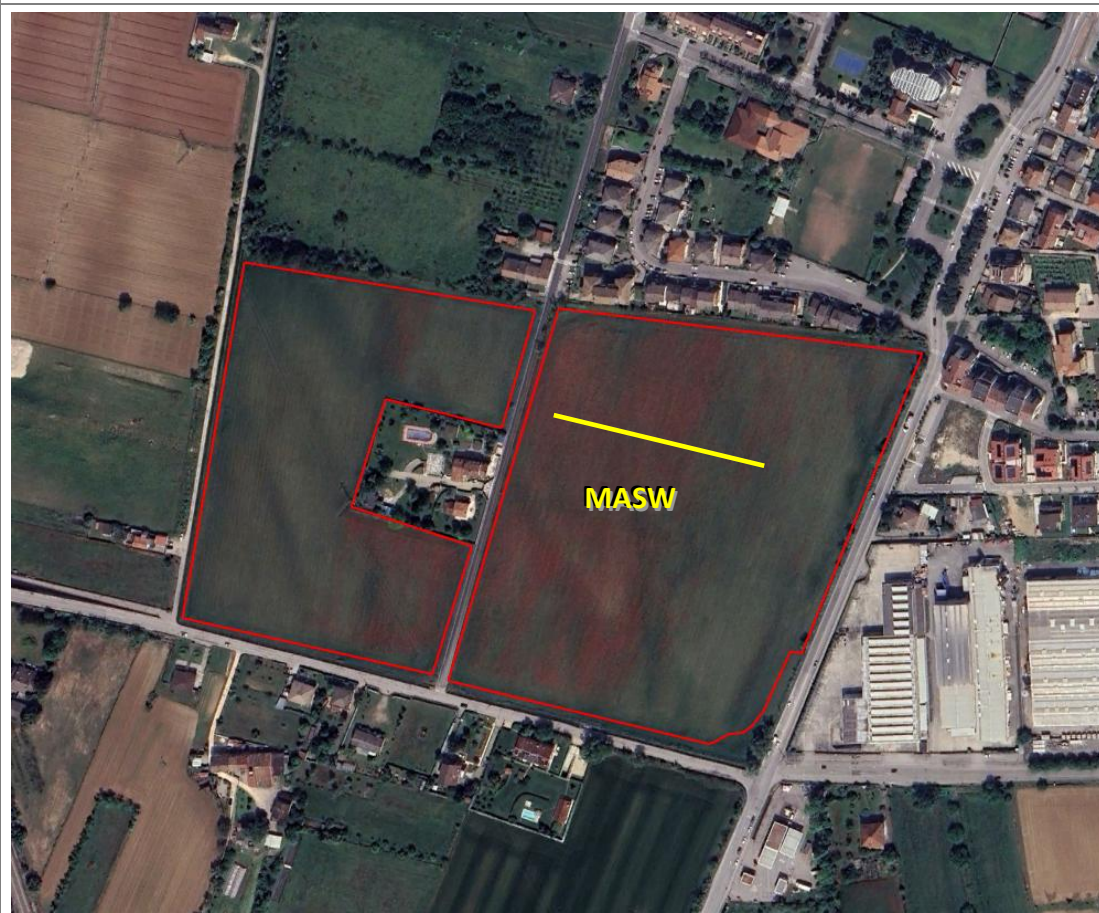
4.1 PREMESSA

Il presente studio si basa sull'esecuzione di una mirata indagine sismica finalizzata alla ricostruzione del profilo verticale delle onde di taglio (Vs) e l'identificazione della corretta Categoria di Sottosuolo di fondazione dell'area di studio. A tale scopo nel lotto di intervento è stata effettuata la seguente indagine:

- n. 1 indagine sismica di tipo MASW.

La prova è stata posizionata come illustrato nella figura seguente.

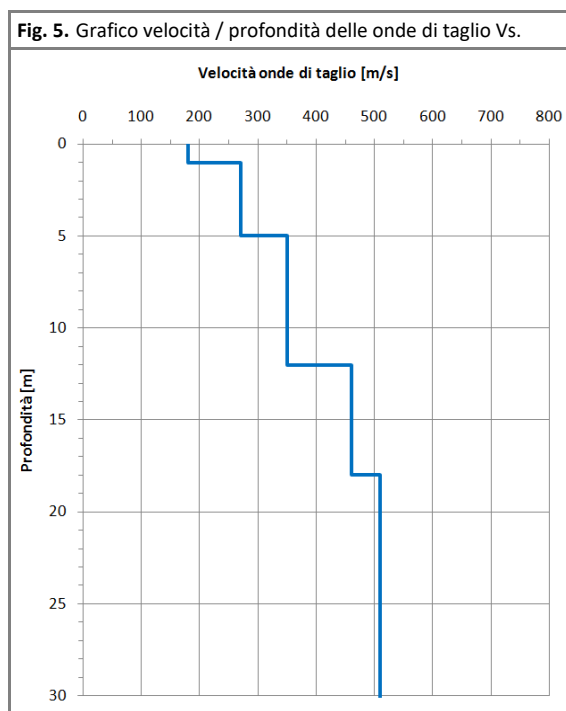
Fig. 4. Ubicazione della prospezione sismica con tecnica MASW (in giallo) realizzata nell'area oggetto di intervento (in rosso).



4.2 INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW

Per la caratterizzazione sismica dell'area di progetto è stata eseguita una campagna geofisica con realizzazione di n. 1 stendimento di tipo MASW. Pur rimandando all'All. 1 per una dettagliata descrizione della prova eseguita, di seguito si riporta una sintesi di quanto rilevato.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine geofisica che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali in funzione della profondità, basandosi sulla registrazione multicanale delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) disposti sulla superficie del suolo e a seguito di un'energizzazione sismica artificiale del terreno. Le acquisizioni MASW vengono infatti eseguite con stendimenti in cui i geofoni sono collocati su una linea retta ad una distanza reciproca costante determinata dalle condizioni geologiche locali e logistiche. L'indagine ha permesso di ricostruire il seguente profilo di velocità delle onde di taglio.



Il modello (v. tabella seguente) mostra la presenza di depositi da mediamente a ben addensati fin dal primo sottosuolo. Al di sotto di un orizzonte soffice superficiale ($V_s = 180$ m/s) di spessore metrico, sono presenti sedimenti progressivamente più rigidi con velocità in crescita da 270 m/s (depositi mediamente addensati) fino a raggiungere 510 m/s (terreno ben addensato) a partire da 18 m da piano campagna.

Sismostrato	Profondità (m da p.c.)	Spessore (m)	Velocità onde di taglio (m/s)
I	0,0 ÷ 1,0	1,0	180
II	1,0 ÷ 5,0	4,0	270
III	5,0 ÷ 12,0	7,0	350
IV	12,0 ÷ 18,0	6,0	460
V	> 18,0	semispazio	510

Dall'analisi del profilo verticale ottenuto è possibile calcolare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) da cui ricavare la Categoria di Sottosuolo come indicato dal D.M. 17/01/2018 (NTC 2018). Il parametro $V_{s,eq}$ si calcola attraverso la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

- h_i è lo spessore (in m) dell' i_{esimo} strato;
- $V_{s,i}$ è la velocità (in m/s) delle onde di taglio nell' i_{esimo} strato;
- N è il numero di strati;
- H è la profondità del bedrock sismico rispetto al piano di imposta delle fondazioni (il bedrock sismico è definito come quell'orizzonte costituito da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s).

Nel caso in esame, per depositi con profondità H del substrato sismico superiore a 30 m la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$. A seguire si riportano i valori di $V_{s,30}$ riferibili ai primi metri di sottosuolo.

