



Comune di Verona

Provincia di VERONA

C.T. : Fg 160 MM. nn. 29 – 495 – 496 – 500 - 379

OGGETTO :

Relazione di compatibilità geologica,
geomorfologica ed idrogeologica

PROPRIETARI :

Alessandro Tesini
Roberta Tesini
Nicola Tesini

Alessandro Tesini
Roberta Tesini
Nicola Tesini

TAVOLA

6.1

PROPRIETARI :

Alessandro Tesini
Roberta Tesini
Nicola Tesini

architetto

Arch. Marino Pinali

Via A. Guerrieri,
6/a37137 Verona

Tel. 338 6774732 - Fax 045 952286

emailmarino.pinali@gmail.com
marino.pinali@pec.it



REGIONE VENETO
PROVINCIA DI VERONA
COMUNE DI VERONA

<u>COMMITTENTE:</u>	SIGG. TESINI
<u>PROGETTISTA</u>	ARCH. PINALI MARINO
<u>ELABORATO:</u>	PIANO URBANISTICO ATTUATIVO SCHEDA NORMA 69 SITO IN VICOLO CERE
	VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA ALLEGATA AL PIANO URBANISTICO ATTUATIVO

Castelnuovo del Garda, aprile 2016

Dott. Cesare Bagolini



SOMMARIO

1. PREMESSA.....	4
2. AREA DI INDAGINE.....	4
2.1. SCOPO DELL'INDAGINE.....	5
3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	5
4. IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA.....	7
4.1. ACQUE SUPERFICIALI.....	8
4.2. ACQUE SOTTERRANEE.....	8
4.2.1. INTERAZIONI OPERA/SOTTOSUOLO.....	10
4.2.2. LOCALIZZAZIONE DEI POZZI AD USO IDROPOTABILE.....	11
5. INDAGINI IN SITO.....	12
5.1. STRATIGRAFIA DEL PRIMO SOTTOSUOLO.....	14
5.2. INDAGINE SISMICA.....	14
6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	14
6.1. STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO.....	15
6.2. CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	16
6.3. PARAMETRI SISMICI.....	17
7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	18
7.1. COMPORTAMENTO DEI TERRENI NELLE AREE LIMITROFE.....	18
7.2. CARATTERISTICHE DELL'OPERA DI PROGETTO.....	18
7.3. MODELLO GEOTECNICO DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	18
8. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ AMBIENTALE.....	19
8.1. COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO CON IL SISTEMA IDROGRAFICO.....	19
8.2. COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO CON IL SISTEMA IDROGEOLOGICO.....	19
8.3. COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO CON L'EQUILIBRIO MORFODINAMICO LOCALE.....	20
9. CONCLUSIONI.....	21
10. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	22
11. ALLEGATI.....	24

ELENCO ALLEGATI

- I. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO: SCALA 1 : 25.000 E 1:5.000;
- II. INDAGINE SISMICA.

1. PREMESSA

Su incarico dell'Arch. MARINO PINALI e per conto dei Sigg. TESINI sono state eseguite indagini geologiche, idrogeologiche e geotecniche sui terreni interessati da un progetto per la proposta di **Piano Urbanistico Attuativo** da realizzare in via vicolo Cere, nel Comune di Verona (VR).

Lo studio è stato eseguito facendo riferimento alle *normative e raccomandazioni* relative alle indagini ed alla progettazione geotecnica, ed in particolare:

- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare 02/02/2009
- Legge 2 febbraio 1974, n° 64, Capitolo G: "Stabilità dei pendii naturali e dei fronti di scavo";
- Delibera della Giunta Regionale del Veneto 22.01.2008 n°71: Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" – Direttive per l'applicazione. Adozione del provvedimento n°96/CR del 7 agosto 2006.
- D.M. 14.01.2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni";
- Ordinanza del Presidente del Consiglio 28.04.2006 n°3519: "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone";
- D.M. 14.09.2005 Testo Unico sulle norme tecniche per le costruzioni. *Prescrizioni tecniche per le costruzioni, per la verifica sismica ed idraulica nonché per la progettazione, la costruzione e l'adeguamento delle dighe di ritenuta, dei ponti e delle opere di fondazione e sostegno*;
- Delibera del Consiglio Regionale del Veneto 03.12.2003 n°67: Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20.03.2003 n°3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" – Approvazione della classificazione sismica e direttive per l'applicazione;
- Presidenza del Consiglio dei Ministri - Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 (G. U. 08/05/2003, n° 105): "Criteri per l'Individuazione delle Zone Sismiche - Individuazione, Formazione e Aggiornamento degli Elenchi nelle medesime Zone";
- Ordinanza n.3316/03: *Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003*.
- Decreto Ministeriale 11/03/1988 (G. U. 01/06/1988, n° 47): "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", Capitolo B: "Indagini Geotecniche", esplicitate nelle relative istruzioni: Circ. LL.PP. 24 settembre 1988, n. 30483;
- BS 5930: "Code of Practice for site investigations" della British Standards Institution, 1981;
- "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" dell'AGI (Associazione Geotecnica Italiana), 1977;
- Regio Decreto Legge n° 3267 del 30/12/1923: *Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani*;
- P.A.T. DEL COMUNE DI VERONA (VR).

2. AREA DI INDAGINE

L'opera di progetto è situata in via vicolo Cere all'interno del territorio comunale di Verona (VR). Per l'ubicazione si veda l'Allegato I: "Inquadramento Geografico".

Dal punto di vista morfologico il territorio fa parte della *Alta Pianura Veronese* ed è situato lungo la piana alluvionale del fiume Adige che scorre a est del lotto di progetto.

I Terreni di proprietà presentano una morfologia abbastanza pianeggiante e le quote risultano comprese tra 62 e 63 metri s.l.m.

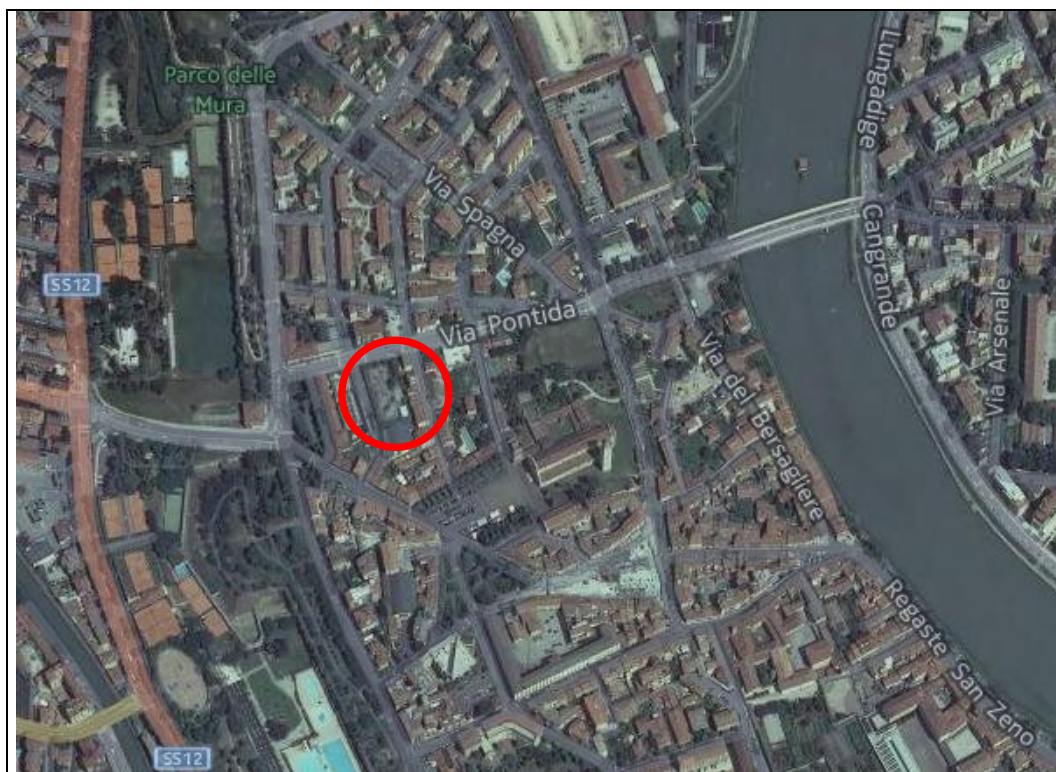


FIGURA 2.1: Immagine da satellite con inquadramento del lotto di progetto (fonte - <http://mappe.istella.it>).

2.1. SCOPO DELL'INDAGINE

La presente relazione ha lo scopo di definire un *Modello Geotecnico dei Terreni di Fondazione* sull'area destinata alla realizzazione dell'intervento in progetto.

L'inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico è stato effettuato attraverso il reperimento e la consultazione del materiale bibliografico disponibile e l'esecuzione di indagini dirette di campagna. E' stato così possibile ottenere una classificazione di tipo *qualitativo* dei terreni direttamente interessati dai carichi indotti delle strutture di progetto.

Su questa base è stato quindi ricavato un valore indicativo dei *Carichi Limite* e, conseguentemente di quelli *Ammissibili* che caratterizzano questi terreni.

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

La zona oggetto di studio fa parte dell'*Alta Pianura Veronese*. Quest'area è costituita da un complesso alluvionale prodotto principalmente dal Fiume Adige ed in misura secondaria da alcuni corsi d'acqua minori, in diverse fasi dell'Era Quaternaria (sia in epoca glaciale che post-glaciale).

La deposizione dei sedimenti di varia granulometria ed il continuo variare della sede fluviale dell'Adige hanno portato alla formazione, in tempi diversi, di un'ampia *Conoide Composta*, con asse disposto in direzione NNW-SSE, e delimitato a Nord-Ovest dall'Anfiteatro Morenico del Garda, e a Nord dai Monti Lessini.



Figura 3.1: Stralcio della Carta Geologica Foglio 49 Verona - FUORI SCALA.

L'Alta Pianura è delimitata a Nord dai rilievi montuosi e collinari dell'Altopiano Lessineo, e a Sud dal limite settentrionale della *Fascia delle Risorgive*. E' caratterizzata da una morfologia pianeggiante abbastanza regolare, interrotta solo dalla presenza di terrazzamenti operati dall'azione geodinamica fluviale e dall'intervento antropico sull'ambiente, che in alcuni casi ha modificato in modo incisivo l'assetto naturale del territorio. L'Alta Pianura rappresenta una zona di transizione tra l'area pedemontana, che lambisce la base dei rilievi prealpini, e la pianura propriamente detta, ed è costituita dal *sistema planiziale delle fasce fluviali*.

L'evoluzione geologica della porzione di Pianura Padana qui in esame è collegata allo sviluppo delle *Avanfosse Alpina* ed *Appenninica*. Questo grande bacino, che durante il *Pliocene* e parte del *Pleistocene* risulta corrispondere ad un golfo occupato da acque marine e caratterizzato da successive *ingressioni* e *regressioni*, presenta un profilo asimmetrico, con inclinazione del lato

settentrionale minore di quella del lato meridionale, dove, in prossimità del margine appenninico, lo spessore dei sedimenti supera i 7.000 m.

Le vicende geologiche del territorio in esame sono strettamente legate alla genesi e successiva evoluzione della Pianura Padana, di cui fa parte. La ricostruzione paleogeografica e la successione temporale dei vari ambienti che si sono succeduti nel tempo si basa sui risultati dell'attività dell'AGIP per la ricerca degli idrocarburi e sugli studi effettuati dall'ENEL per la localizzazione di una centrale elettronucleare.

Le correlazioni stratigrafiche tra i pozzi AGIP di Villafranca, Nogarole Rocca e Rodigo, (Comune di Goito) hanno permesso una ricostruzione attendibile degli eventi verificatisi a partire dall'era mesozoica.

Lo spessore complessivo dei depositi nell'area in esame raggiunge valori notevoli: la base del Quaternario è infatti segnalata a $500 \div 1.000$ m nel settore delle colline moreniche, e nella fascia pedecollinare, per raggiungere poi i 1.500 m nella media pianura.

L'assetto attuale che caratterizza il territorio risente in particolar modo degli effetti causati dalle glaciazioni, che si sono sviluppate a partire da circa 1,8 milioni di anni fa.

Questi eventi climatici relativamente recenti hanno infatti lasciato un'impronta spiccata sul territorio, nelle componenti fisiche, biologiche ed antropiche: dopo l'ultima glaciazione entriamo nella fase climatica attuale.

Le unità geologiche affioranti nel territorio sono esclusivamente di ambiente continentale e costituite da morene, depositi fluvioglaciali ed alluvioni di età compresa tra il *Pleistocene* e l'*Olocene*.

A partire dall'*Olocene* fino ai giorni nostri l'elemento geomorfologico principale è costituito dai corsi d'acqua che, riprendendo la fase di erosione dei depositi morenici a monte e di rideposizione a valle dei materiali, hanno contribuito a dare l'assetto attuale al territorio in oggetto.

Lo spessore complessivo dei depositi nell'area in esame raggiunge valori notevoli: la base del Quaternario è infatti segnalata a $500 \div 1.000$ m nel settore delle colline moreniche, e nella fascia pedecollinare, per raggiungere poi i 1.500 m nella media pianura.

