



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE VENETO



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME



Comune di Villorba (TV)

<i>Regione</i> Veneto	<i>Provincia</i> Treviso	<i>Comune</i> Villorba
--------------------------	-----------------------------	---------------------------

<p><i>Titolo</i></p> <p style="text-align: center;">Studio di Microzonazione Sismica di Secondo Livello con approfondimenti di Terzo Livello</p> <p style="text-align: center;">Relazione illustrativa</p>

<p><i>Committente</i> Comune di Villorba</p>	<p><i>Dr. Geol. Paolo Sivieri - O.R.G.V. n. 169</i> <i>Dr. Geol. Giovanni Rigatto – O.R.G.V. n. 839</i></p>
--	--

<p><i>Data</i> 18 dicembre 2017</p>	<p><i>Codice Commessa</i> 17312</p>	<p><i>Rev.</i> n. 00</p>	<p><i>Documento</i> 17312_20171218_R00_00_Villorba_MS23</p>
---	---	------------------------------	---

ADASTRA ENGINEERING srl - sede legale: v. Xola, 41b 30020 Torre di Mosto (Ve) - sede operativa: v. Confin, 87b 30020 Torre di Mosto (Ve)
 tel./fax 0421-325683 www.adastra.it info@adastra.it - c.f. p. iva - reg. impr. ve 04251560274 - n° rea cciaa VE 378954

AZIENDA CERTIFICATA CON SISTEMA DI QUALITÀ UNI EN ISO 9001/2008



Comune di Villorba (TV)

Studio di Microzonazione Sismica di Secondo Livello con approfondimenti di Terzo Livello

Relazione illustrativa

Indice

1	Introduzione	5
1.1	Premessa	5
1.2	Riferimenti normativi	5
2	Dati geotecnici e geofisici	8
2.1	Fonti dei dati pregressi	8
2.2	Il piano delle misure geofisiche integrative	8
3	Microzonazione Sismica di Secondo Livello	10
3.1	Determinazione dei valori di FA e FV	10
3.2	Effetti topografici	13
3.3	Verifica alla Liquefazione dei terreni	16
4	Metodologie di elaborazione e risultati	17
4.1	Indagini geofisiche integrative: sensori impiegati	17
4.2	Commento generale alle misure di V_{S30} e HVSr	18
5	Elaborati cartografici	20
5.1	Carta delle indagini	20
5.2	Carta delle frequenze fondamentali di risonanza e dell'amplificazione H/V	20
5.3	Carta delle V_{S30}	21
5.4	Carta della Microzonazione Sismica - Livello II	22
6	Microzonazione di Terzo Livello	24
6.1	Premessa sulle zone suscettibili di instabilità	24
7	Analisi della suscettività alla liquefazione	26
7.1	Descrizione del fenomeno fisico e delle zone di liquefazione	26
7.2	Modalità di costruzione della Carta di MS - livello 3 (fase 1 delle Linee guida LQ)	26
7.3	Verifica alla Liquefazione dei terreni	27

7.3.1	Liquefazione	28
7.3.2	Analisi delle Vs ai fini della liquefazione	30
7.4	Modalità di costruzione della Carta di MS - livello 3 (fase 2 delle Linee guida LQ)	32
7.4.1	Analisi delle penetrometrie ai fini della liquefazione	33
7.4.2	Criticità e limitazioni	35
7.5	Disciplina d'uso del suolo in zone di liquefazione	36
7.5.1	Individuazione delle categorie di aree urbanistiche interessate da liquefazione	36
7.5.2	Disciplina d'uso in zone suscettibili alla liquefazione	37
7.5.3	Aree edificate (recenti o consolidate)	37
7.5.4	Aree non edificate (con previsione di trasformazione) e Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata, ricadenti in ZS_{LQ} e in ZR_{LQ}	38
7.5.5	Programma Infrastrutture	38
8	Analisi delle FAC - Faglie attive e capaci	39
8.1	Carta della Microzonazione Sismica - Livello III	42
8.2	Commenti finali e criticità	43
9	Proposta di normativa tecnica per il Piano degli interventi	44
10	Bibliografia	47
11	Appendici	49
11.1	La tecnica dei microtremori (Refraction Microtremors – ReMi)	49
11.2	Glossario	54
11.3	Sigle	56