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,eq}$	Categoria di Sottosuolo
0 m dal p.c.	$V_{s(0-30)} \approx 390$ m/s	B
1 m dal p.c.	$V_{s(1-31)} \approx 409$ m/s	B
2 m dal p.c.	$V_{s(2-32)} \approx 419$ m/s	B
3 m dal p.c.	$V_{s(3-33)} \approx 429$ m/s	B

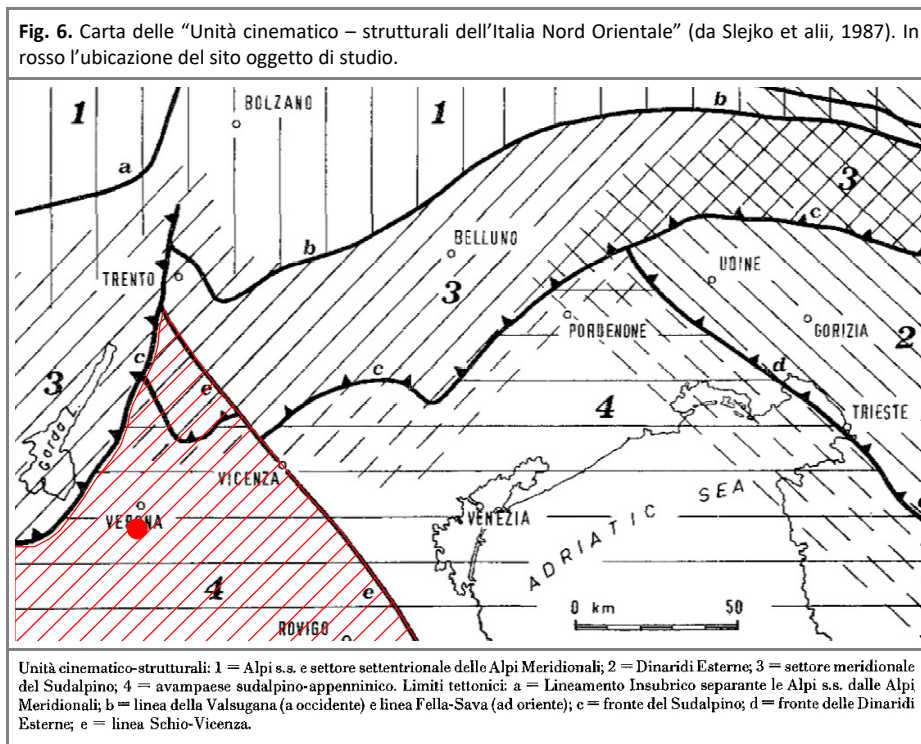
Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dall'indagine e dal calcolo del parametro $V_{s,eq}$, il sito in esame si colloca nella **categoria di sottosuolo "B"** così definita dal D.M. 17/01/2018 "rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/s".

5 ANALISI SISMICA

5.1 INQUADRAMENTO TETTONICO - STRUTTURALE

Sulla base della cinematica, della geodinamica e dell'evoluzione tettonica verificatesi nel Pleistocene medio - Olocene, l'Italia nord – orientale è suddivisibile in quattro unità cinematico – strutturali (Slejko et. alii. 1987 - v. fig. seguente):

- I. Alpi e settore settentrionale delle Alpi Meridionali (Unità 1);
- II. Dinaridi Esterne (Unità 2);
- III. Settore meridionale del Sudalpino (Unità 3);
- IV. **Avampaese sudalpino – appenninico (Unità 4).**

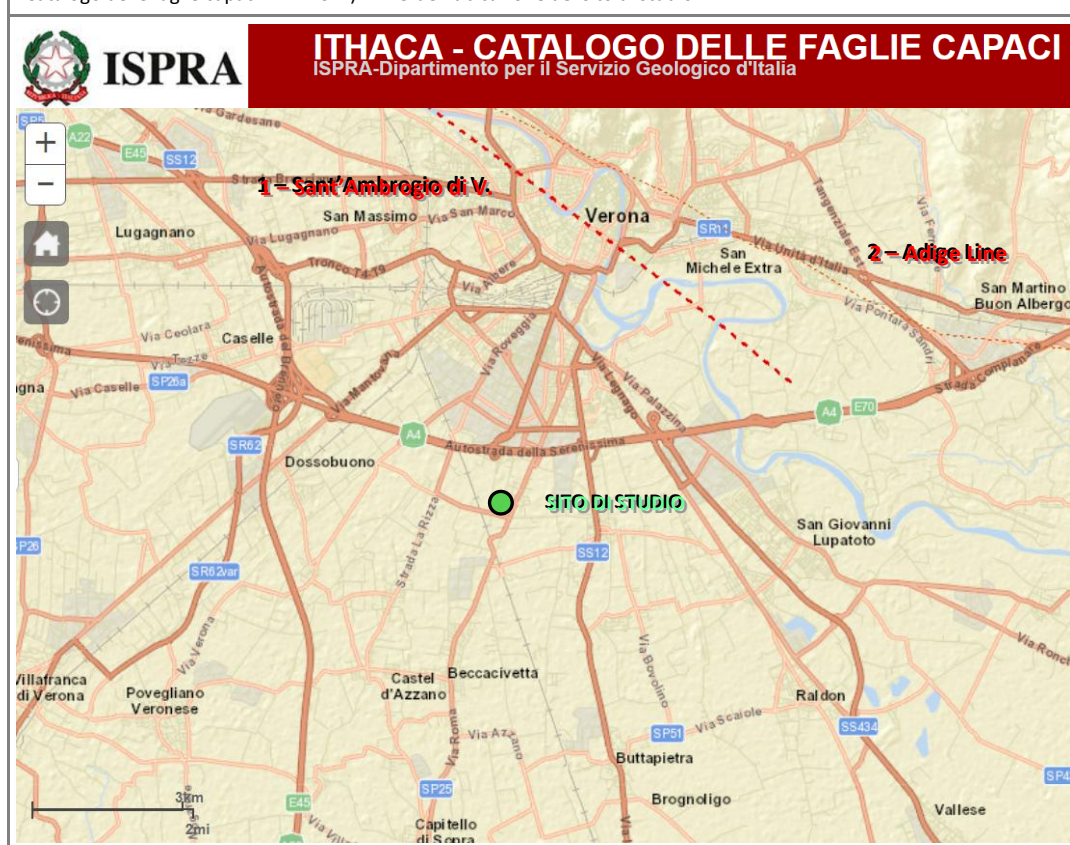


Il sito in esame ricade nell'*Avampaese sudalpino - appenninico*, più precisamente nel *settore lessineo meridionale*, una sorta di apofisi padana interposta nel Sudalpino e sovrascorsa ad occidente dai sistemi di embricazione dell'area Garda – Trento. L'area è delimitata ad Est dalla linea Schio – Vicenza che funge da svincolo trascorrente rispetto alle unità alloctone orientali; in corrispondenza di tale unità si raggiungono profondità ipocentrali superiori ai 20 km. Strutturalmente tale area è la prosecuzione meridionale verso l'Appennino della monoclinale lessinea. L'attività sismica è bassissima e collegabile probabilmente con strutture sepolte. La componente tettonica è infatti poco rilevante in quanto le principali strutture sono sepolte in profondità sotto la potente coltre di depositi alluvionali che caratterizzano la pianura, senza evidenze morfologiche in superficie. L'area denuncia sollevamenti e deformazioni non accentuate con blando basculamento verso Sud.