Nell'area in studio affiorano sedimenti prevalentemente ghiaioso-sabbiosi. Come indicato nello stralcio della Carta Geologica, di figura 3.1, si tratta di *depositi fluvioglaciali e fluviali* (Fg^{R3}). I primi derivano dall'azione di erosione, trasporto e deposito degli scaricatori glaciali che, riprendendo il materiale morenico abbandonato dal ghiacciaio, lo hanno ridepositato lungo le depressioni intramoreniche o nel *Sandur* antistante. Ne sono derivati depositi discretamente classati, gradati e stratificati in funzione della competenza idraulica degli scaricatori.

I *depositi* fluviali invece hanno avuto origine dalla rideposizione dei materiali fluvioglaciali, asportati e rimaneggiati nello stesso corso d'acqua. Le stesse modalità deposizionali e l'identica composizione petrografica dei clasti però li rende difficilmente differenziabili dai precedenti.

In entrambi i casi i clasti presentano forma arrotondata ed appartengono a diverse classi granulometriche, che vanno dalla ghiaia grossolana alla sabbia medio fine, e scarsa presenza di limi e limi argillosi.

La prevalenza degli elementi grossolani favorisce la circolazione idrica all'interno di questi materiali. L'acqua poi può portare facilmente in soluzione il carbonato di calcio e ridepositarlo dando luogo a fenomeni di cementazione parziale o totale.

4. IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

L'area di pianura posta a Ovest di Verona presenta scarse manifestazioni idrografiche naturali, nonostante le precipitazioni siano relativamente abbondanti nell'arco dell'anno.

Questo è dovuto ad una serie di fattori morfologici, pedologici e litologici che influenzano in maniera incisiva il territorio.

L'area infatti, come abbiamo visto, è costituita da alluvioni ghiaiose ad elevata permeabilità, che tendono ad inglobare nel potente serbatoio idrico sotterraneo gran parte degli apporti meteorici.

4.1. ACQUE SUPERFICIALI

Il corpo idrico più importante, nonché l'elemento determinante dell'idrografia superficiale dell'alta pianura veronese, è costituito dal *Fiume Adige*. Questo corso d'acqua ha influenzato profondamente tutti i fenomeni di evoluzione geodinamica dell'area pedemontana, a partire dalle grandi glaciazioni pleistoceniche, fino ai giorni nostri. Impostatosi lungo un lineamento tettonico che prende il nome di Faglia dell'Adige, allo sbocco in pianura si sviluppa in un primo tratto a ridosso delle colline (a Parona lambisce le propaggini dei rilievi costituiti dalle formazioni eoceniche). Si estende quindi verso la pianura propriamente detta dove, svincolato da imposizioni naturali, ha potuto sviluppare più liberamente i fenomeni tipici della morfologia fluviale, con varie divagazioni, cambi d'alveo, sviluppo di nuovi meandri, ecc. Il regime di questo corso d'acqua è quello tipico alpino, con piene attorno al mese di giugno, e periodi di magra invernali. Le piene con rischio di esondazione avvengono generalmente durante il periodo di disgelo delle nevi alpine, ed in concomitanza di eventi piovosi intensi e di lunga durata.

Oltre alla rete idrografica naturale è presente in zona un sistema di canali artificiali per l'irrigazione dei terreni dell'intero comprensorio di pianura, gestita principalmente dal Consorzio di Bonifica Alto Veronese.

L'irrigazione effettuata per mezzo di questo sistema idrografico artificiale, nel periodo che va da Aprile a Settembre, rappresenta un importante fattore di alimentazione del sistema idrico sia superficiale che sotterraneo. Se si escludono le eventuali perdite attraverso gli alvei (peraltro infrequenti poiché sottoposti a manutenzione continua), non si evidenziano altri rapporti con questa rete idrografica e il sistema idrogeologico locale.

4.2. ACQUE SOTTERRANEE

Dal punto di vista idrogeologico, l'area in esame è posta all'interno dell'*Alta Pianura*. Si trova infatti a Sud del *Tavolato Lessineo*, e a nord del *limite superiore delle Risorgive*.

L'*Alta Pianura*, che si sviluppa tra 150 e 40 metri s.l.m., è caratterizzata da depositi prevalentemente ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, ed è sede di un importante falda freatica (libera). E' costituita da un acquifero praticamente unitario, che può inglobare livelli impermeabili, ma discontinui, come del resto è emerso dai dati dei numerosi sondaggi disponibili. Costituisce poi la principale zona di alimentazione delle falde idriche in pressione, che caratterizzano la fascia settentrionale della *Media Pianura*;

La *Media Pianura*, posta a Sud, che si sviluppa tra 40 e 20 metri s.l.m., corrisponde alla parte medio-inferiore delle conoidi fluvio-glaciali, ed è costituita da alternanze di sedimenti a granulometria grossolana (ghiaie e sabbie) e livelli di materiali fini o finissimi (limi e argille). In questa zona i depositi alluvionali di tipo continentale raggiungono spessori massimi di 350 ÷ 400 metri. Le intercalazioni a granulometria grossolana sono sede di falde in pressione, suddivise tra loro dagli strati argillosi, ed alimentate dalla falda freatica dell'*Alta Pianura*. La *struttura idrogeologica* è caratterizzata da un *sistema multifalde*, costituito dall'alternanza di acquiferi indipendenti, separati da livelli argillosi (*acquitard*) o comunque a bassa permeabilità (*acquiclude*), di spessore variabile. Al confine meridionale dell'*Alta Pianura* infatti, la rastremazione progressiva e rapida delle singole conoidi ghiaiose entro materiali più fini provoca una brusca evoluzione dall'unica grande falda

esistente a monte ad un modesto sistema multifalde in pressione, e determina l'emergenza pressoché completa della prima falda attraverso i fontanili.

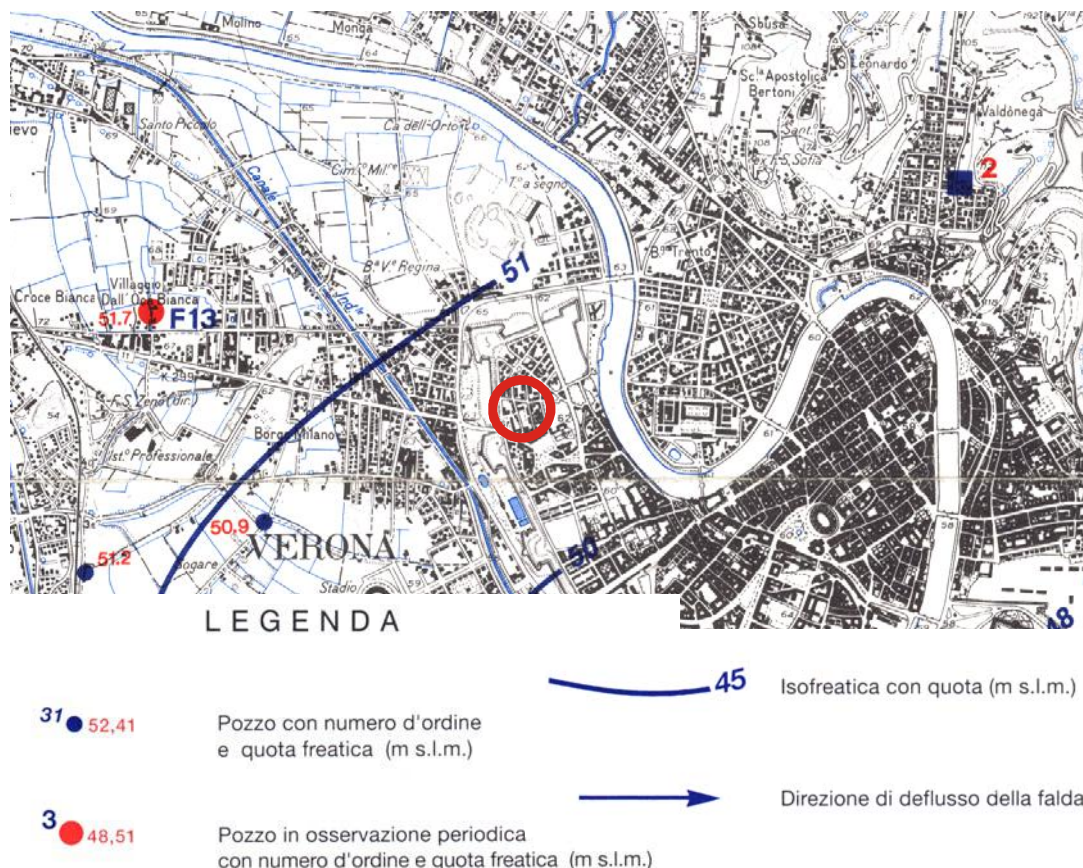


FIGURA 4.2.1: Stralcio della “Carta Idrogeologica dell’Alta Pianura Veronese– FUORI SCALA

Il *Drenaggio* della falda principale avviene prevalentemente attraverso i numerosi punti di emergenza disposti all’interno della *Fascia delle Risorgive*. Anche i principali corsi d’acqua svolgono un’azione drenante delle acque sotterranee, ma tale rapporto avviene in corrispondenza dei periodi di magra, e si concentra principalmente lungo alcuni tratti delle aste fluviali. I numerosi pozzi utilizzati a scopo irriguo, idropotabile e industriale infine determinano un utilizzo della risorsa idrica sotterranea non trascurabile.

L’indagine idrogeologica a scala locale ha tenuto conto della bibliografia disponibile, dei dati relativi alle colonne stratigrafiche e dei livelli idrici dei pozzi più prossimi all’area di progetto. Questi hanno permesso di ricavare informazioni utili a definire le caratteristiche geometriche della struttura idrogeologica locale.

Dai dati disponibili è stato possibile stabilire che il livello della falda, nel periodo di piena e in corrispondenza dell’area di indagine, si trova ad una profondità superiore a 10 m dal piano campagna (vedi figura 4.2.1). L’escursione annua varia tra 2,0 e 3,0 metri circa, a seconda della zona e dei terreni, mentre la fase di piena si verifica attorno al mese di settembre e quella di magra nel tardo inverno.

Il coefficiente di permeabilità che contraddistingue le alluvioni dell’Alta Pianura, di cui fa parte anche l’area in esame, si attesta su valori compresi tra 1×10^{-4} e 1×10^{-2} m/s. Questi terreni sono quindi caratterizzati da un *Drenaggio Buono* e *Grado di Permeabilità Alto*, tipica dei terreni ghiaioso sabbiosi (vedi Tabelle seguenti).

Il coefficiente di permeabilità che contraddistingue il primo sottosuolo dell'area in esame invece, vista la presenza di terreni a matrice più fine, si attesta su valori compresi tra 1×10^{-6} e 1×10^{-4} m/s. Questi terreni sono quindi caratterizzati da un *Drenaggio da Buono a Povero* e *Grado di Permeabilità Medio Basso*, tipica dei terreni sabbioso-limosi (vedi Tabelle seguenti).

TABELLA 4.2.1: Coefficiente di permeabilità k per vari terreni.

K (m/s)	1	10 ⁻²	10 ⁻⁵	10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁰
Drenaggio	Buono		Povero	Praticamente Impermeabile	
Terreno	Ghiaia pulita	Sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita		Sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati	Terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici
			Terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo		

TABELLA 4.2.2: Classificazione dei Terreni, in base ai valori di Permeabilità.

Grado di Permeabilità	Permeabilità (m/s)
Alto	Superiore a 10^{-3}
Medio	$10^{-3} \div 10^{-5}$
Basso	$10^{-5} \div 10^{-7}$
Molto Basso	$10^{-7} \div 10^{-9}$
Impermeabile	Inferiore a 10^{-9}

4.2.1. INTERAZIONI OPERA/SOTTOSUOLO

Il progetto prevede la realizzazione di un edificio residenziale con un livello interrato e tre livelli fuori terra.

La realizzazione delle opere, considerato il contesto ambientale entro cui sarà inserita, può interagire con il sistema idrogeologico locale, nei livelli interrati. La fascia di interazione interessa solo la *Zona di Aerazione*, costituita dai terreni posti al di sopra della superficie freatica.

Le acque di infiltrazione nel primo sottosuolo provenienti dagli eventi meteorici potranno interagire con i muri perimetrali e il pavimento, in corrispondenza delle porzioni interrate degli edifici.

Le dinamiche caratteristiche dei deflussi sotterranei vengono riportate nel *Modello Idrogeologico del Primo Sottosuolo* della tabella seguente, che evidenzia i principali moti che caratterizzano le acque che circolano all'interno di questa porzione di sottosuolo.

TABELLA 4.2.1.1: Modello Idrogeologico del Primo Sottosuolo.

Zona	Profondità (m dal p.c.)	Presenza d'Acqua	Sr (%)	Direzione Prevalente	Verso	Modalità
Zona di Aerazione (INSATURO)	0,00 ÷ 10,00	I - P - Cs	0 ÷ 75	Verticale	Discendente	Percolazione verso la Falda
					Ascendente	Ascensione Capillare

TABELLA 4.2.1.1: *Modello Idrogeologico del Primo Sottosuolo.*

Zona	Profondità (m dal p.c.)	Presenza d'Acqua	Sr (%)	Direzione Prevalente	Verso	Modalità
Fascia di Oscillazione	10,00 ÷ 12,50	I - P - Cs - Cc	50 ÷ 100	Verticale	Alternato	Oscillazioni del Livello Piezometrico
Zona di Saturazione	> 12,50	I - P - Cc - G	100	Orizzontale	//	Deflusso della Falda
LEGENDA I = Acqua Igroscopica P = Acqua Pellicolare Cs = Acqua Capillare Sospesa Cc = Acqua Capillare Continua G = Acqua Gravifica Sr = Coefficiente di Saturazione						

La struttura idrogeologica locale, in relazione agli interventi edificatori che saranno realizzati nell'area in esame, comporta particolare attenzione in relazione ai seguenti aspetti:

- *Idraulico*, per quanto riguarda lo smaltimento delle acque meteoriche che dovranno essere gestite attraverso la realizzazione di un sistema appositamente dimensionato, data la permeabilità ridotta che caratterizza i sedimenti del primo sottosuolo dell'area in esame.