Indice delle figure

Figura 1 – Planimetria della cava 1 e ubicazione dei profili topografici	14
Figura 2 – Planimetria della cava 2 e ubicazione dei profili topografici	14
Figura 3 – Profili topografici delle due cave più profonde del comune di Villorba	16
Figura 4 - Strumentazione per la misura della VS. Sismografo a 24 canali Geometrics GEODE (a sinistra). Schema di accoppiamento dei geofoni su pavimentazione (al centro) o su strada sterrata o in ghiaia (a destra).	17
Figura 5 – Mappa di Vs_{30} interpolata	21
Figura 6 – Legenda della Carta di MS di Secondo Livello del Comune di Villorba (Parametro FV)	22
Figura 7 – Carta della soggiacenza della falda del Comune di Villorba	29
Figura 8 – Curve di correlazione CSR/V_{s1} secondo Kayle <i>et al.</i> , 2013	31
Figura 9 – Software di valutazione della liquefazione secondo Andrus e Stokoe, 1997 (modificato); ©S.B. Monaco, Messina	32
Figura 10 - Tabella B1, Linee Guida LQ, 2017	37
Figura 11 – Legenda della carte di MS di Terzo Livello	43
Figura 12 - Tipico schema di strumentazione per misure SASW con un sistema a due canali di registrazione (tratto da Stokoe <i>et al.</i> , 1994)	50
Figura 13 - Tipico spettro p-f di onde di Rayleigh nel quale si osservano un modo fondamentale ed una serie di modi superiori di vibrazione	51
Figura 14 - Esempio di determinazione (<i>picking</i>) della curva di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh	52
Figura 15 - Esempio di modellazione 1D della V_s . Modello geometrico-acustico del sottosuolo (a sinistra). Confronto tra dati sperimentali (cerchi rossi) e curva teorica (linea continua in blu) calcolata dal modello (a destra)	53

Indice delle tabelle

Tabella 1 – Coordinate Gauss Boaga dei punti indagine ReMi disponibili per il territorio di Villorba e relativo valore di V_{s30} . Sono elencate le misure di nuova esecuzione e quelle dello studio di MS di Livello I.9	
Tabella 2 – Determinazione dei valori di FA e FV	12
Tabella 3 – Tabella con dati statistici di FA e FV	12
Tabella 4 – Statistica dei valori delle misure di V_{s30}	18
Tabella 5 – Distribuzione dei valori di H/V e F° - Approfondimento di II Livello	19
Tabella 6 – Numero di indagini classificate per tipologia	20
Tabella 7 - Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone (Linee Guida LQ, 2017)	24
Tabella 8 - Indice del potenziale di Liquefazione medio (IL) e relativa classificazione (Linee Guida LQ, 2017)	27
Tabella 9 – Calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione. Sono riportate le sole penetrometrie i profili di V_s per i quali $IL > 0$. (fonte: dati originali e da Studio di MS 1 del Comune di Villorba).	35
Tabella 10 - Disciplina d'uso per le Aree edificate (recenti o consolidate), (Fonte: Linee Guida LQ, 2017) .	38
Tabella 11 - Aree non edificate (con previsione di trasformazione) e Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata (Fonte: Linee Guida LQ, 2017)	38
Tabella 12 – Tabella con dati Ithaca della Faglia di Sacile	42

TAVOLE FUORI TESTO

<i>Codice</i>	<i>Titolo</i>	<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
CI_17312_20171218_T01_01	Carta delle Indagini	01	18/12/17
FREQUENZE_17312_20171218_T02_00	Carta delle frequenze	00	18/12/17
VS30_17312_20171218_T03_00	Carta della Vs ₃₀	00	18/12/17
MS2_17312_20171218_T04_00	Carta della Microzonazione Sismica – Livello II	00	18/12/17
MS2_17312_20171218_T05_00	Carta della Microzonazione Sismica – Livello II	00	18/12/17
MS2_17312_20171218_T06_00	Carta della Microzonazione Sismica – Livello II	00	18/12/17
MS3_17312_20171218_T07_00	Carta della Microzonazione Sismica – Livello III	00	18/12/17

ALLEGATI FUORI TESTO DIGITALI

<i>Codice</i>	<i>Titolo</i>	<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
17312_20171218_ALL01_00	Indagini Remi_II/III livello	00	18/12/17
17312_20171218_ALL02_00	Indagini HVSR_II livello	00	18/12/17

EMISSIONI

<i>Rev.</i>	<i>Codice</i>	<i>Data</i>	<i>Riesame</i>		<i>Verifica</i>		<i>Approvazione</i>	
00	17312_20171218_R00_00_Villorba_MS3	18/12/17	CL		GR		PS	

LISTA DI DISTRIBUZIONE

<i>Nominativo</i>	<i>Azienda</i>	<i>Copie a stampa</i>	<i>Copie digitali</i>
Copia ufficio	Dr. Geol. Paolo Sivieri	=	✓
Copia Ufficio	Adastra Engineering srl	=	✓
Arch. Stefano Anzanello	Ufficio Tecnico - Comune di Villorba	1	✓

1 Introduzione

1.1 PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione comunale di Villorba è stato affidato ad Adastra Engineering srl lo Studio di Microzonazione Sismica di Livello II con approfondimenti di Livello III ai sensi dell'OPCM 52 del 20.02.2013 e della DGR n. 1572 del 3.10.2013. La presente relazione fa seguito allo studio di Microzonazione Sismica di Primo Livello conclusa nel novembre 2015 (Studio HGEO) al quale si rimanda per gli approfondimenti inerenti il quadro geologico di riferimento e per le caratteristiche sismologiche del territorio comunale.

Con determinazione n. 702 del 8 novembre 2017 il Comune di Villorba ha affidato l'incarico ad Adastra Engineering srl. L'incarico professionale è stato svolto dal gruppo di lavoro composto dal Direttore Tecnico Dr. Geol. Paolo Sivieri e dal Dr. Geol. Giovanni Rigatto. Si ringrazia la dr.ssa Chiara Levorato per la collaborazione tecnico-cartografica.