In termini di **neotettonica**, con riferimento al “Catalogo delle faglie capaci - ITHACA” redatto dall’ISPRA (Fig. 7), nella porzione di territorio in cui ricade il sito oggetto di studio si riconoscono le seguenti strutture tettoniche (“faglie capaci”) che hanno generato fagliazione superficiale negli ultimi 20.000 anni e ritenute pertanto, potenzialmente in grado di creare nuove deformazioni in superficie (Castaldini & Panizza, 1991):

1. “Sant’Ambrogio di Valpolicella”: di lunghezza prossima a 40 km e posta ad una distanza di oltre 5 km dall’area d’intervento, è una faglia trascorrente destra orientata in senso NO – SE ed è caratterizzata media probabilità di riattivazione;
2. “Adige Line”: lineamento tettonico di lunghezza pari a circa 35 km, orientato in senso NNO – SSE e collocato indicativamente lungo il margine settentrionale della fascia pedemontana veronese ad una distanza di circa 7 km a Nord - Est rispetto al sito oggetto di studio. Secondo recenti studi di sismicità locale, risulta caratterizzato da bassa probabilità di riattivazione sebbene abbia dato evidenze di attività in epoca storica (< 3.000 anni fa).

Fig. 7. Mappa delle “faglie capaci” presenti nelle vicinanze del territorio entro cui ricade l’area di intervento (estratto dal “Catalogo delle faglie capaci - ITHACA”). In verde l’ubicazione del sito di studio.



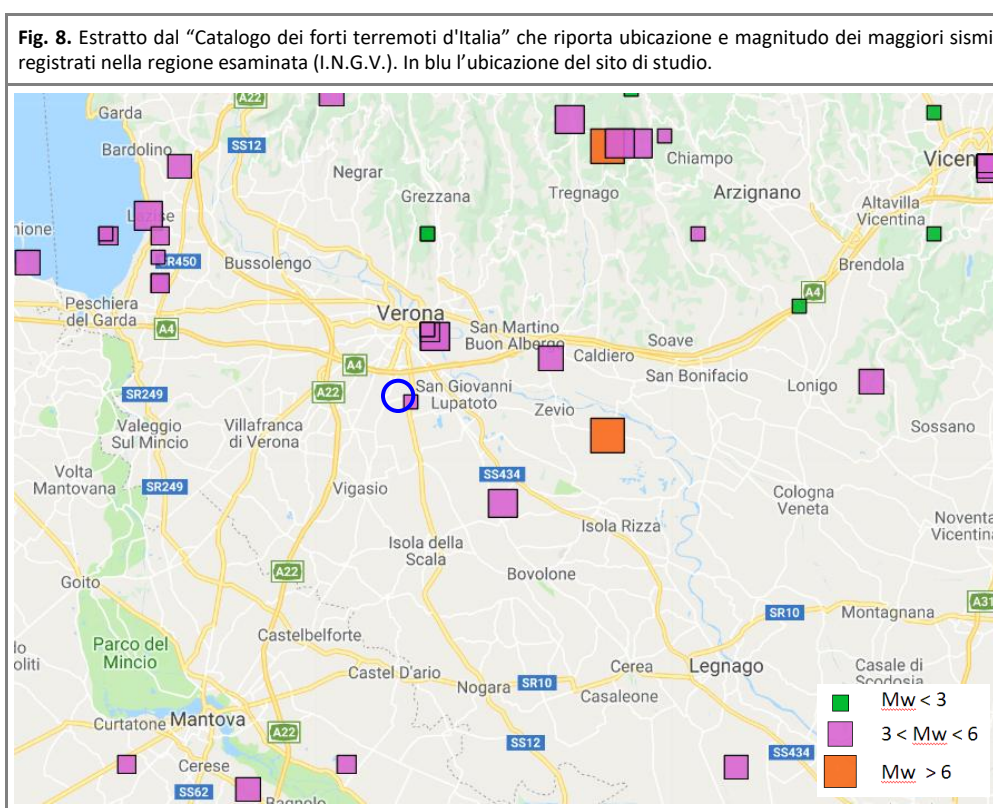
→ Sebbene in corrispondenza della porzione di territorio in esame si riconosca la presenza di alcuni lineamenti tettonici significativi (“faglie capaci”), si ritiene che questi non interferiscano in modo diretto con l’area d’interesse progettuale in corrispondenza della quale non si rilevano peraltro criticità di carattere tettonico - strutturale.

Per delineare la **sismicità storica** della porzione di territorio in cui ricade il sito oggetto di studio si è fatto riferimento alle seguenti pubblicazioni:

1. “Catalogo dei Forti Terremoti d'Italia” precedenti all’anno 1997 (I.N.G.V.);
2. portale dati del “Centro Nazionale Terremoti” (da <http://cnt.rm.ingv.it>) contenente il database dei terremoti registrati dal 1985 ad oggi (I.N.G.V.).

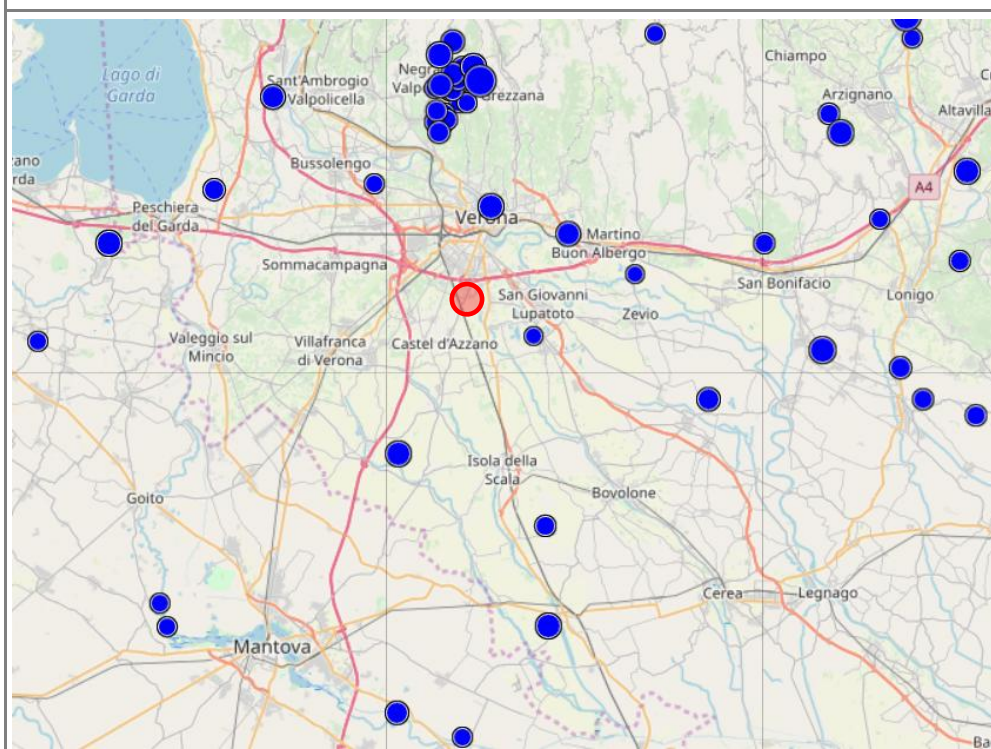
Nel dettaglio:

1. “Catalogo dei forti terremoti d'Italia” (I.N.G.V.): fino all’anno 1997 nella porzione di territorio circostante l’area di studio si sono registrati eventi con magnitudo per lo più compresa tra 3 e 6, con isolati eventi di magnitudo anche superiore a 6 come lo sono stati i terremoti storici di Tregnago e Zevio (Fig. 8);



2. “Centro Nazionale Terremoti” (I.N.G.V.): dal 1985 ad oggi in corrispondenza della regione esaminata è stato registrato un numero molto limitato di terremoti, peraltro di magnitudo M_w inferiore a 4,0 (Fig. 9). La maggior attività sismica è avvenuta per lo più fra i territori comunali di Negrar e Grezzana a Nord rispetto alla città di Verona, ad una distanza di oltre 10 km dall’area di studio.