Gli elementi appena elencati dovranno essere analizzati con particolare attenzione, per evitare possibili situazioni di criticità successive all'ultimazione dei lavori.

Per quanto riguarda invece gli aspetti ambientali, non si prevedono interazioni di rilievo sulla qualità delle acque sotterranee. Nella fase di cantiere si potrà infatti procedere con i lavori eventualmente asportando eventuali venute d'acqua dal fondo degli scavi con l'ausilio di pompe, mentre dopo l'ultimazione dei lavori le opere non interagiranno con questa matrice ambientale.

4.2.2. LOCALIZZAZIONE DEI POZZI AD USO IDROPOTABILE

In prossimità dell'area in esame, sono stati individuati i punti di prelievo d'acqua per uso idropotabile appartenenti alla rete acquedottistica del Comune di Verona. Vengono qui di seguito riportati, in figura 4.2.2.1.

Si tratta di opere spinte ad una profondità massima di 120 m dal piano campagna, che estraggono acqua con portate variabili tra 9 e 20 l/s. Sono state infatti progettate per fornire una dotazione idrica giornaliera di 250 litri/abitante.

L'area di progetto risulta esterna alle fasce di tutela assoluta (200 m) attorno alle opere di presa a scopo idropotabile. Gli edifici saranno serviti dall'acquedotto, mentre gli scarichi civili saranno collegati alla rete fognaria.

Non si prevede pertanto alcun tipo di interferenza tra le opere di progetto e la qualità delle acque prelevate a scopo idropotabile in corrispondenza di questi pozzi.

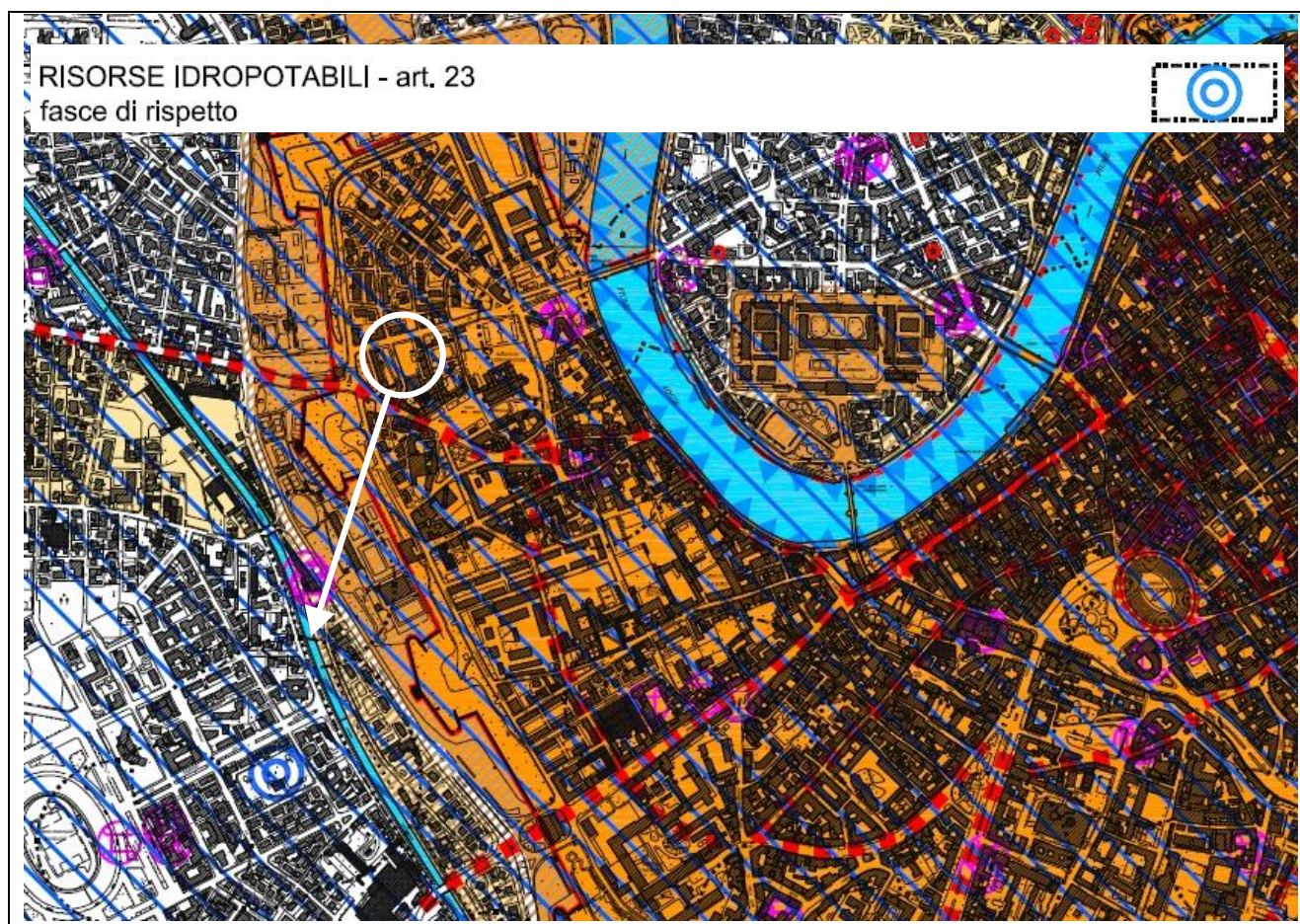


FIGURA 4.2.2.1: Ubicazione dei pozzi ad uso idropotabile su stralcio della Carta dei Vincoli allegata al P.A.T. del Comune di Verona.

5. INDAGINI IN SITO

Considerato il tipo d'intervento, e tenuto conto delle specifiche peculiarità della struttura di progetto, la caratterizzazione geotecnica e sismica del primo sottosuolo è stata determinata attraverso il reperimento della documentazione bibliografica disponibile e l'esecuzione di indagini preliminari. I dati acquisiti sono quindi stati integrati con i risultati di prove effettuate su aree limitrofe.

La tavola delle fragilità allegata al P.A.T. di Verona (vedi figura 5.1) individua l'area di progetto nella categoria di **Terreno Idoneo**.

Considerato il carattere preliminare di questo elaborato, e tenuto conto delle specifiche peculiarità delle opere previste dal progetto, la caratterizzazione del comportamento meccanico e sismico del sottosuolo è stata determinata attraverso l'esecuzione delle seguenti indagini:

- Trincee Geognostiche;
- Indagini Sismiche.

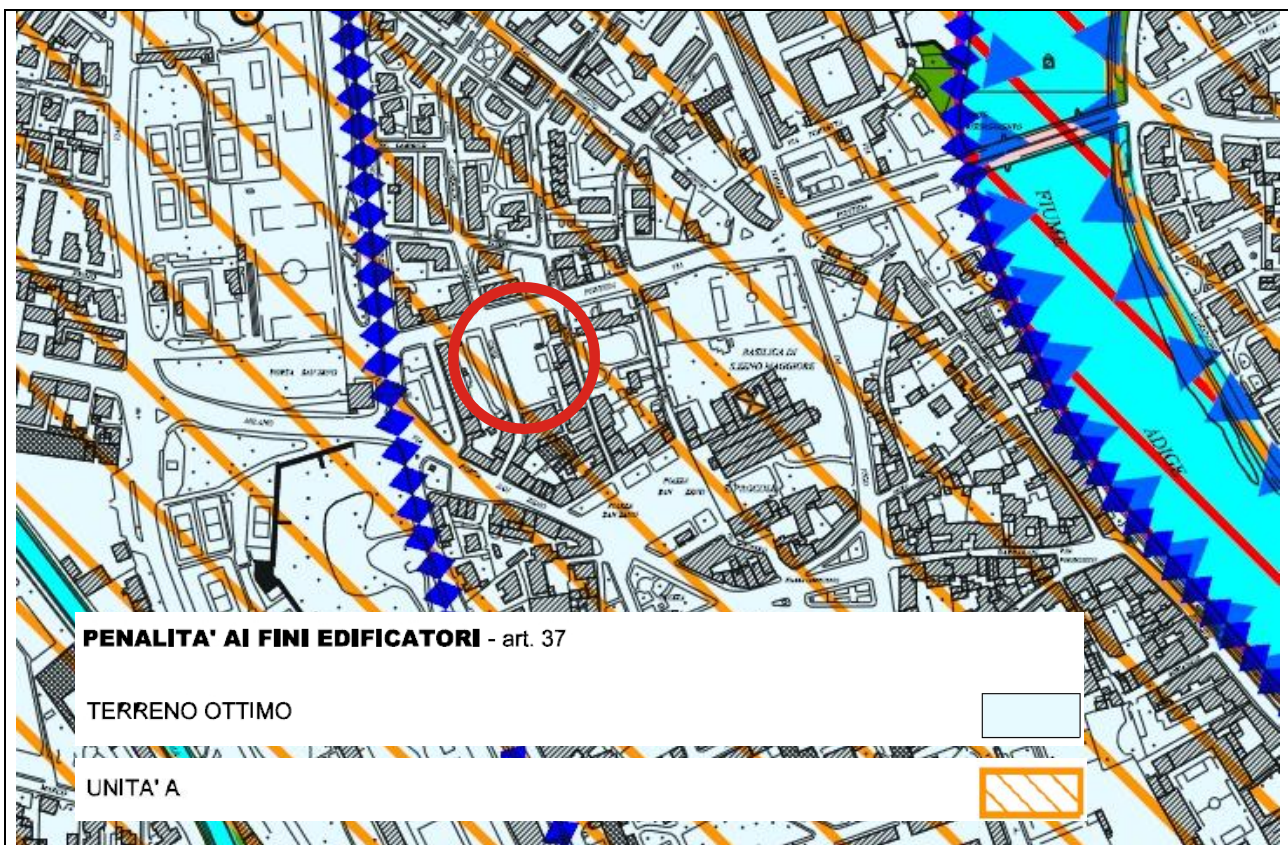


FIGURA 5.1. Stralcio della Tavola 3 della fragilità allegata al P.A.T. del Comune di Verona

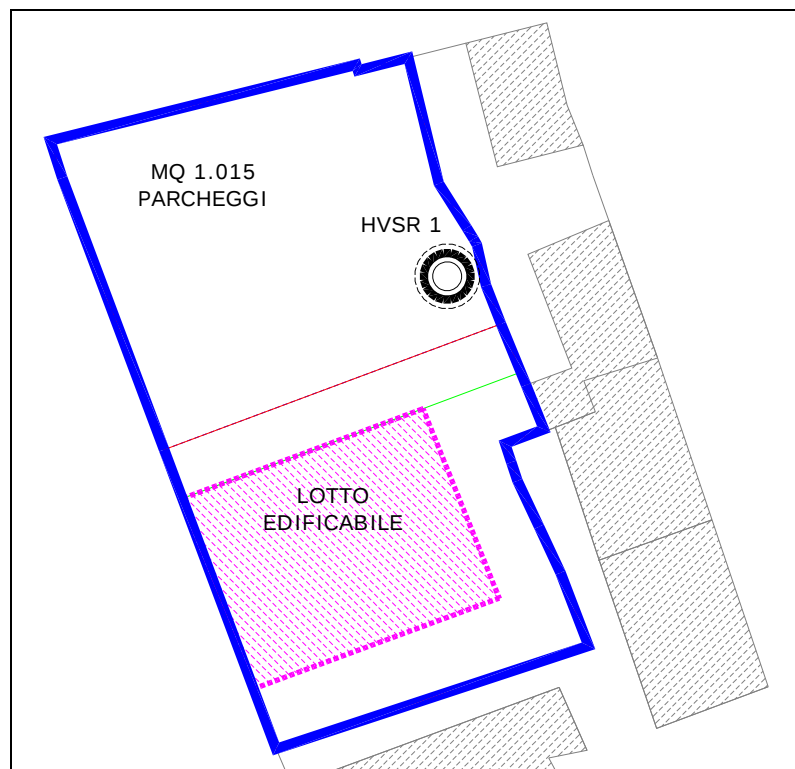


FIGURA 5.2. Ubicazione delle Indagini – HVSr 1 Misura di Sismica Passiva con Tromografo Digitale.

In fase di progetto si potranno approfondire le indagini con verifiche che verranno stabilite dal progettista in funzione del grado di accuratezza richiesto per assicurare un'adeguata affidabilità ai calcoli strutturali.

Nei punti seguenti si descrivono le indagini preliminari effettuate e i risultati ottenuti.

5.1. STRATIGRAFIA DEL PRIMO SOTTOSUOLO

Di seguito si riporta la stratigrafia del primo sottosuolo rilevata da indagini effettuate sul lotto adiacente a quello di progetto.