La presente relazione espone le modalità di acquisizione e di elaborazione dei dati geologici, geotecnici, sismici e cartografici che sono stati adottati nella realizzazione dello studio di Microzonazione Sismica realizzata secondo lo schema logico e le norme richiesti dagli ICMS 2008 e dalle *Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica della Regione Veneto* (DGR n. 1572 del 3.10.2013, all. A).

Le acquisizioni dei dati di campagna e le elaborazioni cartografiche sono state condotte nei mesi di novembre e dicembre 2017.

1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Legge 2 febbraio 1974, n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Legge 10 dicembre 1981, n. 741, Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 11 marzo 1988, 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Legge 24 febbraio 1992, n. 225, Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Decreto del Ministro dell'interno 13 Febbraio 2001, Adozione dei Criteri di massima per l'organizzazione dei soccorsi sanitari nelle catastrofi (G.U. n. 116 del 12 maggio 2001).

Decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112, Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59.

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.

Legge 9 novembre 2001, n. 401, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, recante disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di protezione civile.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 20 marzo 2003, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (pubblicata nel Supplemento n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 del 08/05/2003) modificata con ordinanza 3316 e 3431.

Testo ordinanza in 4 articoli:

- Allegato 1: Criteri per l'individuazione delle zone sismiche - Individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- Allegato 2: Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.
- Allegato 3: Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti.
- Allegato 4: Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni.

Legge Regionale 07 novembre 2003 n. 27 art. 66, Indicazioni generali per uniformare le procedure di deposito dei progetti in zona sismica 2 e nei Comuni o parti del loro territorio interessati da opere di consolidamento degli abitati.

Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 2 ottobre 2003. Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 67 del 03 dicembre 2003. Recepisce i criteri generali dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, ed approva la nuova classificazione sismica dei Comuni del Veneto.

Legge 27 luglio 2004, n. 186, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, Disposizioni urgenti per garantire la funzionalità di taluni settori della pubblica amministrazione. Disposizioni per la rideterminazione di deleghe legislative e altre disposizioni connesse.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 3 maggio 2005, n. 3431, Ulteriori modifiche ed integrazioni all'O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica».

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 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 (G.U. n.108 del 11/05/2006).

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni.

Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008) e relativa Circolare esplicativa. Con la pubblicazione delle NTC08 vengono recepite molte delle indicazioni normative precedenti e riordinate in un unico codice.

Principali Norme Tecniche di riferimento:

- Capitolo 3 Azioni sulle costruzioni, §3.2 Azione sismica.
- Capitolo 8 Costruzioni esistenti, §8.7 Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche.
- Allegato A: Pericolosità sismica.
- Allegato B: Tabelle che definiscono l'azione sismica nel territorio italiano.
- Capitolo 7 Progettazione per azioni sismiche (strutture nuove).

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 71 del 22 gennaio 2008 "O.P.C.M. 28.4.2006, 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". La Giunta Regionale stabilisce di prendere atto dei criteri generali di classificazione allegati all'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, innovativi rispetto all'OPCM 3274/2003, e della mappa di pericolosità sismica di riferimento, espressa in termini di accelerazione massima al suolo (amax) confermando, comunque, per quanto riguarda gli aspetti amministrativi, la classificazione sismica dei Comuni del Veneto di cui all'Allegato I della deliberazione del Consiglio Regionale n. 67/2003.

Legge 24 giugno 2009, n. 77 Conversione in legge, con modificazioni del decreto legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella Regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile.

Decreto n. 69/2010, Linee guida per la realizzazione dello studio di compatibilità sismica per i Piani di Assetto del Territorio Comunali e Intercomunali.

OCDPC n. 52 del 20 febbraio 2013. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2012

DGR n. 1572 del 03 ottobre 2013. Fondo statale per interventi di prevenzione del rischio sismico di cui all'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 52 in data 20 febbraio 2013.

Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 1431 del 15 aprile 2013, pubblicato nella G.U. del 10 luglio 2013 (L. 77/2009, art. 11).

OCDPC n. 171 del 19 giugno 2014: contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2013.

DGR n. 1896 del 14 ottobre 2014. Attuazione dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24.06.09, n.77. O.C.D.P.C. 171 del 19 giugno 2014 (G.U. n. 145 del 25 giugno 2014). (L. 77/09, art. 11).

DGR n. 598 del 21 aprile 2015. Fondo statale per interventi di prevenzione del rischio sismico di cui all'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 171 in data 19 giugno 2014. Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile del 4 agosto 2014, pubblicato nella G.U. del 6 novembre 2014. (L. 77/2009, art. 11).

2 Dati geotecnici e geofisici

2.1 FONTI DEI DATI PREGRESSI

Al fine di delineare il quadro geologico complessivo, sottoposto ad integrazione con ulteriori indagini geofisiche dedicate, sono state raccolte ed esaminate in chiave sismica tutte le informazioni fornite dal PAT, utilizzando in particolare la carta geo-litologica, geomorfologica e idrogeologica. Si è fatto in particolare riferimento allo studio di Microzonazione Sismica di I livello (Studio HGEO, novembre 2015) e all'Analisi di microzonazione sismica per 14 interventi della Variante 2 al PI (Studio HGEO, febbraio 2016).