Fig. 9. Ubicazione dei maggiori sismi registrati dal 1985 nella porzione di territorio esaminata (fonte: Centro Nazionale Terremoti – I.N.G.V.). In rosso l'ubicazione del sito di studio.



Alla luce delle informazioni raccolte si ritiene che la magnitudo registrata strumentalmente nella porzione di territorio in cui ricade anche il sito di studio sia in prima analisi $M_w \leq 6,0$.

In caso di evento sismico gli elementi morfologici e geologici che possono produrre un'amplificazione dell'onda sismica sono essenzialmente legati a:

- presenza di faglie o fratture maggiori collegate alle faglie principali;
- instabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica;
- marcate linee di cresta o bruschi cambiamenti di pendenza;
- contatti geologici che mettono a contatto terreni a differente impedenza acustica;
- presenza sui versanti di coltri detritiche o di accumuli franosi (sia attivi che quiescenti);
- vicinanza a scarpate di grande altezza soggette a fenomeni di crollo e/o rotolamento;
- presenza di falda freatica a bassa profondità con sottosuolo costituito da terreni granulari soggetti a liquefazione (sabbie fini o limi sabbiosi poco addensati).

→ Con riferimento all'elenco puntato di cui sopra, si ritiene che il sito di studio non presenti, complessivamente e in prima analisi, potenziali criticità sito specifiche di carattere geologico, morfologico e sismotettonico la cui presenza potrebbe, in caso di terremoto, focalizzare gli effetti di un'onda sismica. L'area risulta potenzialmente soggetta a fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico legata alla presenza di terreni diversi da cat. "A", elemento di cui tenere conto nella progettazione antisismica.

5.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO PROGETTUALE

In riferimento alla classificazione sismica della Regione Veneto definita dalla D.G.R.V. n. 244/2021, il Comune di Verona rientra in **zona sismica "2"**. La normativa definisce la **pericolosità sismica di base** del sito di costruzione in termini di accelerazione massima orizzontale attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido ($V_S > 800$ m/s) con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di superamento (P_{V_R}), in funzione del periodo di riferimento V_R . Con l'entrata in vigore delle NTC la stima di tale parametro viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Infatti, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14/01/2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra quattro punti della griglia di accelerazioni ("reticolo di riferimento") tramite media pesata, utilizzando la formula:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

p	valore del parametro di interesse nel punto in esame;
p_i	valore del parametro di interesse nell' i_{esimo} punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
d_i	distanza del punto in esame dall' i_{esimo} punto della maglia suddetta.

Si otterranno così i seguenti **parametri spettrali**:

- a_g accelerazione orizzontale massima;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

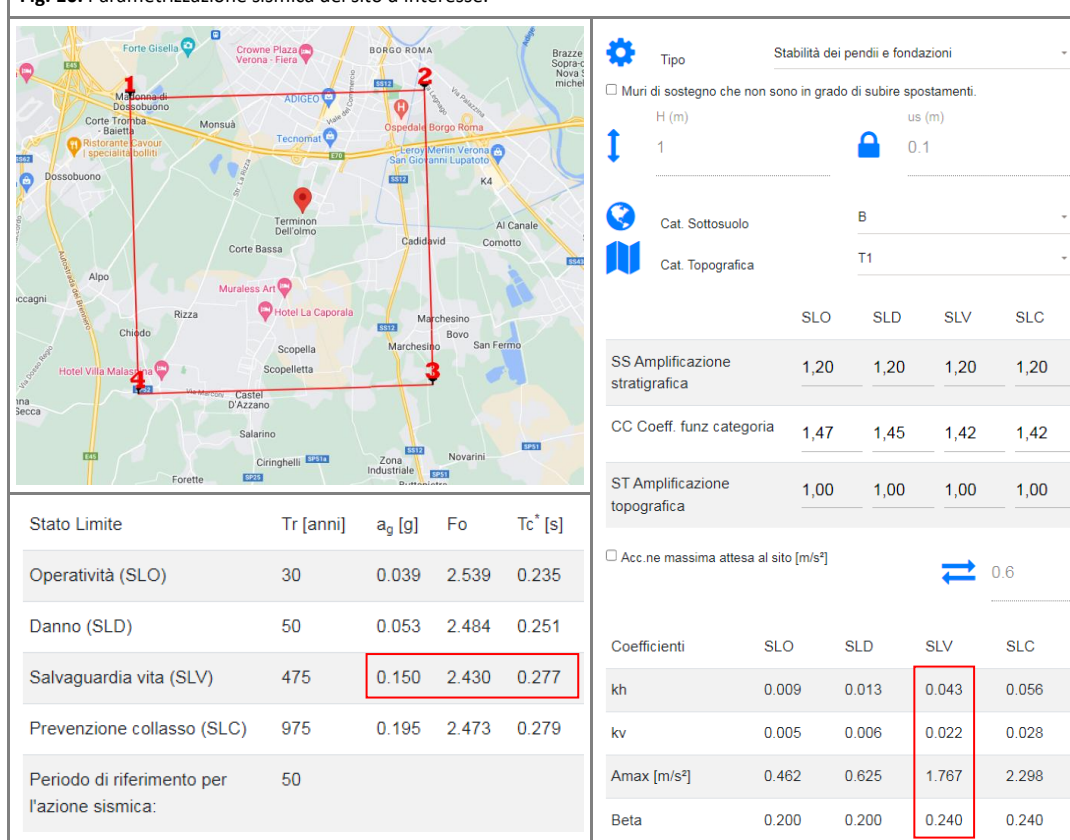
Sulla base della morfologia generale del territorio entro cui ricade il sito oggetto di intervento e considerato l'effetto topografico sulla risposta sismica locale, si ritiene che il sito di studio ricada in **categoria topografica "T1"** (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15$) da cui un **coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,00$** .

Alla luce dell'indagine MASW eseguita nell'area (v. All. 1), è possibile inserire l'area di lottizzazione in **categoria di sottosuolo 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 e 800 m/s", da cui un **coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_S = 1,20$** .

In relazione alla tipologia d'intervento, nel presente caso di studio i parametri spettrali caratteristici sono stati valutati considerando una **classe d'uso "II"** ("costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali") ed una vita nominale $V_N \geq 50$ anni. In tali ipotesi il **coefficiente d'uso $C_U = 1,00$** da cui deriva un periodo di riferimento **$V_R = 50$ anni**.

In riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), [definito come condizione in cui “a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali”], considerando una probabilità di superamento P_{VR} del 10% nel periodo di riferimento V_R pari a 50 anni cui corrisponde un tempo di ritorno di 475 anni, sono stati calcolati i seguenti **parametri sismici** di progetto.

Fig. 10. Parametrizzazione sismica del sito d'interesse.