Tabella 5.1.1: *Stratigrafia del primo sottosuolo relativa a scavi realizzati su un lotto adiacente a quello di progetto*

Profondità	Litologia
0,00 ÷ 1,00	Terreno vegetale
1,00÷ 2,00	Sabbia limosa
Non è stata rilevata acqua di falda	

5.2. INDAGINE SISMICA

Nell'area di progetto è stata effettuata una indagine sismica per mezzo di un *Tromografo Digitale*, che ha permesso di determinare in modo indiretto la *stratigrafia del sottosuolo*, attraverso la stima delle velocità di propagazione delle *Onde di Taglio* (Vs) in conformità a quanto previsto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* del 14 gennaio 2008 e di individuare le *frequenze caratteristiche di risonanza* del sito che rappresentano un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento strutturale degli edifici in termini di risposta sismica locale.

L'analisi dettagliata delle caratteristiche della strumentazione utilizzata, metodologie e risultati dell'indagine eseguita sono descritte nell'“*Allegato II*”.

6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla “*Pericolosità Sismica di Base* (PSB)” che caratterizza l'area di intervento.

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La PSB è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero, considerando un sottosuolo di riferimento caratterizzato da superficie topografica orizzontale (*Categoria A*), con ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R (ricavato in base alle caratteristiche specifiche di ogni singolo tipo di costruzione moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U).

Ai fini della normativa vigente le forme spettrali 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.

6.1. STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche, gli *Stati Limite di Esercizio* e gli *Stati Limite Ultimi*, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Come *Stati Limite di Esercizio* si considerano:

- *Stato Limite di Operatività* (SLO): a seguito del terremoto la costruzione, nel suo complesso (vanno inclusi gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione), non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- *Stato Limite di Danno* (SLD): è l'entità di danno indotto dal terremoto che la costruzione nel suo complesso ha subito, al di sopra della quale si possono mettere a rischio gli utenti o compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali. Al di sotto dello SLD l'opera si mantiene immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Tra gli *Stati Limite Ultimi* vanno invece valutati:

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

Le probabilità di superamento degli Stati Limite nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tabella seguente.

TABELLA 6.1.1: Probabilità di Superamento P_{VR} , in funzione degli Stati Limite.

Stato Limite		P_{VR}
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{VR} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere. Nel caso in esame le verifiche sono state effettuate relativamente allo Stato Limite Ultimo.

6.2. CLASSIFICAZIONE SISMICA

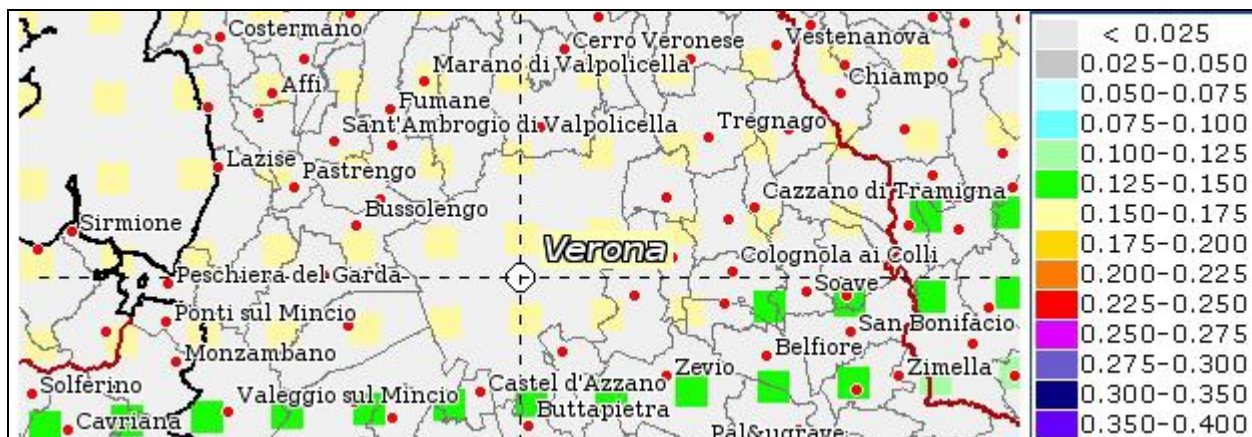


FIGURA 6.2.1: Stralcio della mappa di Pericolosità Sismica (a_g compreso tra 0.150 e 0.175).

Secondo la nuova normativa sismica italiana il Comune di Verona appartiene alla **Zona 3**, alla quale è associata un'accelerazione sismica di 0,15g, come indicato nella Tabella seguente.

TABELLA 6.2.1: Valori dell'Accelerazione Sismica in relazione alle diverse Zone Sismiche.

Zona	Valore di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Sempre secondo la stessa normativa e più precisamente secondo le norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici è possibile stabilire la categoria del suolo di fondazione in base alle informazioni ricavate sulla stratigrafia locale.

TABELLA 6.2.2: Categorie di suolo di fondazione. (* V_{s30} = velocità media di propagazione delle onde di taglio, entro 30 m di profondità)

Categoria	Profilo Stratigrafico del Suolo di Fondazione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S 1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che

TABELLA 6.2.2: *Categorie di suolo di fondazione. (* V_{S30} = velocità media di propagazione delle onde di taglio, entro 30 m di profondità)*

Categoria	Profilo Stratigrafico del Suolo di Fondazione
	includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S 2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

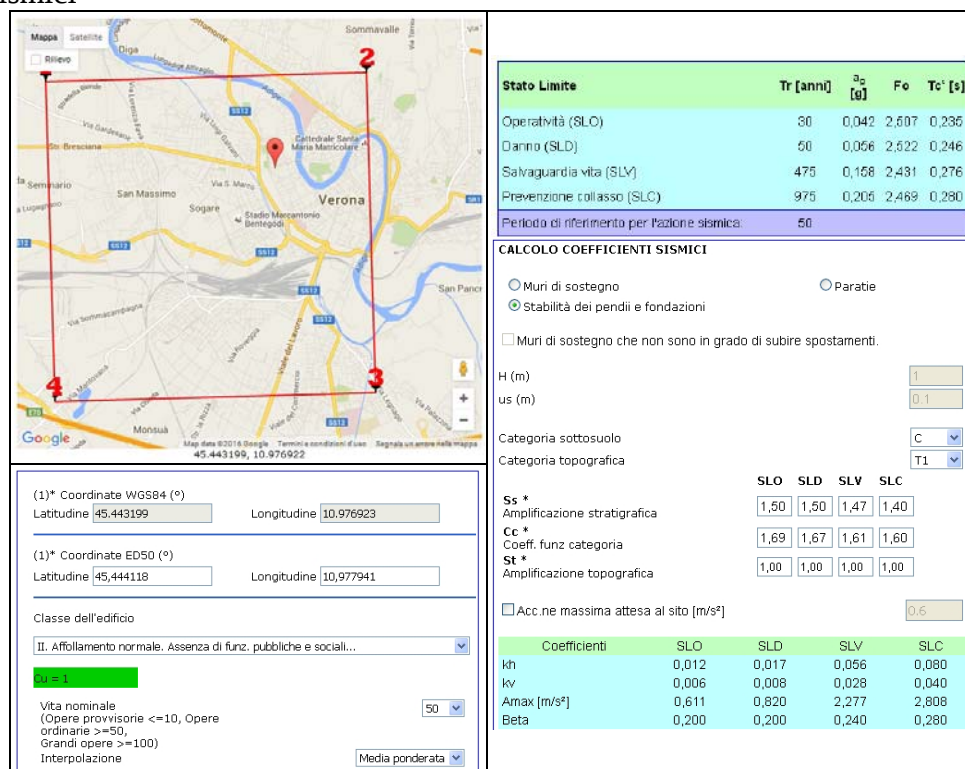
I risultati ottenuti attraverso le indagini sismiche hanno permesso di determinare il valore di V_{S30} (velocità equivalente delle onde sismiche di taglio dei primi 30 m di sottosuolo, a partire dal piano di posa delle fondazioni) che si riporta di seguito.

TABELLA 6.2.3: *Valori di V_{S30} = velocità media di propagazione delle onde di taglio, entro 30 m di profondità, ricavati dalle Indagini Sismiche.*

HVSR 01
$V_{S30} = 339 \pm 68$ m/s
271 m/s < V_{S30} < 407 m/s

In base ai risultati ottenuti attraverso l'indagine sismica, il suolo di fondazione risulta appartenere alla **Categoria C**.

Parametri Sismici



Stato Limite

	Tr [anni]	α_g [g]	F_0	T_c [s]
Operatività (SLO)	50	0,042	2,607	0,235
Danno (SLD)	50	0,056	2,522	0,246
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,158	2,431	0,276
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,205	2,469	0,280
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50			

CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

☐ Muri di sostegno ☐ Paratie
☒ Stabilità dei pendii e fondazioni
☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)
us (m)

Categoria sottosuolo
Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss * Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,47	1,40
Cc * Coeff. funz. categoria	1,69	1,67	1,61	1,60
St * Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,012	0,017	0,056	0,080
kv	0,006	0,008	0,028	0,040
Amax [m/s²]	0,611	0,820	2,277	2,808
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

FIGURA 6.3.1: *Parametrizzazione sismica dell'area d'interesse progettuale.*

I parametri sismici utilizzati per le verifiche dei capitoli seguenti sono stati ricavati utilizzando i dati dalla Tabella 1, Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008: “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, una volta determinate le coordinate geografiche dell'area di progetto.

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

7.1. COMPORTAMENTO DEI TERRENI NELLE AREE LIMITROFE

Nella fase preliminare di indagine è stato considerato il comportamento meccanico dei terreni alle sollecitazioni indotte dalle opere civili, attraverso l'analisi delle opere esistenti, che insistono su terreni analoghi a quelli dell'area di progetto.

Il rilevamento è stato esteso per un raggio di 500 metri, all'interno del quale si trovano edifici realizzati in diversi periodi, a partire dal XIX secolo che trasmettono i carichi su conformazioni di sottosuolo analoghe a quella in esame.

L'analisi visiva di tali abitazioni, alcune delle quali si elevano fino a 3 piani fuori terra, non ha rilevato segni evidenti di lesioni legate a fenomeni di cedimento differenziale dei terreni di fondazione. Tutte le strutture esaminate risultano in buono stato.

L'assenza di lesioni sui muri portanti, o di crepe sui marciapiedi, e sui lastricati, in prossimità di zone soggette a carichi concentrati indica che il sottosuolo dell'area presenta una buona capacità portante, o quantomeno che le strutture di fondazione sono state adeguatamente dimensionate.

7.2. CARATTERISTICHE DELL'OPERA DI PROGETTO

Il *Piano Urbanistico Attuativo* che interessa una superficie complessiva di circa 2.030 m², prevede i seguenti interventi:

- realizzazione di 1 lotto edificabile per una superficie complessiva lorda di 1.562 m²;
- realizzazione delle strade di accesso, dei marciapiedi, dei parcheggi e delle aree verdi per una superficie pari a circa 470 m².

7.3. MODELLO GEOTECNICO DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Tenendo conto dei dati riportati in bibliografia relativi a questo tipo di materiali, è stato possibile stabilire un *Modello Geotecnico dei Terreni di Fondazione* su cui effettuare le verifiche di stabilità. Nella figura seguente si riporta la stratigrafia del primo sottosuolo, determinata attraverso i risultati delle indagini effettuate in sito.

In Tabella 7.3.1 si riportano gli intervalli di variabilità dei singoli parametri geotecnici, che sono stati considerati per stabilire i *Modelli Geotecnici dei Terreni di Fondazione* riportati nella Tabella 7.3.2.

TABELLA 7.3.1: Intervalli di Variabilità dei parametri geotecnici caratteristici (Note: γ_d = Peso di Volume Secco, γ_w = Peso di Volume Saturo, ϕ = Angolo di Attrito, c = Coesione, E = Modulo di Deformazione).

Unità Geotecnica	Parametro	Valore Minimo	Valore Massimo
A – Terreno Vegetale	γ_d	1.500 kg/m ³	1.700 kg/m ³
	γ_w	1.600 kg/m ³	1.800 kg/m ³
	ϕ	15°	20°
	c	0,00 kg/cm ²	0,10 kg/cm ²
	E	20 kg/cm ²	80 kg/cm ²
B – Sabbia fine limosa	γ_d	1.600 kg/m ³	1.800 kg/m ³
	γ_w	1.800 kg/m ³	2.000 kg/m ³

TABELLA 7.3.1: Intervalli di Variabilità dei parametri geotecnici caratteristici (Note: γ_d = Peso di Volume Secco, γ_w = Peso di Volume Saturo, ϕ = Angolo di Attrito, c = Coesione, E = Modulo di Deformazione).

	ϕ	28°	32°
	c	0,00 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²
	E	150 kg/cm ²	250 kg/cm ²

TABELLA 7.3.2: Modello Geotecnico dei Terreni di Fondazione

Descrizione	Profondità (m)	γ_d (kg/m ³)	γ_w (kg/m ³)	ϕ (°)	C (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
A – Terreno Vegetale	0,00÷1,00	1.500	1.700	15	0,01	50
B – Sabbia fine limosa	1,00÷9,00	1.600	1.700	28	0,00	100

La falda, il cui livello di piena può raggiungere una profondità di 10,0 m dal p.c., non interessa il volume di terreno coinvolto dalla trasmissione dei carichi degli edifici, in caso gli stessi prevedessero la realizzazione di un piano interrato.

8. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ AMBIENTALE

L'intervento prospettato dal piano urbanistico attuativo può interferire prevalentemente sulle seguenti matrici ambientali:

- Acque Superficiali;
- Acque Sotterranee;
- Suolo e Sottosuolo.

Nei punti seguenti è stata effettuata una verifica per individuare i possibili impatti ed il grado di compatibilità ambientale della soluzione progettuale proposta.

8.1. COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO CON IL SISTEMA IDROGRAFICO

Le caratteristiche tecniche e geometriche, nonché le modalità costruttive delle opere in progetto consentono di stabilire che le stesse saranno inserite in maniera coerente nel contesto morfologico esistente.

L'area in esame risulta inoltre esterna alle zone caratterizzate da rischio idraulico, e non sono stati individuati nel corso delle indagini effettuate elementi che possano favorire situazioni di pericolosità idraulica.

Su questo aspetto il progetto esecutivo dovrà individuare e dimensionare un sistema di smaltimento delle acque meteoriche atto a garantire l'*Invarianza Idraulica*, come previsto dalla vigente normativa.

L'entità delle opere in progetto e la distanza tra l'area di intervento e i corsi d'acqua sono tali da non comportare interazioni con il sistema idrografico, sia al livello locale, che a scala più vasta.

L'intervento progettuale in esame risulta inoltre compatibile con i vincoli previsti dalla normativa vigente.

8.2. COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO CON IL SISTEMA IDROGEOLOGICO

La realizzazione di un PUA prevede l'impermeabilizzazione delle aree occupate dai tetti mentre tutte le altre superfici (parcheggi e strade) verranno realizzate in materiali drenanti che garantiranno

l'assorbimento delle acque meteoriche da parte del terreno. IN considerazione del futuro utilizzo dell'area, la qualità delle acque sotterranee risulta adeguatamente preservata. La destinazione d'uso dell'intervento non comporta inoltre rischi di compromissione, considerata l'elevata vulnerabilità che caratterizza l'acquifero. Non è infatti previsto l'utilizzo, il trattamento o la produzione di sostanze pericolose o altri prodotti inquinanti.

Lo smaltimento delle acque meteo avverrà mediante idonea unità di dispersione, appositamente dimensionata per garantire il principio dell'invarianza idraulica e nel rispetto della vigente normativa in materia.

Se realizzate correttamente le opere in progetto non comportano interazioni con il sistema idrogeologico locale, e risultano pertanto compatibili con quanto previsto dalla vigente normativa in campo ambientale.

8.3. COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO CON L'EQUILIBRIO MORFODINAMICO LOCALE

Il progetto comporta, a livello generale, interventi di scavo, con asporto di terreno, per la realizzazione del piano interrato e delle fondazioni dell'unità residenziale, con la realizzazione di piani orizzontali su cui inserire le opere.

L'asporto di terreni e rocce da scavo, consentito dalla vigente normativa, è dalla stessa regolamentato (*Decreto 98/13 art. 41 bis e indirizzi operativi di ARPAV per l'accertamento dei valori delle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B della tabella 1 dell'Allegato 5 alla parte IV del D. Lgs. n°152/06*).

Il rispetto delle procedure previste, che prevedono l'inquadramento del sito, la classificazione qualitativa dei materiali, per l'individuazione delle possibili destinazioni d'uso, e quindi l'individuazione delle aree di destinazione, consentirà di contenere al minimo gli impatti sul suolo e sottosuolo, sia in corrispondenza delle aree di intervento, che nei confronti dei siti di destinazione dei terreni asportati.

La soluzione più idonea a contenere l'impatto (il suolo e sottosuolo costituiscono una risorsa non rinnovabile) è quella di un riutilizzo per la realizzazione di rinterri, riempimenti, rimodellazioni, rilevati o altra destinazione in funzione anche delle caratteristiche chimiche dei terreni.

Considerato che il sito in esame non è stato interessato in passato da attività potenzialmente pericolose per la qualità del suolo e del sottosuolo, la possibilità di un riutilizzo dei terreni di scavo a tali attività risulta altamente probabile. Le determinazioni analitiche previste dalla vigente normativa daranno comunque modo di stabilire la corretta gestione dei terreni movimentati per la realizzazione delle opere.

La realizzazione della rete di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche, opportunamente dimensionata, consentirà di impedire processi di erosione (lineare ed areale). Il corretto dimensionamento delle opere di fondazione e il rispetto delle pendenze di sicurezza nel corso delle attività di scavo impediranno inoltre il verificarsi di fenomeni di smottamento e di contenere i cedimenti del substrato di fondazione entro i valori di sicurezza.

In base alle verifiche effettuate, l'intervento in esame risulta compatibile con l'assetto geologico del territorio, e non comporta effetti di rilievo sulla matrice suolo e sottosuolo.

9. CONCLUSIONI

Le indagini svolte per la caratterizzazione ambientale dell'area in esame e la valutazione delle trasformazioni urbanistiche previste dal Piano Urbanistico Attuativo di via Vicolo Cere all'interno del territorio comunale di Verona, hanno dato modo di verificare che **gli interventi prospettati risultano compatibili con l'equilibrio geologico, geomorfologico, idrologico e idrogeologico dell'area esaminata.**

Nello sviluppo della progettazione delle singole opere connesse a tale Piano Urbanistico Attuativo sarà necessario approfondire ogni tema riguardante la loro realizzazione, suffragata dalla realizzazione di nuove indagini e verifiche geotecniche necessarie alla produzione di tutti gli elaborati richiesti e necessari secondo le vigenti normative.

La validità delle ipotesi di progetto dovrà comunque essere verificata in cantiere, durante la realizzazione delle opere. Sarà così possibile aggiornare i dati raccolti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori, per adeguare le fondazioni delle opere alle eventuali non conformità riscontrate.

Dott. Cesare Bagolini



10. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

GEOLOGIA

- AZZAROLI A., CITA M. B. (1982): "Geologia Stratigrafica" CISALPINO-GOLIARDICA Editore, Milano.
- BELL F. G. (2001): "Geologia Ambientale – Teoria e Pratica". ZANICHELLI Edizioni, Bologna.
- BINI A., SCESI L. (1992): "Geologia Applicata: minerali, rocce e loro proprietà tecniche" CITTÀ STUDI S.c.r.l., Milano.
- BLATT H. (1997): "Our Geologic Environment" Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- CARRARO F. ET AL. (1969): "Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia: Foglio 48 Peschiera del Garda" Napoli.
- CASADIO M., ELMI C. (1995): "Il Manuale del Geologo" PITAGORA Editrice, Bologna.
- CURZI P., CASTELLARIN A., CIABATTI M., BADALINI G. (1992): "Caratteri morfostrutturali, sedimentologici e genetici del Lago di Garda". Torricelliana, 43-1992, Fratelli Lega editori, Faenza.
- DESIO A. (1985): "Geologia applicata all'Ingegneria" Terza Edizione, Editore Ulrico HOEPLI, Milano.
- FILIPPI E. (1979): "Contributo allo studio dell'idrografia tra il Mincio e l'Adige". In Boll. Museo Civile di Storia Naturale, Verona.
- HALLAM A. (1981): "Interpretazione delle Facies e Stratigrafia" PITAGORA Editrice, Bologna.
- MARTINIS B. (1988): "Geologia Ambientale" Collezione Scienze della terra. UTET, Torino.
- REGIONE VENETO (1990): "Carta Geologica del Veneto, scala 1 : 250.000. Una storia di cinquecento milioni di anni". Segreteria Regionale per il Territorio. Venezia.
- SCAGLIONI A. (1991): "Elementi di Geologia Agraria" GEO-GRAPH Editore, Segrate (MI).
- TREVISAN L. & TONGIORGI E. (1958): "La Terra". UTET Editore, Torino.

GEOMORFOLOGIA

- BARALDI F., ZAVATTI A. (1996): "Studi sulla Vulnerabilità degli Acquiferi – Vol. 12: Area Morenica Mantovana" PITAGORA Editrice, Bologna.
- BELL F. G. (2001): "Geomorfologia Ambientale – Teoria e Pratica". ZANICHELLI Editore, Bologna.
- CASTIGLIONI G. B. (1979): "Geomorfologia" UTET Editore, Torino.
- CURZI P., CASTELLARIN A., CIABATTI M., BADALINI G. (1992): "Caratteri morfostrutturali, sedimentologici e genetici del Lago di Garda". Torricelliana, 43-1992, Fratelli Lega editori, Faenza.
- DRAMIS F., BISCI C. (1998): "Cartografia Geomorfologica: Manuale di Introduzione al Rilevamento ed alla Rappresentazione degli Aspetti Fisici del Territorio" PITAGORA Editrice, Bologna.
- GORFER A., TURRI E. (1994): "Là dove nasce il Garda" CIERRE Edizioni, Verona.
- LAURETI L. ET ALII (1993): "Il Mincio e il suo Territorio" CIERRE Edizioni, Verona.
- MARCHETTI M. (2000): "Geomorfologia Fluviale" PITAGORA Editrice, Bologna.
- PANIZZA M. (1992): "Geomorfologia". PITAGORA Editrice, Bologna.
- PANIZZA M. (1988): "Geomorfologia Applicata: Metodi di applicazione alla Pianificazione Territoriale e alla Valutazione di Impatto Ambientale" La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- REGIONE VENETO (1987): "Carta delle Unità Geomorfologiche, scala 1 : 250.000. Le Forme del Territorio". Segreteria Regionale per il Territorio. Venezia.
- STRAHLER A.N. (1984): "Geografia Fisica" Ed. Piccin Nuova Libreria S.p.A., Padova.