È stata inoltre consultata tutta la bibliografia edita e i materiali inediti disponibili e utilizzate le informazioni reperibili nelle banche dati dei portali web regionali e nazionali.

2.2 IL PIANO DELLE MISURE GEOFISICHE INTEGRATIVE

Al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni dell'area indagata, è stata condotta una serie di misure geofisiche in prossimità dei punti ritenuti più significativi. In particolare, sono state effettuate:

- 12 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) per individuare le frequenze di risonanza dei depositi;
- 20 misure sismiche con tecnica ReMi (Refraction Microtremors) per la determinazione del profilo di velocità di propagazione delle onde S.

Per integrare il set di misure sono stati utilizzati anche i valori di V_s presenti nello studio di MS di Livello I forniti dal Comune di Villorba, ad esclusione di tre siti i cui valori risultano troppo elevati per essere considerati attendibili.

La scelta dei punti d'indagine è stata operata con l'obiettivo di definire al meglio le condizioni stratigrafiche e la potenziale amplificazione sismica locale dovuta alla sequenza sedimentaria. L'ubicazione delle misure effettuate viene riportata nell'apposita tavola allegata fuori testo (CI_17312_20171218_T01_01, Carta delle Indagini).

name	X	Y	VS ₃₀
RM01	283577.8523	5070416.687	413
RM02	285555.5335	5069786.882	451
RM03	285771.8425	5071528.21	449
RM04	288365.3804	5067814.755	411
RM05	287313.08	5067787.774	367
RM06	284835.7759	5067910.112	411
RM07	286025.777	5067769.615	420
RM08	287321.0878	5064250.034	364
RM09	285835.6471	5066702.512	390
RM10	288420.8061	5069030.667	447
RM11	287248.5087	5068586.407	394

RM12	283676.3474	5069141.594	555
RM13	287701.5173	5069376.563	510
RM14	285916.0957	5063849.986	490
RM15	282991.6563	5070073.987	465
RM16	286833.3394	5069124.666	555
RM17	284435.98	5069108.01	487
RM18	285495.1844	5067729.188	540
RM19	287926.5618	5064156.011	440
RM20	286400.0621	5064472.342	495
1 PI (VL01)	288368.6782	5065237.617	293
2 PI (VL02)	284769.7918	5069023.752	392
3 PI (VL03)	287527.6407	5066298.722	371
4 PI (VL04)	285192.104	5064956.049	375
8 PI (VL08)	287143.6716	5066425.56	420
9 PI (VL09)	285921.9433	5064968.546	359
10 PI (VL10)	286849.9307	5066280.881	404
11 PI (VL11)	286469.9674	5067306.782	438
12 PI (VL12)	288237.7471	5066992.964	497
13 PI (VL13)	284454.5957	5069808.417	417
14 PI (VL14)	286415.5681	5066389.678	415

Tabella 1 – Coordinate Gauss Boaga dei punti indagine ReMi disponibili per il territorio di Villorba e relativo valore di V_{s30} . Sono elencate le misure di nuova esecuzione e quelle dello studio di MS di Livello I.

3 Microzonazione Sismica di Secondo Livello

Il presente studio è stato svolto al Secondo Livello (con approfondimenti di Terzo Livello). Le nuove Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica vanno applicate agli studi di MS a corredo degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale (PAT, PI e loro varianti di cui alla L.R. 11/2004). Anche i Piani Urbanistici Attuativi (PUA), nei comuni i cui strumenti urbanistici di livello superiore non contengono studi sismici, devono essere dotati di specifici studi di MS.

La metodologia prevede che il Secondo Livello di approfondimento sia applicato in sede di PI a tutte le parti di territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportino un incremento dei carichi urbanistico/insediativi e per il territorio compreso nel perimetro del centro abitato così come previsti dalla normativa vigente.

Per quanto concerne il Comune di Villorba, lo studio di Microzonazione di Secondo Livello è stato effettuato su tutto il territorio comunale.

L'obiettivo del secondo livello di analisi è di compensare le incertezze del primo livello con approfondimenti conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente.

Il risultato fondamentale del secondo livello è la Carta di Microzonazione Sismica di Secondo Livello ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti, alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica.

Lo studio di approfondimento è stato condotto attraverso una rete di misure HVSR e ReMi. L'obiettivo era la quantificazione numerica degli effetti di amplificazione sismica attraverso la stima dei fattori di amplificazione FA e FV. I valori dei fattori di amplificazione consistono nei valori di FA, fattore di amplificazione a basso periodo, e di FV, fattore di amplificazione a periodo proprio. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione. Il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

3.1 DETERMINAZIONE DEI VALORI DI FA E FV

Sono state condotte misure di V_{s30} distribuite sul territorio comunale integrate da misure HVSR per definire con maggior accuratezza il campo di velocità delle onde S.

L'ubicazione delle indagini sismiche è riportata nella Carta delle Indagini (CI_17312_20171218_T01_01).