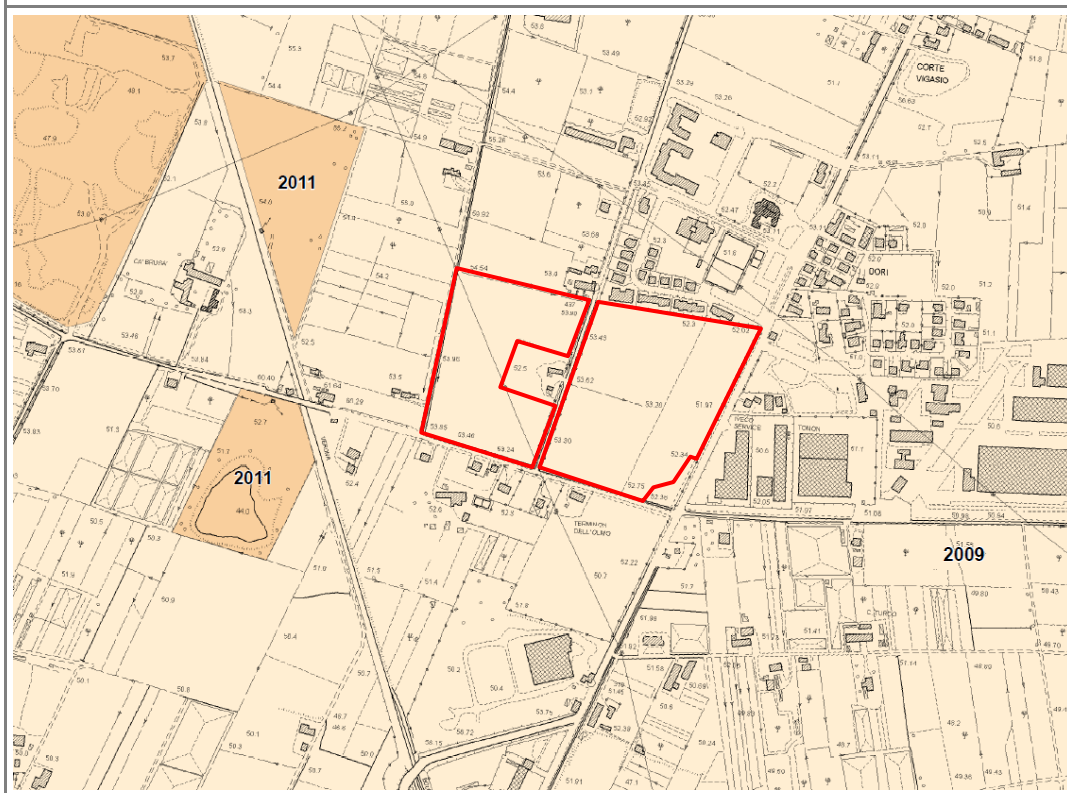
PARAMETRO SISMICO	VALORE
Classe d'uso	II
Vita nominale dell'opera V_N	50 anni
Coefficiente d'uso C_U	1,00
Periodo di riferimento V_R	50 anni
Categoria di sottosuolo di fondazione	B
Coeff. di amplificazione stratigrafica S_s	1,20
Categoria topografica	T1
Coeff. di amplificazione topografica S_T	1,00

PARAMETRO SISMICO	VALORE
Zona sismica (D.G.R.V. n. 244/2021)	2
Accelerazione orizzontale massima a_g [g]	0,150
Valore max. fatt. di amplificazione F_0	2,430
Periodo inizio tratto vel. cost. spettro T_c^* [s]	0,277
Accelerazione massima al suolo $a_{g\max}$ [m/s ²]	1,767
Coeff. azione sismica orizzontale k_h	0,043
Coeff. azione sismica verticale k_v	0,022
Coefficiente β	0,240

5.3 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Per completezza di esposizione si riporta di seguito un estratto dalla “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica” dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Verona, dove emerge che l’area di intervento ricade in “Zona 9 – GWfg: formazione dei depositi fluvioglaciali, dell’antico conoide depositato dall’Adige, che costituiscono la maggior parte della pianura veronese, costituito da materiali ghiaiosi e sabbiosi alternati a livelli sabbiosi e limosi con spessori anche superiori a 100 m. Sono presenti diverse cave in ghiaia con fronti (orli di scarpata) piuttosto alti e con pendenze elevate. Non si esclude l’ipotesi di possibili fenomeni di amplificazione litostratigrafica, per contrasti di impedenza, e morfologica, per la presenza di orli di scarpata di cave e di terrazzi fluviali”.

Fig. 11. Estratto dalla “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica” dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Verona. In rosso l’ambito del PUA.



2009 - Zona 9 (GWfg): formazione dei depositi fluvioglaciali, dell’antico conoide depositato dall’Adige, che costituiscono la maggior parte della pianura veronese, costituito da materiali ghiaiosi e sabbiosi alternati a livelli sabbiosi e limosi con spessori anche superiori a 100 m. Sono presenti diverse cave in ghiaia con fronti (orli di scarpata) piuttosto alti e con pendenze elevate. Non si esclude l’ipotesi di possibili fenomeni di amplificazione litostratigrafica, per contrasti di impedenza, e morfologica, per la presenza di orli di scarpata di cave e di terrazzi fluviali

2009

→ L’area di studio non ricade in zone di attenzione per possibili fenomeni di liquefazione.

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce di quanto fin qui descritto, si possono esporre le seguenti considerazioni riassuntive:

- L'area di intervento si colloca tra le quote altimetriche di 52,0 e 54,0 m s.l.m. in una porzione di territorio nel complesso pianeggiante dove le evidenze morfologiche legate alle passate dinamiche fluviali sono celate dalle pratiche agricole ed edificatorie diffuse nel territorio. Nell'area di intervento si segnalano, a livello topografico, locali differenze di quota nell'ordine di alcune decine di centimetri legate per lo più all'attività antropica.
- Nel corso del sopralluogo effettuato nell'area di intervento non sono state riscontrate significative evidenze geologiche, morfologiche, idrogeologiche e sismiche che indichino situazioni di particolare criticità, né sussistono fenomeni di dissesto in atto o quiescenti.
- Sebbene sulla base del rilievo e delle informazioni sismiche raccolte l'area di studio non presenti in prima analisi potenziali criticità di carattere geologico, strutturale e tettonico, il lotto di progetto risulta potenzialmente soggetto a fenomeni di amplificazione sismica di tipo litologico legata alla presenza nel primo sottosuolo di terreni diversi da categoria "A".
- Alla luce dei risultati dell'indagine MASW eseguita nell'area di intervento è possibile inserire il sito di progetto nella categoria di sottosuolo di fondazione "B". Coefficiente stratigrafico: $S_s = 1,20$. Categoria topografica: "T1". Coefficiente topografico: $S_T = 1,00$. Classe d'uso "II" ($C_U = 1,00$) e periodo di riferimento $V_R = 50$ anni.
- Dall'analisi dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Verona, è possibile escludere il rischio di liquefazione dei terreni in presenza di sisma per la porzione di territorio entro cui ricade l'area oggetto di studio.

San Giovanni Lupatoto, novembre 2025

Dott. Geol. Gionata Andreis



The image shows a handwritten signature in blue ink over a circular professional stamp. The stamp contains the text: "ORDINE DEI GEOLOGI", "Dott. Geol. Gionata ANDREIS", and "N° 789 REGIONE DEL VENETO".

ALLEGATO 1

REPORT INDAGINE SISMICA

REPORT INDAGINE GEOFISICA

San Giovanni Lupatoto, 27 febbraio 2024

1 PREMESSA

Obiettivo dello studio è la caratterizzazione dal punto di vista sismico del sottosuolo di fondazione dell'area di futuro intervento per la ricostruzione dell'assetto sismo - stratigrafico locale e l'assegnazione della Categoria del Sottosuolo attraverso il calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) per la definizione dell'azione sismica di progetto richiesta dalla normativa (D.M. 17/01/2018).

In particolare, all'interno del lotto di studio è stata effettuata:

- **n. 1 prospezione sismica con tecnica MASW**, metodologia che permette la ricostruzione dell'assetto sismo - stratigrafico del sottosuolo a partire dalle modalità di propagazione delle onde superficiali di Rayleigh. Una volta definito il profilo verticale di velocità delle onde S dal piano di fondazione fino alla profondità del bedrock sismico o almeno fino alla quota di 30 m da p.c. ($V_{s,eq}$) è possibile determinare la Categoria del sottosuolo.