GEOTECNICA

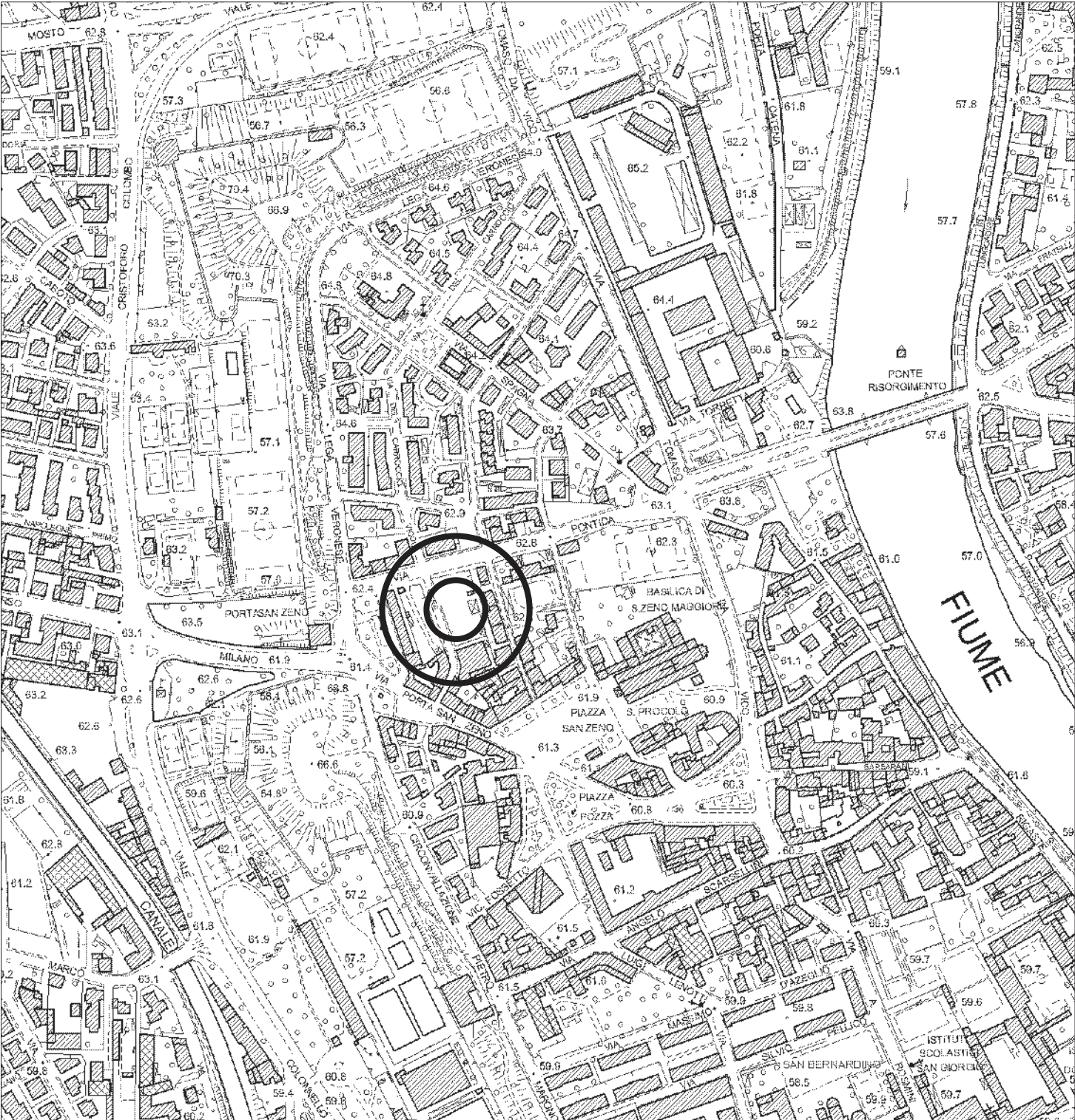
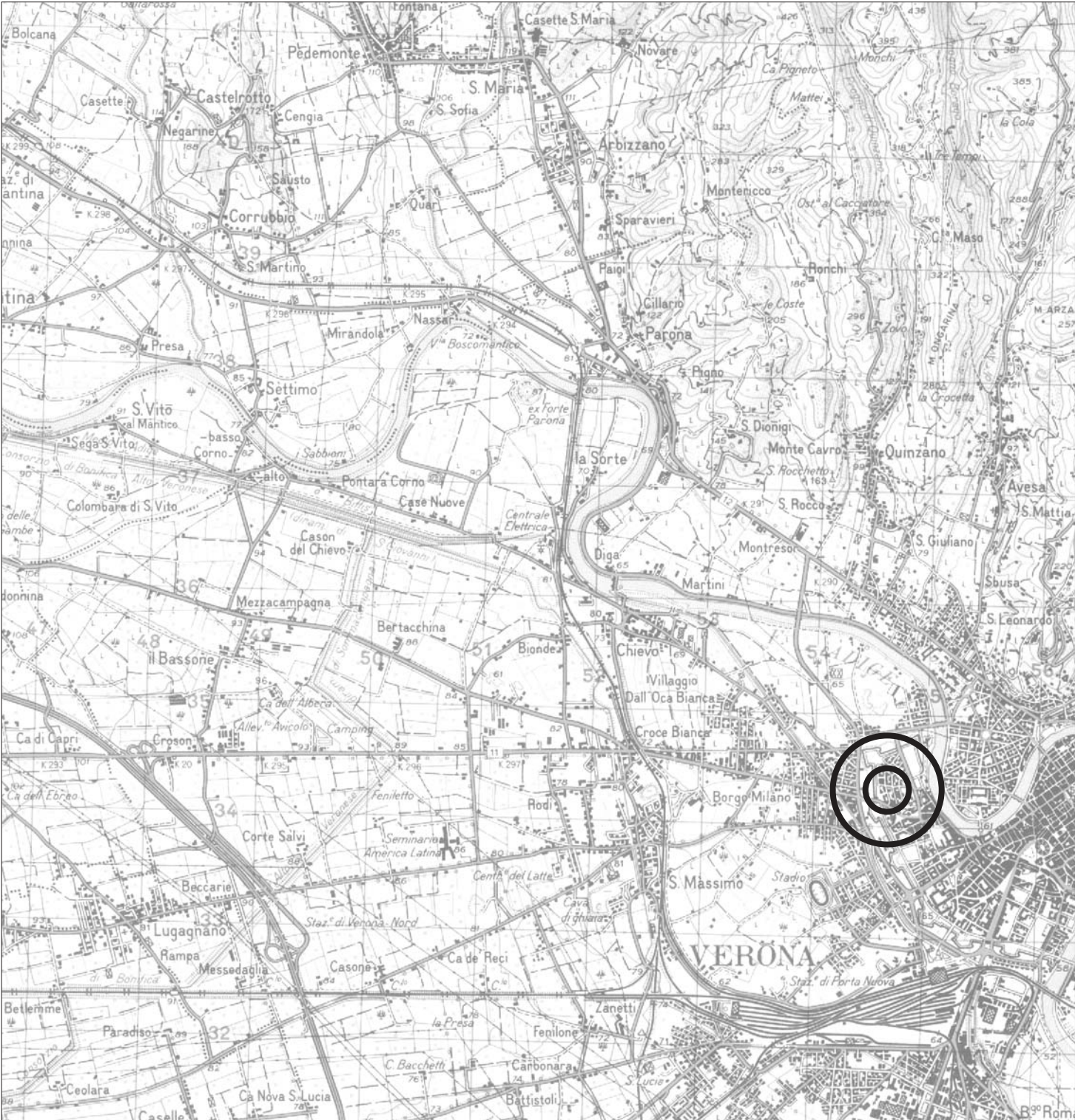
- A.G.I. (1977): "Raccomandazioni sulla Programmazione ed esecuzione delle Indagini Geotecniche" Associazione Geotecnica Italiana.
- BINI A., SCESI L. (1992): "Geologia Applicata: minerali, rocce e loro proprietà tecniche" CITTÀ STUDI S.c.r.l., Milano.

- CAPUTO V. (1995): *"Interazione Fondazione Terreno – Modelli Matematici e Metodi Numerici"* HEVELIUS Edizioni, Benevento.
- CASALINI A. (2001): *"Plinti – Platee – Travi Rovescie: Dimensionamento, Dettagli Costruttivi e Modalità Esecutive"* Collana di Geotecnica e Ingegneria Geotecnica. DARIO FLACCOVIO Editore, Palermo.
- CESTARI F. (1996): *"Prove Geotecniche in Sito"* Ed. Geo-Graph, Segrate.
- CESTELLI GUIDI C. (1987): *"Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni, Vol. I"* Editore ULRICO HOEPLI.
- CESTELLI GUIDI C. (1991): *"Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni, Vol. II"* Editore Ulrico HOEPLI.
- CHIESA G. (1998): *"Campionamento del Terreno"*. Quaderni delle Acque Sotterranee n. 6, GEO GRAPH Edizioni, Segrate.
- COLOMBO P., COLLESELLI F. (1996): *"Elementi di Geotecnica"* ZANICHELLI Editore, Bologna.
- DA DEPPO L., DATEI C. (1994): *"Le Opere Idrauliche nelle Costruzioni Stradali"*. BIOS Edizioni, Cosenza.
- DESIO A. (1985): *"Geologia applicata all'Ingegneria"* Terza Edizione, Editore Ulrico HOEPLI, Milano.
- FLORA A. (1996): *"Introduzione alle Indagini Geotecniche"* Hevelius Edizioni S.r.l. Benevento.
- GRUPPO NAZIONALE DI COORDINAMENTO PER GLI STUDI DI INGEGNERIA GEOTECNICA DEL C.N.R. (1997): *"Il Modello Geotecnico del Sottosuolo nella Progettazione delle Opere di Sostegno e degli Scavi"*. IV Convegno Nazionale dei Ricercatori Universitari – Perugia 16-17 ottobre 1997. Volume I e II. HEVELIUS Edizioni, Benevento.
- JAPPELLI R. (1999): *"Principi di Progettazione Geotecnica"*. HEVELIUS Edizioni, Benevento.
- MARSAN P., ROMEO R. (1992): *"La Relazione Geologica e Geotecnica"* LA NUOVA ITALIA SCIENTIFICA Editrice, Roma.
- MONTARSIO L. (2001): *"Cedimenti di Fondazioni su Sabbia – Un Metodo di Calcolo"* HEVELIUS Edizioni, Benevento.
- RAVIOLO P. L. (1993): *"Il Laboratorio Geotecnico – Procedure di Prova, Elaborazione, Acquisizione Dati"*. CONTROLS Editore, Cernusco sul Naviglio.
- TANZINI M. (2002): *"L'Indagine Geotecnica: Caratterizzazione Geotecnica delle Terre e delle Rocce attraverso Prove in Sito e di Laboratorio"*. Collana di Geotecnica e Ingegneria Geotecnica. DARIO FLACCOVIO Editore, Palermo.
- WRAY W. K. (1986): *"Measuring Engineering Properties of Soil"* PRENTICE HALL, Inc. New Jersey (USA).
- VIGGIANI C. (1999): *"Fondazioni"*. HEVELIUS Edizioni, Benevento.

IDROGEOLOGIA

- AA. VV. (1993): *"Geologia, Idrogeologia e Qualità dei Principali Acquiferi Veronesi"* Memorie del Museo di Storia Naturale di Verona (II^a Serie) – Sezione Scienze della Terra. N° 4.
- AMM. PROV. DI MANTOVA (1981): *"Indagine idrogeologica del territorio dell'anfiteatro morenico del Garda"*. Assessorato sanità e ambiente, progetto ambiente, Aprile.
- BERETTA G. P. (1992): *"Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee: tecniche per lo studio e la progettazione degli interventi di prevenzione, controllo, bonifica e recupero"* Pitagora Editrice Bologna.
- CELICO P. (1988): *"Prospezioni Idrogeologiche"* Liguori Editore S.r.l. Napoli.
- CHIESA G. (1994): *"Idraulica delle acque di falda"*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- DI ROSA G. (2000): *"Rischio Idrogeologico e Difesa del Territorio"* DARIO FLACCOVIO EDITORE, Palermo.
- FRANCANI V. (1997): *"Idrogeologia Generale e Applicata – Geologia Applicata 2"* Città Studi Edizioni UTET Libreria S.r.l. Torino.
- GISOTTI G., BENEDINI M. (2000): *"Il Dissesto Idrogeologico"* CAROCCI Editore S.p.A., Roma.
- HAMILL L., BELL F. G. (1992): *"Acque sotterranee: ricerca e sfruttamento"*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

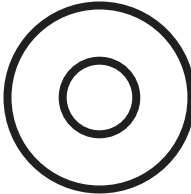
11. ALLEGATI



CARTA I.G.M.I. - Foglio 123 Verona Ovest - SCALA 1:50.000

C. T. R.: Elementi 123161 “Verona Nord-Ovest” - Scala 1 : 5.000

LEGENDA



Area di Progetto

ALLEGATO I

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

P.U.A. Scheda Norma 69 sito in vicolo Cere

Comune di Verona



<u>PROGETTO:</u>	PIANO URBANISTICO ATTUATIVO SCHEDA NORMA 69 SITO IN VICOLO CERE
<u>ELABORATO:</u>	RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E GEOTECNICA
<u>ALLEGATO:</u>	II - INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE TECNICA HVSR

SOMMARIO

1.	PREMESSA	3
2.	FONDAMENTI TEORICI	3
2.1.	SORGENTE	4
2.2.	EFFETTI DI PERCORSO	5
3.	LA TECNICA HVSR	5
4.	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	6
5.	PROCEDURE DI ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI.....	7
6.	METODO DI LAVORO.....	7
7.	INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE	11
7.1.	PROVA HVSR 1.....	11
7.1.1.	PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO	12
7.1.2.	VERIFICA DEI RISULTATI	13
7.2.	SINTESI CONCLUSIVA	14
7.3.	FREQUENZE CARATTERISTICHE	14

1. PREMESSA

L'indagine descritta nei capitoli seguenti ha lo scopo di effettuare la Caratterizzazione Sismica del sottosuolo, attraverso l'individuazione delle discontinuità sismiche locali e dell'eventuale riflettore principale, che può coincidere con il substrato roccioso o altri terreni ad elevata rigidità, ad esso assimilabili come comportamento.

La strumentazione utilizzata e la metodologia applicata permettono di stimare le velocità di propagazione delle Onde di Taglio (V_{s30}), in conformità a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le costruzioni del 14 gennaio 2008.

L'indagine in oggetto fa riferimento alla tecnica di *Nakamura* e applica la metodologia HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), basata sul rapporto spettrale H/V.

2. FONDAMENTI TEORICI

Le basi teoriche della tecnica HVSr fanno riferimento sia ai principi fondamentali della sismica tradizionale (riflessione, rifrazione e diffrazione) che alla teoria del *Tremore Sismico di Fondo*.

Le caratteristiche di un'onda registrata in un determinato luogo della superficie terrestre da uno strumento dipende da tre fattori, e più precisamente:

- *Forma dell'Onda* prodotta dalla Sorgente S;
- *Percorso* effettuato dall'onda, a partire dalla sorgente S fino al punto di rilevamento, che dipende da numerosi effetti, quali attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, intrappolamento di treni d'onda, ecc.;
- *Risposta dello Strumento*, legata alle sue caratteristiche tecniche e alla sua corretta installazione.

Trascurando la componente legata alle caratteristiche dello strumento di rilevamento, è possibile tradurre il fenomeno registrato secondo il seguente rapporto:

$$SR = S_G \times P_E \times A_Q$$

Con

- SR** = Segnale registrato al punto di rilevamento;
- S_G** = Sorgente;
- P_E** = Effetti di Percorso;
- A_Q** = Funzione di Acquisizione dello Strumento.

Tralasciando gli effetti inerenti le modalità di acquisizione e trasformazione del segnale da parte dello strumento, di seguito si descrivono gli altri elementi che influenzano la propagazione delle onde sismiche all'interno del suolo.

2.1. SORGENTE

Il *Tremore Sismico di Fondo*, noto anche come *Rumore Ambientale*, è presente su tutta la superficie terrestre, ed è generato da tre sorgenti principali:

- *Onde Oceaniche* e attività dinamica terrestre. A titolo esemplificativo, il tremore prodotto dalle tempeste oceaniche si estende fino ad oltre 3.000 km di distanza;
- *Perturbazioni Atmosferiche*, il cui disturbo si può propagare sotto forma di microtremore sulla superficie terrestre fino a distanze di 200 ÷ 300 km;
- *Rumore Antropico* (industrie, autostrade, ferrovie, ecc.), che può estendere i suoi effetti fino ad un massimo di 10 ÷ 30 km. L'ampiezza di questa componente risulta trascurabile, rispetto alle altre due nella produzione del *Tremore Sismico di Fondo*. Può al massimo provocare interferenze nel corso dell'acquisizione del segnale in caso di vicinanza eccessiva della fonte dallo strumento di rilevazione.