Il fine dell'approfondimento di Secondo Livello è quello di verificare ed eventualmente applicare la procedura prevista alle Linee guida nazionali (ICMS 2009) per fornire una stima della risposta sismica in termini di fattori di amplificazione topografica e litostratigrafica.

Per l'allestimento della Carta di Microzonazione Sismica di Secondo Livello si sono adottati gli *Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici (livello 2)* previsti dalle ICMS 2008.

Si è tenuto conto che il valore di a_g , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi di Cat. A caratterizzati da $V_s > 800$ m/s, è compreso tra 0.15g e 0.175g (si veda la "Mappa

di pericolosità sismica del territorio nazionale”, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e l’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3519 del 28.04.2006 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”

Per l’applicazione degli abachi si è proceduto nel modo seguente:

- è stata applicata la correzione tabellare ai valori di V_{s30} (velocità equivalente nei primi 30 m) trasformandoli in V_{sh} (velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito). Si è considerato uno spessore dei depositi pari ad almeno 150 metri sulla scorta delle informazioni desunte dalla bibliografia che prevedono l’assenza di un substrato sismico entro tale intervallo di profondità.
- Considerando un profilo di velocità delle onde S variabile linearmente con pendenza intermedia, si sono utilizzati gli abachi pertinenti alle ghiaie, utilizzando valori di accelerazioni di picco al suolo di $0.18 a_g$ (per il territorio di Villorba la media è di $0.150-0.175 a_g$).
- Si è quindi ottenuta la stima dei fattori di amplificazione FA e FV per ciascun settore investigato. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono rappresentate in classi di fattori di amplificazione.
- Sono stati cartografati sia i valori di FA che di FV che sono stati interpolati attraverso una procedura di Natural Neighbour Interpolation.
- Nella Carta della Microzonazione Sismica di Secondo Livello sono rappresentati i valori di FV dove le amplificazioni sono in genere superiori rispetto a FA.

Per comprendere anche le limitazioni di tale approccio si tenga conto che gli abachi allegati alle ICMS 2008 sono stati realizzati sintetizzando i risultati di analisi numeriche mono-dimensionali di propagazione delle onde sismiche di taglio. Tali analisi sono di tipo non lineare equivalente e sono condotte su un modello di sottosuolo costituito da terreni stratificati orizzontalmente, poggianti su un semispazio. Più l’assetto geologico locale si discosta dalle condizioni monodimensionali e minore sarà l’affidabilità delle stime di valore di FA e FV.

Nome	V_{s30}	V_{s150}	FV	CLASSE FV	FA	CLASSE FA
1 PI (VL01)	293	386	1.43	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
2 PI (VL02)	392	478	1.31	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
3 PI (VL03)	371	459	1.34	1.3-1.4	1.04	NO AMPL.
4 PI (VL04)	375	463	1.34	1.3-1.4	1.04	NO AMPL.
8 PI (VL08)	420	503	1.28	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
9 PI (VL09)	359	448	1.36	1.3-1.4	1.04	NO AMPL.
10 PI (VL10)	404	489	1.3	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
11 PI (VL11)	438	518	1.26	1.3-1.4	1.01	NO AMPL.
12 PI (VL12)	497	568	1.2	1.1-1.2	0.99	NO AMPL.
13 PI (VL13)	417	501	1.28	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
14 PI (VL14)	415	499	1.28	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.

RM01	413	497	1.28	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
RM02	451	529	1.26	1.3-1.4	1.01	NO AMPL.
RM03	449	528	1.26	1.3-1.4	1.01	NO AMPL.
RM04	411	495	1.28	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
RM05	367	456	1.34	1.3-1.4	1.04	NO AMPL.
RM06	411	495	1.28	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
RM07	420	503	1.28	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
RM08	364	453	1.36	1.3-1.4	1.04	NO AMPL.
RM09	390	476	1.31	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
RM10	447	526	1.26	1.3-1.4	1.01	NO AMPL.
RM11	394	480	1.31	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
RM12	555	615	1.14	1.1-1.2	0.96	NO AMPL.
RM13	510	579	1.18	1.1-1.2	0.98	NO AMPL.
RM14	490	562	1.21	1.1-1.2	0.99	NO AMPL.
RM15	465	541	1.23	1.1-1.2	1	NO AMPL.
RM16	422	505	1.27	1.1-1.2	1.02	NO AMPL.
RM17	487	559	1.21	1.1-1.2	0.99	NO AMPL.
RM18	426	508	1.38	1.1-1.2	1.03	NO AMPL.
RM19	378	466	1.33	1.3-1.4	1.03	NO AMPL.
RM20	495	566	1.2	1.1-1.2	0.99	NO AMPL.

CLASSE	RANGE DI VALORI
NO AMPL.	> 1.04
1.1-1.2	1.05-1.24
1.3-1.4	1.25-1.44

Tabella 2 – Determinazione dei valori di FA e FV

Il fattore di amplificazione massimo è pari a $FV=1.43$.

	FV	FA
max	1.43	1.04
min	1.14	0.96
media	1.28	1.01
mediana	1.28	1.02
moda	1.28	1.02

Tabella 3 – Tabella con dati statistici di FA e FV

3.2 EFFETTI TOPOGRAFICI

Tenuto conto che in corrispondenza di due delle diverse cave aperte all'interno del territorio comunale sono presenti scarpate che rientrano nei casi previsti di amplificazione topografica, la carta è stata integrata attraverso l'impiego degli *Abachi di riferimento per gli effetti topografici (livello 2) (ICMS 2008)*.