Nella figura seguente viene evidenziata l'ubicazione geografica dell'area oggetto di studio ed una foto aerea con il posizionamento della prova sismica di tipo MASW effettuata.

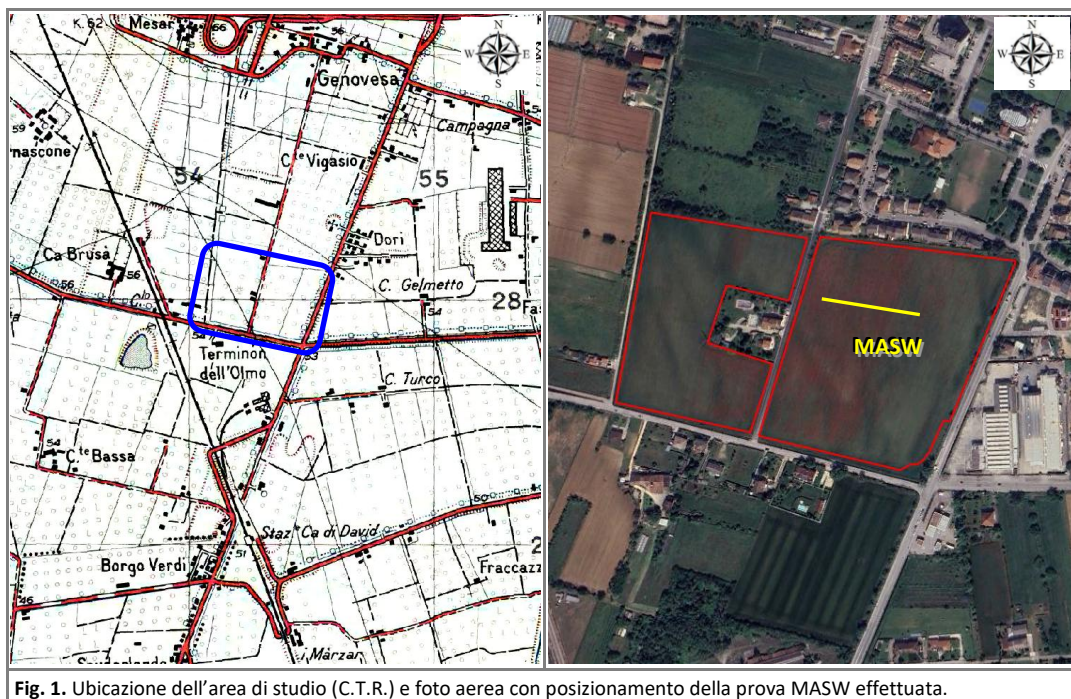
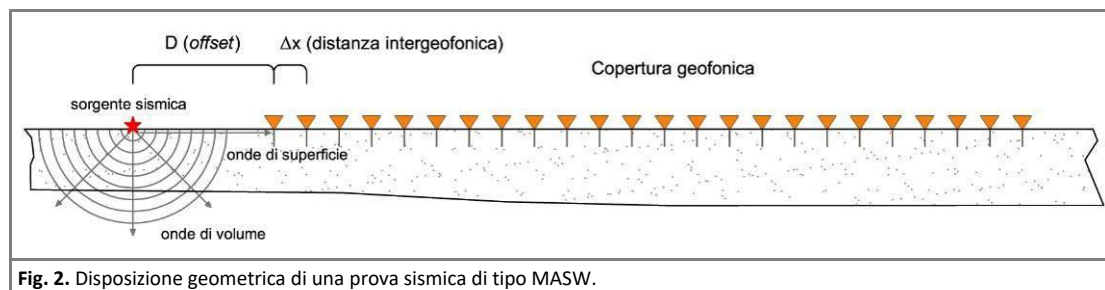


Fig. 1. Ubicazione dell'area di studio (C.T.R.) e foto aerea con posizionamento della prova MASW effettuata.

2 INDAGINE SISMICA MASW

2.1 Cenni metodologici

Il **metodo MASW** (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine geofisica che consente la definizione del profilo di velocità delle onde superficiali di taglio (V_s) in funzione della profondità, basandosi sulla registrazione multicanale fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) disposti sulla superficie del suolo e collegati ad un sismografo, a seguito di un'energizzazione sismica artificiale del terreno. Si tratta di una metodologia di indagine sismica attiva, ossia registra le onde di superficie generate da una specifica sorgente (mazza battente) posizionata esternamente allo stendimento di geofoni ad una distanza variabile (*offset*) e sempre in asse con questo (Fig. 2).



Le acquisizioni vengono eseguite con stendimenti in cui i geofoni sono collocati su una linea retta ad una distanza reciproca costante determinata dalle condizioni geologiche locali e logistiche; risulta infatti fondamentale che non vi siano variazioni stratigrafiche laterali lungo lo stendimento e che lo stesso non subisca brusche differenze di quota.

Attraverso l'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale, la tecnica MASW consente di ricostruire il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo attraverso la stima delle V_s . Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con velocità direttamente correlate alla rigidità della porzione di terreno interessata. È sperimentalmente provata la relazione che lega le leggi del moto delle onde di Rayleigh e quelle delle onde di taglio S; la velocità delle prime è infatti influenzata direttamente da alcuni parametri quali la velocità delle onde P, la densità del mezzo ed, in particolare, proprio dalla velocità delle onde S. La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati, avviene in maniera diversa rispetto ai 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 che interessano il terreno a diverse profondità e che risultano condizionate dalle caratteristiche elastiche e di rigidità del sottosuolo. Lunghezza d'onda " λ ", frequenza " f " e velocità di propagazione " V " sono legate dalla relazione:

$$V = \lambda \cdot f$$

In generale, lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario lunghezze d'onda minori, poiché associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

Assumendo quindi che ci sia una variazione verticale della velocità, ogni componente di frequenza di un'onda di superficie ha una diversa velocità di propagazione per una ed una sola componente di frequenza. Questa caratteristica di unicità si riflette in una differente lunghezza d'onda per ciascuna frequenza: un tale comportamento è definito *dispersione*. Per osservare la dispersione di un segnale si usa un'analisi chiamata *overtone* che consente la costruzione di un grafico dove i trend delle massime ampiezze locali rappresentano l'energia dispersiva (modo fondamentale e modi superiori di propagazione).

Dall'analisi del sismogramma si costruisce un grafico denominato *spettro delle velocità* che rappresenta tutte le possibili velocità di fase per il range di frequenza di interesse. Lo studio dello spettro consente poi di definire la *curva di dispersione* che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda a cui corrispondono i massimi spettrali d'energia. Questa è estraibile con un processo di *picking* direttamente dal grafico poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro stesso.

Il passo finale è il processo di *inversione* o modellazione diretta della curva di dispersione per arrivare alla definizione del profilo delle velocità delle onde S. Una volta definito un modello iniziale, dedotto dalla curva di dispersione osservata e/o ricostruito a partire da dati geologici noti del sito, il programma ricerca un profilo delle Vs la cui curva teorica di dispersione meglio si approssima a quella sperimentale corrispondente al sottosuolo del sito di indagine usando, come guida e condizioni al limite, l'errore RMS (*misfit*).

Tanto più è corretto il modello iniziale tanto più piccolo è il numero di iterazioni necessarie per raggiungere il *best fit*. A questo punto è possibile definire il modello finale le cui caratteristiche (spessori e velocità delle onde S) meglio approssimano quelle reali e si ottiene il profilo verticale delle Vs.