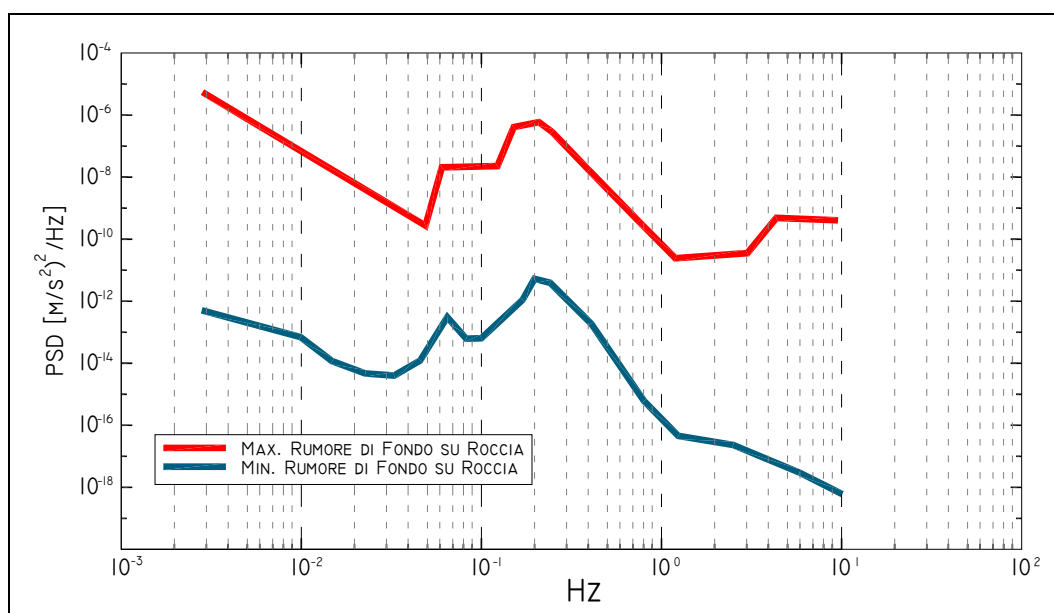


FIGURA 2.1.1: Spettro del Rumore Sismico Minimo e Massimo su Roccia, confrontato con la Soglia di Misura rilevabile per mezzo di Tromografo (Tromino).

Il *Rumore Ambientale* viene anche indicato come *Microtremore*, in quanto interessa oscillazioni estremamente contenute le accelerazioni in gioco sono dell'ordine di 10⁻¹⁵ m/s², di gran lunga più piccole di quelle generate dai terremoti.

In geofisica, le procedure basate sul rilevamento del *Microtremore* vengono indicate come metodi di *Sismica Passiva*, in quanto rilevano onde generate da fonti naturali e non da impulsi provocati artificialmente, con intensità, tempi e distanze dal punto di rilevamento note.

Nella figura 2.1.1 si riportano gli spettri massimo e minimo del Tremore Sismico di Fondo rilevati con misure effettuate direttamente sulla roccia. I due picchi a 0,07 Hz e 0,14 Hz sono comunemente interpretati come onde generate dalle onde oceaniche. Queste componenti dello spettro subiscono

un'attenuazione molto tenue, anche a migliaia di chilometri di distanza dal punto in cui vengono generate.

Gli effetti delle sorgenti di perturbazione locale, generate dall'attività antropica, si vanno a sovrapporre su questa traccia di fondo dello spettro, che si mantiene comunque marcatamente distinta.

2.2. EFFETTI DI PERCORSO

Nella porzione di sottosuolo compresa tra la Sorgente della perturbazione e un punto posto ad una determinata distanza da questa, le onde elastiche (sia quelle derivanti da un terremoto che quelle indotte dal microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, e fenomeni di intrappolamento, legati sia alla struttura sedimentaria e geologica, che ai fenomeni di attenuazione e smorzamento, che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che la componente fondamentale dello spettro contiene informazioni relative alla struttura locale del sottosuolo, in corrispondenza del sensore di acquisizione. Il "rumore sismico", che nella sismologia classica costituisce la componente del segnale che viene scartata attraverso complesse tecniche di pulizia, contiene invece importanti informazioni sulla struttura del primo sottosuolo. Queste però risultano nascoste molto bene nel rumore casuale di fondo di un sismogramma e possono essere individuate ed estratte attraverso apposite metodologie, come appunto quella HVSR.

3. LA TECNICA HVSR

La tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) sta raggiungendo un discreto grado di popolarità in quanto:

- è risultata essere uno strumento stratigrafico efficace, economico e totalmente non invasivo;
- si può applicare in qualsiasi situazione e non necessita di alcun tipo di perforazione, stendimenti di cavi o energizzazione esterna, diversa dal *Microtremore Naturale*;
- dà modo di identificare più strati, anche in caso di contrasti di impedenza sismica bassi;
- è applicabile a geometrie non planari e tridimensionali;
- è applicabile sia a profondità medio basse (fino a 70 – 80 m) che a prospezioni profonde (dell'ordine di 1 km di profondità);
- se la stratigrafia è nota in un punto, consente di effettuare stime speditive dei valori medi di V_s .

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio (V_s) e per una corretta caratterizzazione dei litotipi investigati si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (*Rayleigh* e *Love*) secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Il metodo di acquisizione si dice *Passivo* in quanto la perturbazione non è generata artificialmente, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva (sismica a rifrazione), ma consiste nel rumore naturale definito come “*microtremore*”. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **Stratigrafia del Sottosuolo** con un intervallo di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 50 ÷ 70 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 sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso;
- la **Velocità Media delle Onde di Taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario conoscere, anche in maniera indicativa, la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V. La stima di questo parametro caratterizza al meglio, dal punto di vista geofisico, i vari litotipi presenti. È inoltre possibile valutare la velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del substrato roccioso (o altro tipo di substrato ad elevato contrasto sismico) e stabilire il tipo di roccia o terreno presente. La tecnica HVSR può essere applicata anche in presenza di inversioni di velocità (materiali più compatti che poggiano sopra livelli con proprietà fisiche più scadenti);
- le **Frequenze Caratteristiche di Risonanza del Sito** che rappresentano un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di “doppia risonanza” estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi.

4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

I dati sono stati acquisiti per mezzo di un *Tromografo Digitale*, modello *Tromino* (www.tromino.it). Si tratta di uno strumento equipaggiato con tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri), per il rilevamento del microtremore in tutte le sue componenti direzionali, ed un'antenna GPS, per la sua localizzazione geografica.

La risposta dei velocimetri viene digitalizzata a 24 bit A/D, con una frequenza di campionamento impostata su 128 Hz.

I dati di acquisizione vengono trasferiti in una scheda di memoria interna da 1 Gb, che registra i tre sismogrammi (vibrazioni nelle direzioni orizzontale x, y e verticale z) per l'intervallo di tempo impostato dall'operatore, che nel caso in esame è pari a 20 minuti.

L'alimentazione viene fornita da due batterie da 1,5 V, che consentono l'eliminazione di cavi esterni, che potrebbero interferire sui dati di acquisizione, provocando rumori anomali.

5. PROCEDURE DI ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI

I dati sono stati convertiti in files ASCII mediante il software “Grilla”, fornito a supporto dello strumento utilizzato, che permette di archiviare, gestire, visualizzare ed analizzare le registrazioni strumentali.

I diversi moduli del programma permettono di effettuare vari tipi di elaborazione, e più precisamente:

- l'Analisi Spettrale completa delle tracce;
- il calcolo delle curve H/V per la determinazione delle *Frequenze di Risonanza del Sottosuolo*;
- procedure di pulizia dei tracciati nel dominio del tempo e della frequenza, che consiste nell'individuare e quindi eliminare dalla traccia della registrazione eventuali disturbi provenienti da perturbazioni istantanee esterne, o altri errori di tipo sistematico;
- test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee;
- determinazione delle frequenze di risonanza delle strutture con rimozione dell'effetto di sottosuolo;
- analisi direzionale;
- confronto tra analisi e registrazioni diverse.

A seconda dello scopo del lavoro è quindi possibile applicare le procedure specifiche. Ultimate le elaborazioni fornisce quindi il rapporto conclusivo con tabelle e illustrazioni.

Nel presente lavoro è stato elaborato uno sviluppo vincolato delle Curve H/V, che ha consentito di elaborare i **Profili delle Velocità** (grafico H/V_s) e la **Stima delle V_{s30}**, relativa ai primi 30 m di sottosuolo.

Si tratta di uno strumento di modellizzazione delle curve H/V teoriche, basato sulle onde di superficie (Rayleigh e Love) a partire da modelli di sottosuolo inseriti manualmente, attraverso l'interpretazione di tutti i dati rilevati in sito, attraverso l'interpolazione di tutte le informazioni acquisite.

L'individuazione del **Modello Sismostratigrafico Sito Specifico** è stata ottenuta attraverso un procedimento iterativo, che, attraverso un affinamento progressivo dei valori di V_s caratteristici di ogni sismostrato e del relativo spessore, ha consentito di elaborare una curva caratteristica coerente con lo spettro H/V caratteristico dell'area indagata.

6. METODO DI LAVORO

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, è stato stabilito il complesso delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni. Questo è stato quindi successivamente

ripreso e sviluppato con il D.M. 14 gennaio 2008: “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di seguito indicato come NTC/08.

Uno degli assunti fondamentali della normativa riguarda il concetto di **Risposta Sismica Locale**, o **Effetto di Sito**. Nel Capitolo 7.11.3.1 delle NTC/08 si riporta che: “Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la **Risposta Sismica Locale** consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2)”.

Per **Effetto di Sito** si intende l'insieme di trasformazioni (sia in termini di intensità, che frequenza) che un treno di onde sismiche subisce nel suo percorso, durante l'attraversamento di strati di terreno costituiti da materiali con diverse proprietà meccaniche.

Il presente lavoro si basa sulla *Teoria di Nakamura*, che mette in relazione lo spettro di risposta di un substrato di riferimento (roccia sana, caratterizzata da un rapporto $H/V = 1$) con quello effettivamente misurato alla superficie dell'area in esame.

La rappresentazione del *Moto Sismico* può essere espressa sia nel campo del *Tempo*, che delle *Frequenze*. Il modello di riferimento semplificato della procedura di calcolo utilizzata è quella di un deposito alluvionale, costituito da materiale omogeneo, con uno spessore H , che poggia direttamente sul basamento roccioso. Sottoponendo questo modello ad una perturbazione sismica, con propagazione in direzione verticale delle onde di taglio, se le onde incidenti di taglio sono di tipo sinusoidale, con *Frequenza* ν , anche l'accelerazione sul substrato rigido avrà la stessa *Frequenza* ν , ed un'Ampiezza pari ad A_{MaxR} . La corrispondente accelerazione sulla superficie dello strato alluvionale, presenterà la stessa *Frequenza* ν , ma un'ampiezza diversa, pari ad A_{MaxS} . Il rapporto tra le due accelerazioni

$$A = A_{MaxR} / A_{MaxS}$$

viene indicato come *Fattore di Amplificazione*, e dipende dalla *Frequenza* dell'esecuzione armonica (ν), dal *Fattore di Smorzamento del Terreno* (F_S) e dal rapporto $I = (\sigma_R V_R) / (\sigma_S V_S)$ tra l'*Impedenza* del substrato roccioso e quella caratteristica del deposito alluvionale.

$$A = f(\nu, F_S, I)$$

La variazione del Fattore di Amplificazione con la *Frequenza* definisce la *Funzione di Amplificazione* fA del deposito.

Il *Moto Sismico* viene amplificato in corrispondenza di determinate *Frequenze*, che corrispondono alla ***Frequenze Naturali*** di vibrazione del deposito alluvionale, mentre risulta ridotto nel campo delle *Frequenze Elevate*, a causa dello smorzamento del terreno. Tra le *Frequenze Naturali* assume particolare importanza quella primaria, che viene denominata ***Frequenza Fondamentale di Risonanza*** (ν_f), che è un valore specifico di ogni sito.

$$\nu_I = 1 / T_1 = V_S / 4H$$

Nel campo delle opere civili è di fondamentale importanza confrontare questo valore con la Frequenza Naturale della Struttura (ν_{NS}) che si vuole realizzare. La corrispondenza dei due valori ($\nu_I = \nu_{NS}$) darebbe infatti luogo al fenomeno della Doppia Risonanza, condizione di massima criticità in quanto provocherebbe un'amplificazione degli effetti di accelerazione in caso di evento sismico, mettendo a serio rischio le condizioni di equilibrio strutturale dell'opera.

Nel caso degli edifici, il fattore che maggiormente incide sulla Frequenza di Risonanza è costituito dalla sua Altezza, a sua volta legata al numero di piani in sopraelevazione fuori terra. In prima approssimazione è possibile stimare in modo empirico ν_{NS} attraverso il seguente rapporto

$$\nu_{NS} \approx 10 \div 12 \text{ Hz} / \text{Numero di Piani}$$

Il grafico seguente ricostruisce la fascia teorica entro cui possono ricadere le *Frequenze Naturali degli Edifici*, in funzione del loro numero di piani.