Tali abachi sono utilizzabili per il calcolo di fattori di amplificazione per le zone di scarpata caratterizzate da fronti di altezza (H) maggiori o uguali a 10 m, inclinazione del fronte principale (α) maggiore o uguale a 15° ed estensione del fronte superiore (L) almeno pari all'altezza H o comunque non inferiore ai 15-20 metri. Ai fini del presente studio è stato utilizzato l'*Abaco per scarpate in terra (ICMS, 2008)*.

In particolare, all'interno della cava non si è rappresentato il valore di amplificazione topografica poiché il relativo poligono è interessato da instabilità per cedimento.

All'esterno si è considerato che le scarpate rientrino nel range compreso tra 10 e 20 m, come si può verificare dai profili condotti lungo le pareti delle cave rappresentati nelle figure seguenti. Considerando nei due casi investigati un dislivello pari a 20 m e a 14 m, il raggio d'influenza va a definire una fascia pari ad H. In corrispondenza del ciglio di cava il valore di amplificazione è massimo (e quindi pari a 1,1), mentre sul margine esterno della fascia di buffer è pari a 1. Questo significa che 1/2 del buffer rientra nella categoria 1.1-1.2 (dove in realtà l'intervallo comprende 1,05-1,24). Poiché l'amplificazione varia linearmente, questo implica che un settore largo rispettivamente 10 e 7 m rientra nel range 1.1-1.2.