Sintetizzando quanto sin qui esposto, la procedura è articolata nei seguenti passi:

- acquisizione, registrazione e analisi dei dati sismici contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;
- determinazione dello spettro del segnale con velocità di fase in funzione della frequenza (dominio "f - V") o numero d'onda – frequenza (dominio "f - k");
- identificazione e picking della curva di dispersione, cioè determinazione dei punti che sullo spettro di velocità appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale;
- inversione della curva di dispersione e/o modellazione diretta della velocità delle onde di superficie, attraverso iterazioni successive per la definizione di un modello finale le cui caratteristiche (spessori e velocità delle onde S) meglio approssimano quelle reali.

Quest'ultimo processo può essere facilitato e perfezionato attraverso la conoscenza della stratigrafia locale, in funzione della quale vengono definiti modulo di Poisson, spessore degli strati e velocità delle onde S; analizzando e confrontando i vari parametri è possibile trovare la soluzione che meglio rappresenta la realtà geologica del sito indagato.

2.2 Acquisizione dati MASW

Per l'esecuzione dell'indagine sismica MASW si è utilizzata la seguente strumentazione:

- sismografo a 24 canali "*Pasi - Gea 24*";
- cavi sismici da 12 tracce con connettori per geofoni e spaziatura max 5 m;
- geofoni verticali da 4,5 Hz;
- geofono starter (*trigger*);
- mazza battente da 8 kg;
- piattello di battuta in alluminio (dim. 20 x 20 x 5 cm);
- pc portatile.

L'indagine è stata realizzata al centro dell'area verde ad Est rispetto a Via Apollo, dove saranno concentrati i volumi edilizi della lottizzazione e sviluppata in un *array* lineare con n°12 geofoni posti ad una distanza reciproca costante di 3 m per una lunghezza complessiva di 33 m.



Fig. 3. Panoramica dell'area dove sono stati posizionati i sensori per lo stendimento sismico con tecnica MASW.

L'energizzazione per la generazione delle onde di superficie è fornita dalla mazza battente su una piastra metallica posizionata esternamente allo stendimento ad una distanza di 4 m dal 1° geofono (*offset*). L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è inviato allo strumento da un geofono *trigger* posizionato sul terreno accanto al piattello di battuta. Per attenuare il possibile rumore incoerente derivante dall'esterno e migliorare la qualità del dato sono state effettuate n. 5 acquisizioni e si è poi proceduto a farne una media (*stacking*).

Di seguito si riportano le geometrie e i parametri di acquisizione dell'indagine effettuata:

ID. INDAGINE	NUMERO GEOFONI	SPAZIATURA GEOFONI (Δx)	LUNGHEZZA STENDIMENTO (L)	OFFSET ENERGIZZAZIONE (D)	PASSO DI CAMPIONAMENTO	DURATA REGISTRAZIONE
MASW	12	3,0 m	33,0 m	4,0 m	0,5 ms (2000 Hz)	2,0 s

2.3 Elaborazione e interpretazione dei risultati

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software *Surface Plus* prodotto da *Geogiga* (Canada), il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio con il metodo diretto attraverso gli algoritmi genetici a partire dal calcolo dello spettro delle velocità e dal *picking* della curva di dispersione, individuata direttamente sullo spettro del segnale identificando i massimi spettrali di energia.

Nella figura seguente si riportano i dati acquisiti per lo stendimento MASW sotto forma di sismogramma (Fig. 4). I dati sono stati sottoposti ad una fase iniziale di pulitura digitale (*dc remove, cuttings, resize*) al fine di ridurre i rumori di fondo e aumentare ove possibile il rapporto segnale/rumore, esaltando le onde di superficie. Il segnale appare nel complesso pulito con alto rapporto segnale / rumore e basso *noise* ad elevata frequenza, il che permette una buona interpretazione del dato.

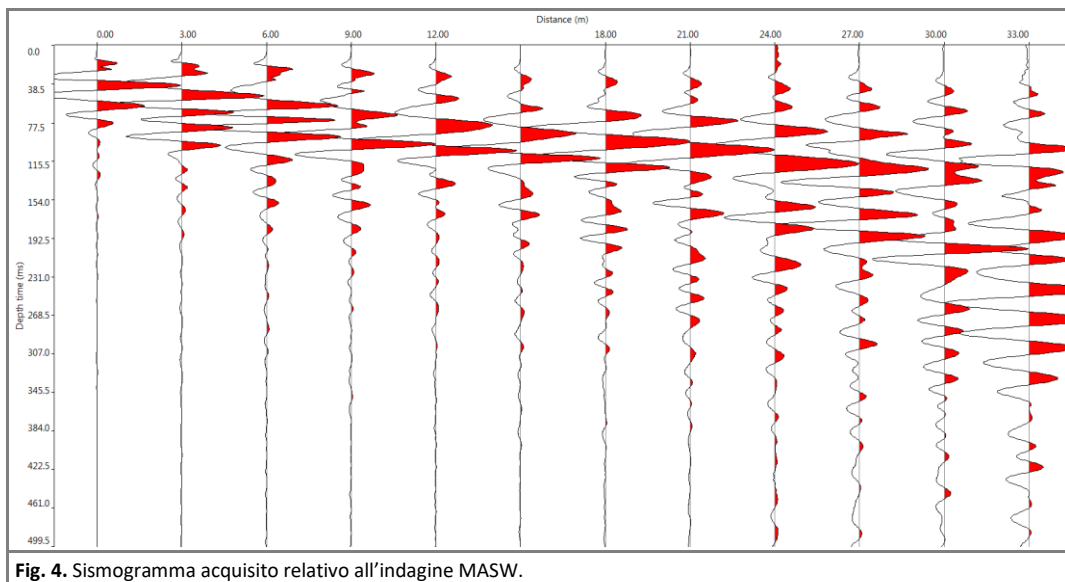


Fig. 4. Sismogramma acquisito relativo all'indagine MASW.

Nella figura alla pagina seguente si riporta lo **spettro delle velocità** ottenuto esaminando tutte le possibili velocità di fase per il range di frequenza più significativo, all'interno del quale è stata individuata la **curva di dispersione** sperimentale.

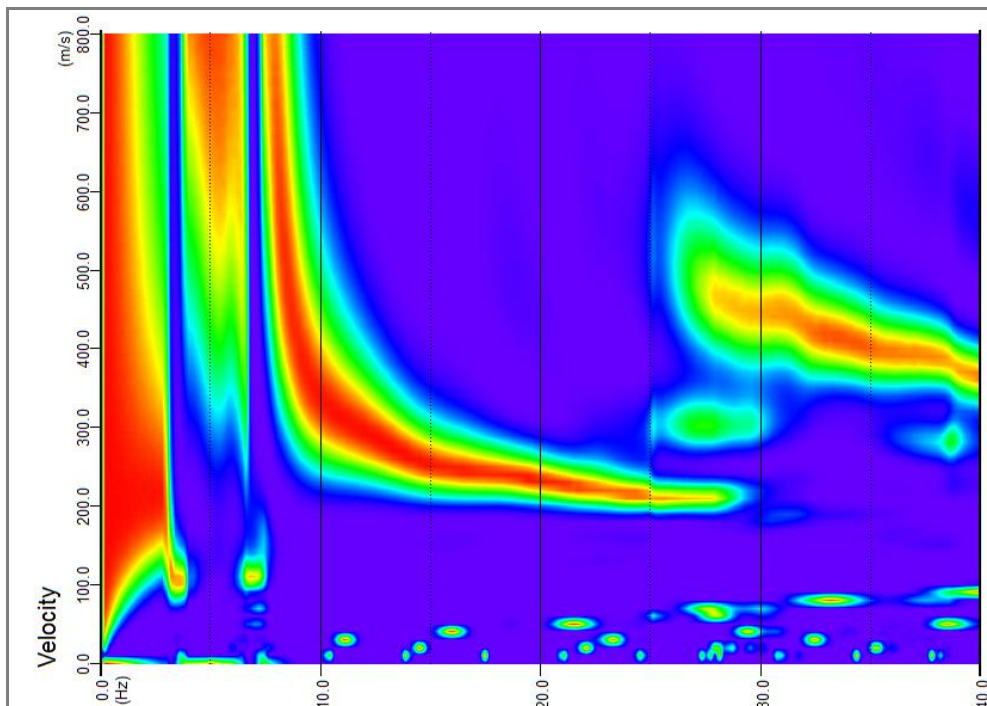


Fig. 5. Spettro delle velocità ottenuto rappresentando per ogni velocità di fase la relativa frequenza di propagazione.