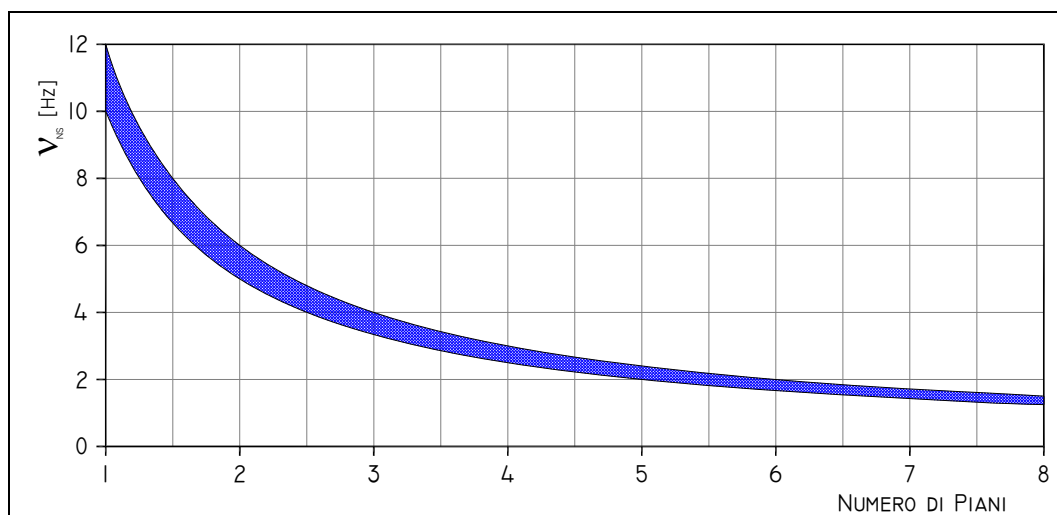


FIGURA 6.1: Valori teorici della *Frequenza Naturale degli Edifici* (ν_{NS}) in funzione del *Numero di Piani*.

La condizione più sfavorevole che un progettista strutturale dovrebbe evitare è pertanto riassunta nella seguente relazione

$$\nu_{NS} \approx \nu_I$$

Negli ultimi anni un progetto a livello europeo, denominato SESAME (Site EffectS Assessment using **A**Mbient **E**xcitations) ha elaborato le Linee Guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e anche con metodologia Array. Ha inoltre messo a punto i Criteri di valutazione sulla qualità delle curve HVSR e sulla significatività dei picchi H/V eventualmente rilevati. La corretta ricostruzione del profilo sismostratigrafico del sottosuolo, dell'interpretazione della curva V_S / H e della stima della velocità delle onde superficiali nei primi 30 m di profondità (V_{S30}) vengono calcolate attraverso la seguente relazione

$$V_{S30} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}}$$

Dove

- V_{S30} = velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo [m/s];
- H = profondità alla quale si desidera la velocità delle onde di taglio. Nel caso in esame $H = 30$ m;
- h_i = spessore dello strato i -esimo, in caso di profilo multistrato;
- v_i = velocità di propagazione delle onde di taglio nello strato i -esimo;

Dall'esame e raffronto tra le velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno dei diversi tipi di sedimenti, sono state elaborate alcune tabelle di riferimento, che associano appunto gli intervalli di variabilità di questo parametro con i diversi litotipi. I valori riportati nella tabella seguente hanno carattere puramente indicativo, ma danno modo di orientarsi sulle possibili correlazioni tra i dati di misura indiretta, e i diversi litotipi che caratterizzano le successioni sedimentarie.

TABELLA 6.1: Correlazione indicativa tra i diversi litotipi dei depositi alluvionali e le relative velocità di propagazione delle onde di taglio.

Litologia	V_s min [m/s]	V_s media [m/s]	V_s max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE E COMPATTE (es. rocce metamorfiche sane o a fatturazione molto contenuta)	1.400	1.620	//
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti da mediamente a poco fratturate)	700	1.050	1.400
ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie e ignee tenere, arenarie e argilliti)	375	540	700
SUOLI GHIAIOSI (terreni con frazione ghiaiosa superiore al 20%)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE, SUOLI SABBIOSI E GHIAIOSI (terreni con frazione ghiaiosa inferiore al 20%, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille limose e argille da mediamente a molto compatte)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

7. INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE

7.1. PROVA HVSR 1

Strumento: TEP-0048/01-09

Inizio registrazione: 06/04/16 19:04:13 Fine registrazione: 06/04/16 19:18:14

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00".

Analizzato 45% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

FIGURA 7.1.1: HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

Max. H/V at 1.72 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

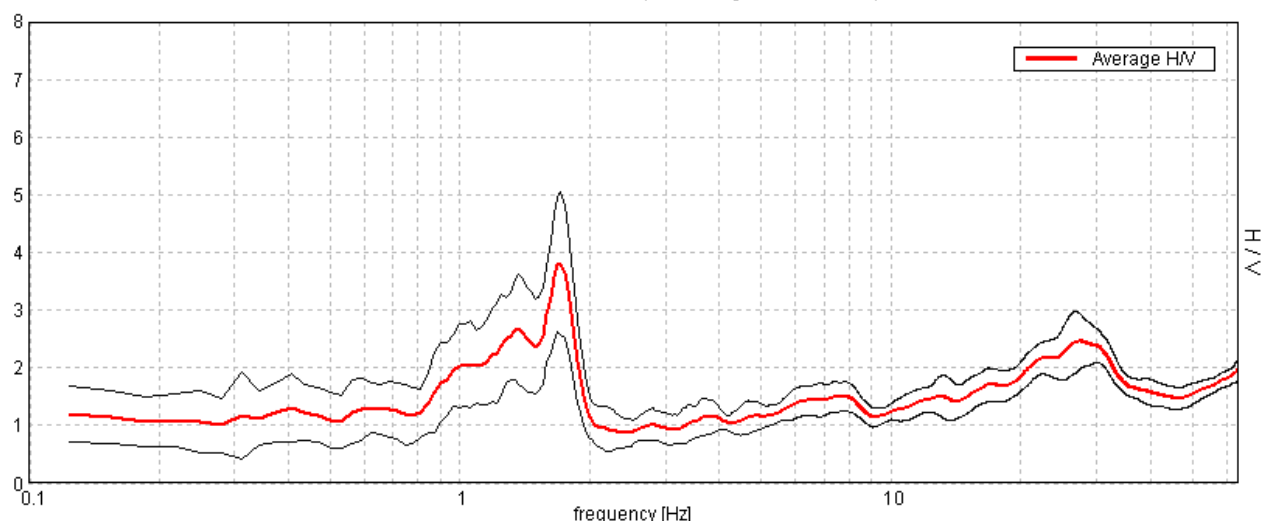
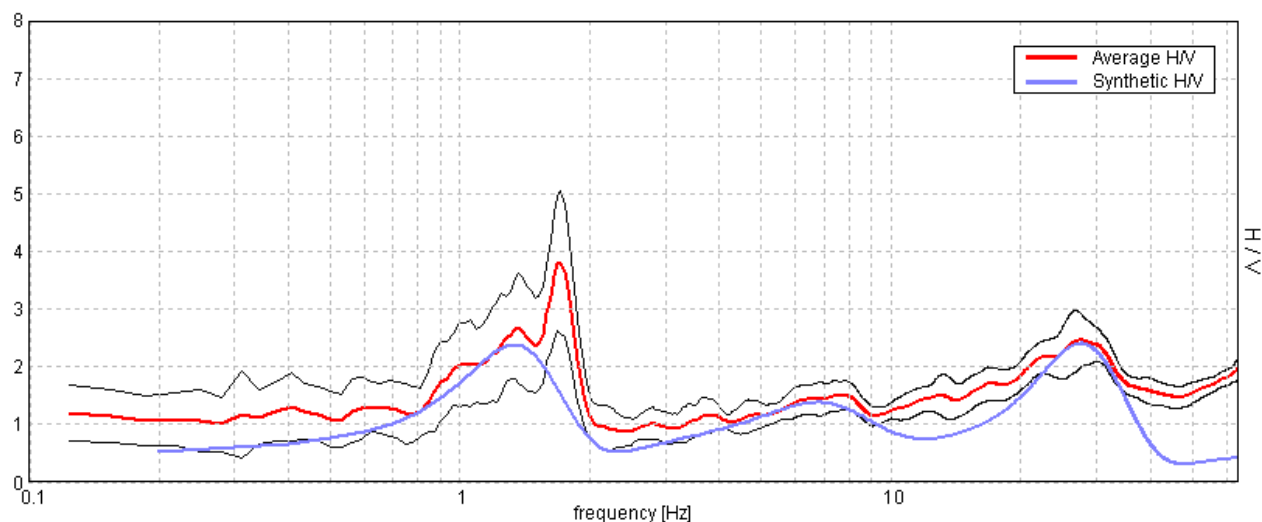


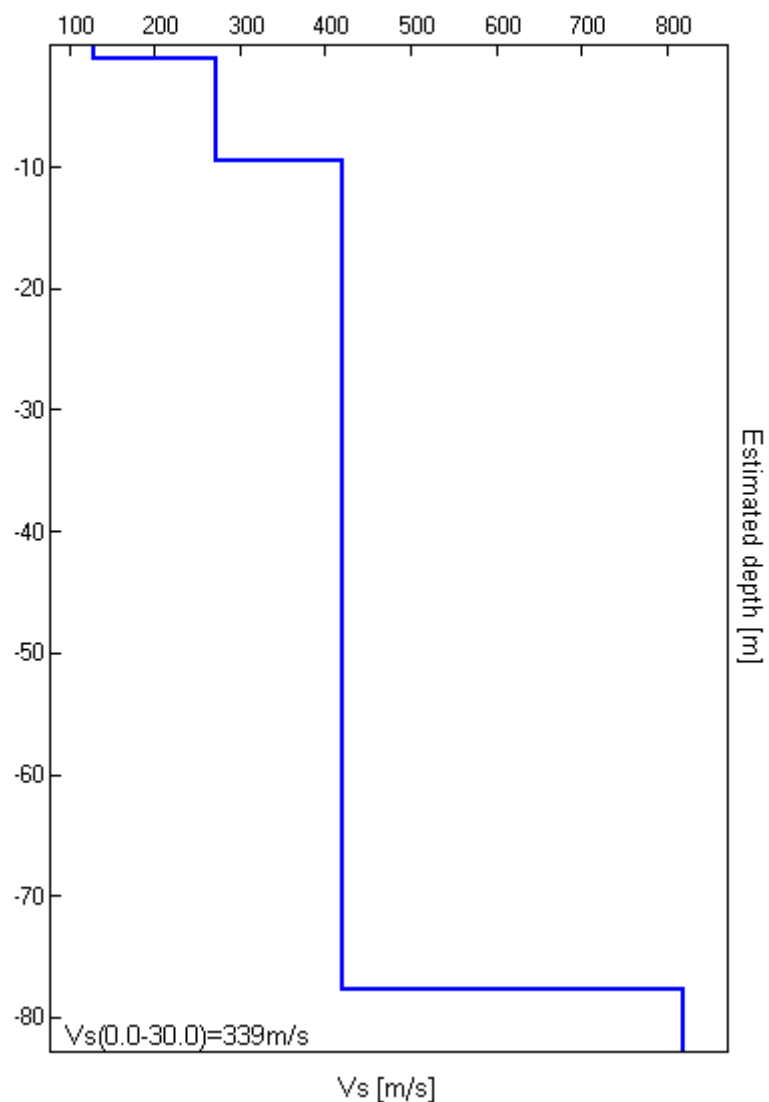
FIGURA 7.1.2: EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 1.72 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



7.1.1. PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.15	1.15	128	0.40
9.55	8.40	272	0.40
77.75	68.20	420	0.38
inf.	inf.	820	0.38

FIGURA 7.1.1.1: $Vs_{(0.0-30.0)} = 339 \pm 68$ m/s $271 \text{ m/s} < Vs_{(0.0-30.0)} < 407 \text{ m/s}$ 

7.1.2. VERIFICA DEI RISULTATI

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di [Griffa](#) prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 1.72 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.72 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$653.1 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 84	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.938 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.81 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01561 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02682 < 0.17188$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.2298 < 1.78$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

7.2. SINTESI CONCLUSIVA

L'analisi del profilo sismostratigrafico riportato in Figura 7.1.1 evidenzia la presenza di due riflettori abbastanza netto a circa 1,00 metro e a 77,0 m di profondità dal piano campagna. Considerata la struttura geologica locale, questo orizzonte non corrisponde al substrato roccioso, ma ad un livello di sedimenti di densità significativamente superiore a quelli soprastanti.

A partire dal piano campagna, è possibile ipotizzare il seguente *Profilo Sismostratigrafico*, caratteristico dell'area indagata:

- Un livello superficiale, poco addensato, con spessore pari a circa 1,15 metro, costituita da terreno vegetale ($V_s = 128$ m/s);
- Un livello più consistente, con spessore pari a circa 8,0 m, costituito da materiali con proprietà meccaniche migliori, che consente una propagazione delle onde di taglio a velocità pari a 272 m/s;
- Un livello ancora più consistente, con spessore pari a circa 68,0 m, costituito da materiali con proprietà meccaniche migliori, che consente una propagazione delle onde di taglio a velocità pari a 420 m/s;
- Un substrato, entro cui le onde di taglio si propagano a 820 m/s.

7.3. FREQUENZE CARATTERISTICHE

L'analisi dello spettro H/V della Figura 7.1 ha dato modo di rilevare che il sottosuolo dell'area indagata presenta le ***Frequenze Caratteristiche*** riportate nella tabella seguente.

TABELLA 7.3.1: *Frequenze Caratteristiche del sottosuolo nell'area indagata.*

Prova	Frequenza
HVSR 01	1.72 ± 0.03 Hz