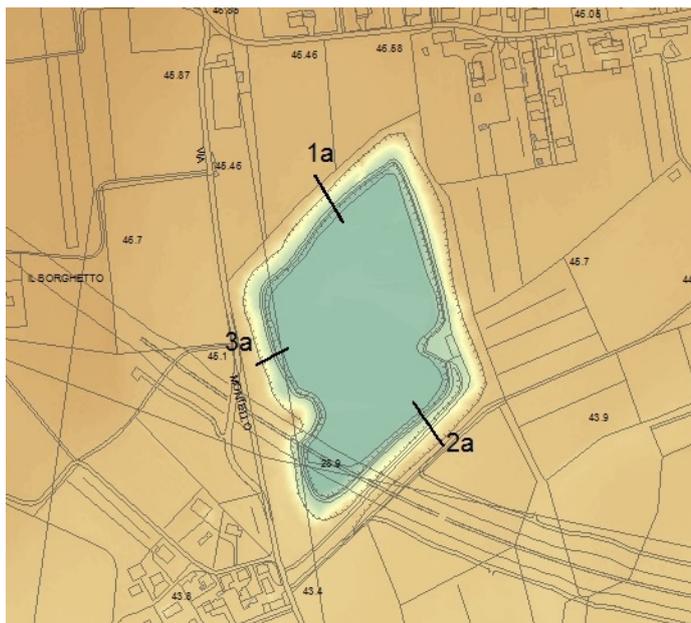


Figura 1 – Planimetria della cava 1 e ubicazione dei profili topografici

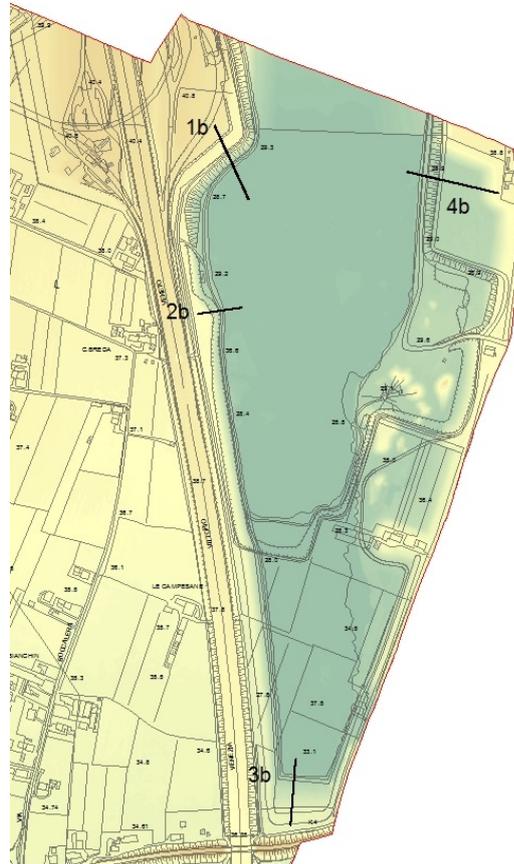
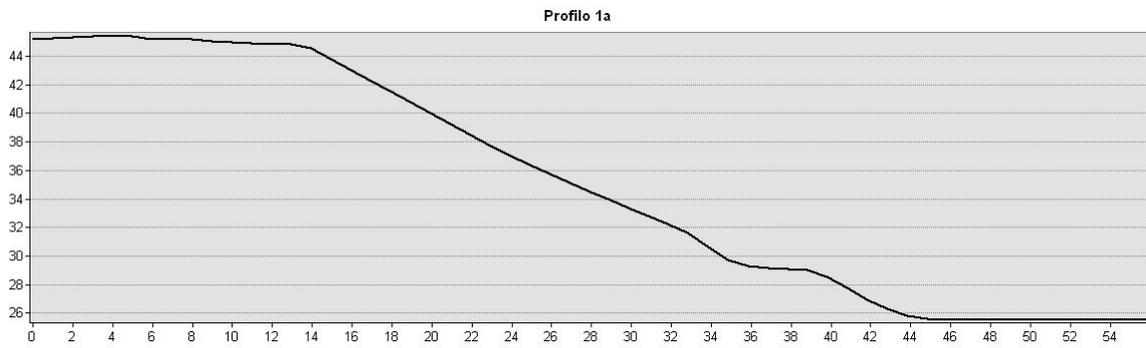
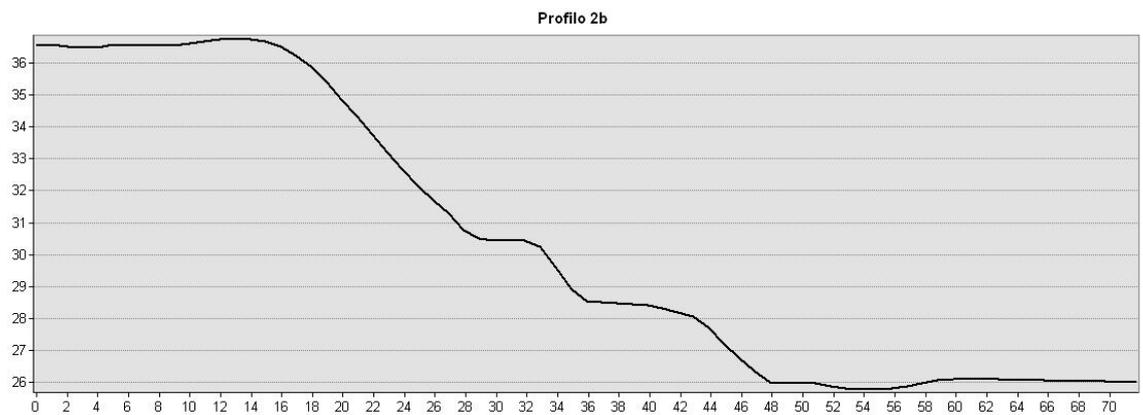
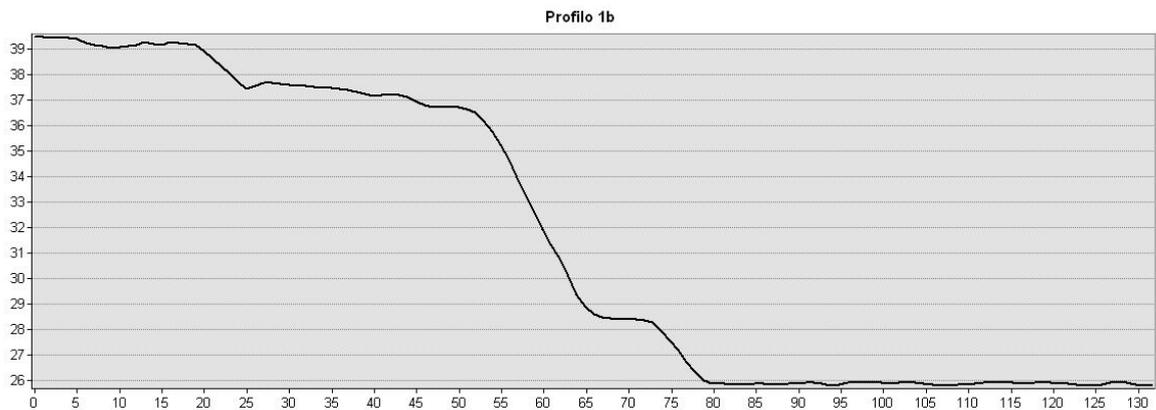
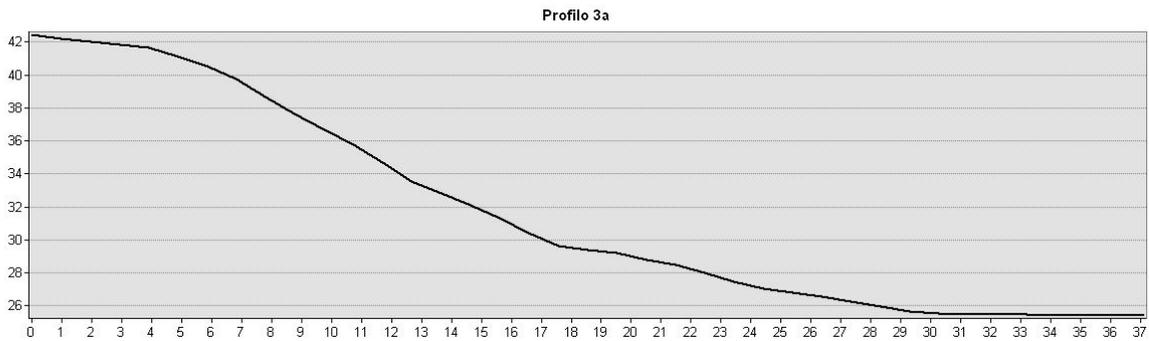
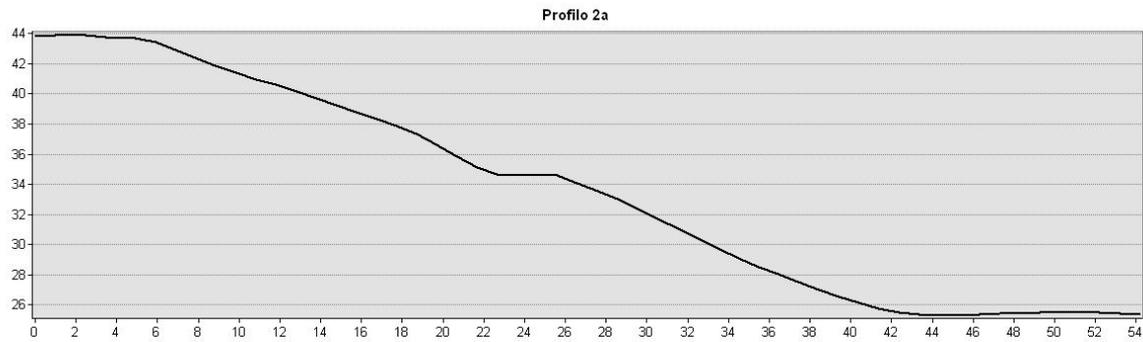