La fase di *processing* digitale del segnale ha permesso di ottimizzare l'identificazione dello spettro relativo alle onde di superficie; pur comparando alle medio - alte frequenze alcuni modi superiori di propagazione dell'onda, il modo fondamentale risulta nel complesso ben visibile ed è possibile estrapolare un dato preciso per le frequenze di interesse.

Di seguito si riporta la curva di dispersione sperimentale osservata e quella derivante dal modello elaborato mediante il *software* di interpretazione; come si osserva dal grafico la sovrapposizione tra le due curve è buona con un errore di *misfit* molto basso.

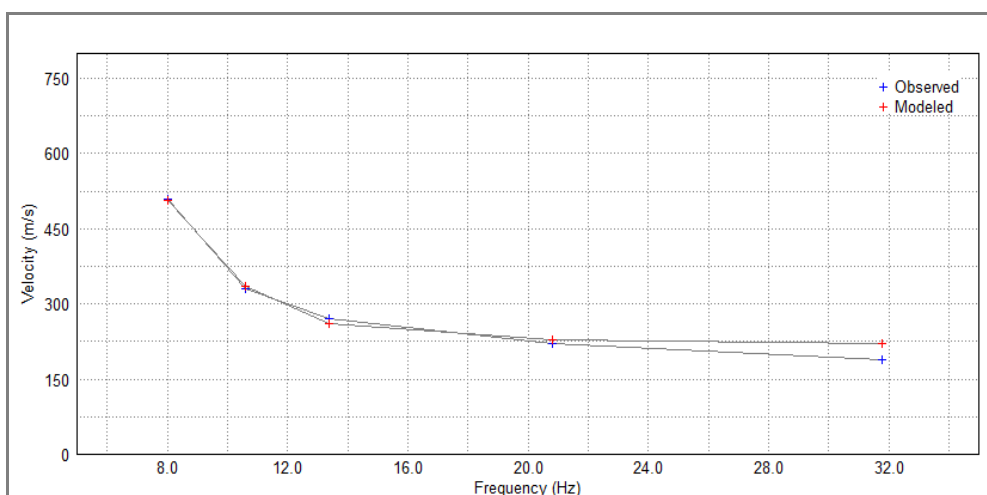


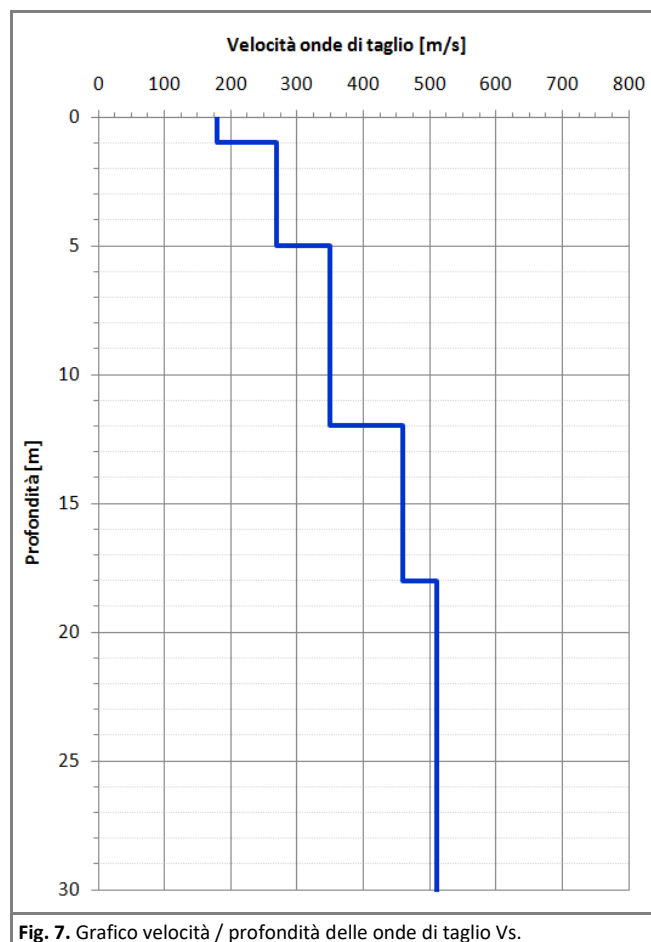
Fig. 6. Curva di dispersione sperimentale osservata e derivante dal modello.

2.4 Modello sismo-stratigrafico del sottosuolo

Il profilo sismo - stratigrafico verticale ricavato dalla modellazione diretta della curva di dispersione sperimentale è riportato nella tabella seguente.

Sismostrato	Profondità (m da p.c.)	Spessore (m)	Velocità onde di taglio (m/s)
I	0,0 ÷ 1,0	1,0	180
II	1,0 ÷ 5,0	4,0	270
III	5,0 ÷ 12,0	7,0	350
IV	12,0 ÷ 18,0	6,0	460
V	> 18,0	semispazio	510

Il modello mostra la presenza di depositi da mediamente a ben addensati fin dal primo sottosuolo. Al di sotto di un orizzonte soffice superficiale ($V_s = 180$ m/s) di spessore metrico, sono presenti sedimenti progressivamente più rigidi con velocità in crescita da 270 m/s (depositi mediamente addensati) fino a raggiungere 510 m/s (terreno ben addensato) a partire da 18 m da piano campagna. La prova non ha evidenziato inversioni di velocità. Il profilo verticale delle onde S è il seguente:



3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

Dall'analisi del profilo verticale ottenuto è possibile calcolare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) da cui ricavare la Categoria di Sottosuolo come espressamente richiesto dalla normativa vigente (D.M. 17/01/2018). Il parametro $V_{s,eq}$ si calcola attraverso la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

- h_i è lo spessore (in m) dell' i_{esimo} strato;
- $V_{s,i}$ è la velocità (in m/s) delle onde di taglio nell' i_{esimo} strato;
- N è il numero di strati;
- H è la profondità del bedrock sismico rispetto al piano di imposta delle fondazioni (il bedrock sismico è definito come quell'orizzonte costituito da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s).

Per depositi con profondità H del substrato sismico superiore a 30 m, come per il caso in esame, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$. A seguire si riportano i valori di $V_{s,30}$ riferibili ai primi metri di sottosuolo.

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,eq}$	Categoria di Sottosuolo
0 m dal p.c.	$V_{s(0-30)} = 390$ m/s	B
1 m dal p.c.	$V_{s(1-31)} = 409$ m/s	B
2 m dal p.c.	$V_{s(2-32)} = 419$ m/s	B
3 m dal p.c.	$V_{s(3-33)} = 429$ m/s	B

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dall'indagine e dal calcolo del parametro $V_{s,eq}$, il sito in esame si colloca nella **categoria di sottosuolo "B"** così definita: 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 e 800 m/s.

San Giovanni Lupatoto, 27 febbraio 2024

Dott. Geol. Gionata Andreis