Figura 2 – Planimetria della cava 2 e ubicazione dei profili topografici





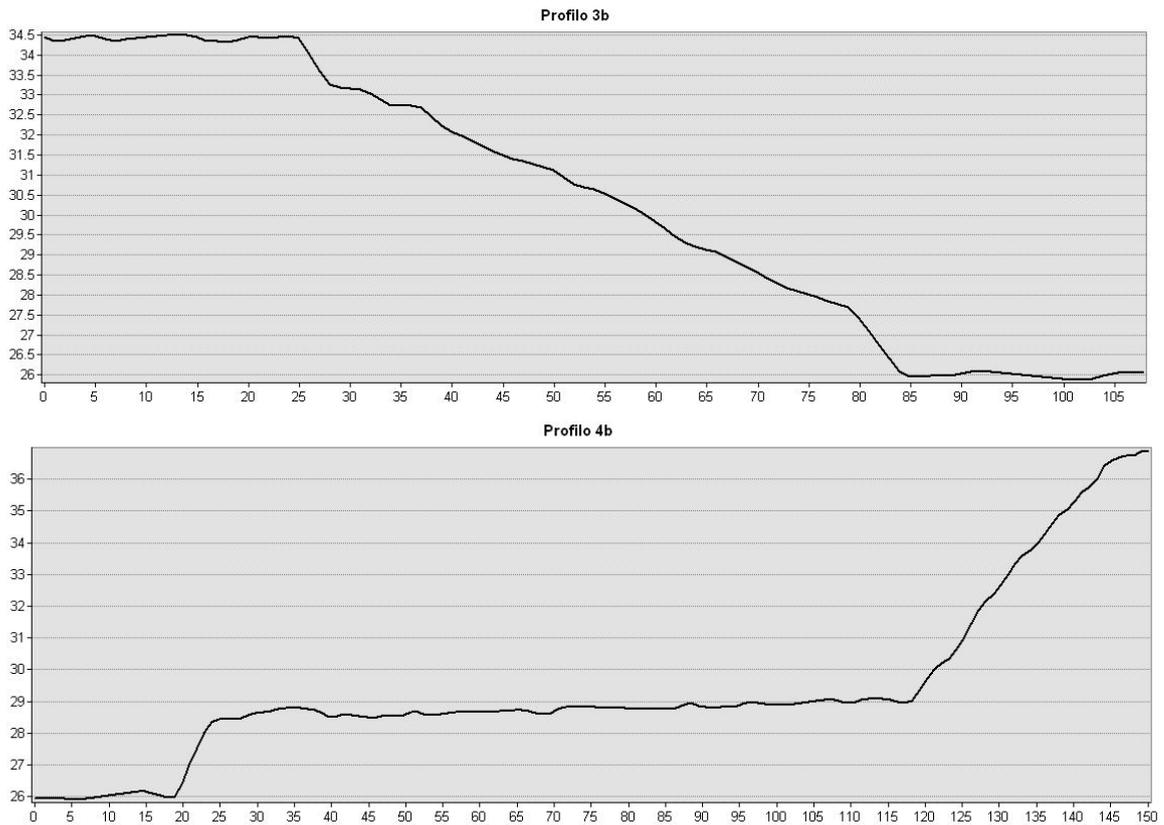


Figura 3 – Profili topografici delle due cave più profonde del comune di Villorba

3.3 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Il pericolo di liquefazione deve essere accertato in base alla possibilità di concomitanza di fattori scatenanti (caratteristiche dei terremoti attesi) e predisponenti (susceptibilità dei terreni).

Le linee guida nazionali prevedono che le *zone suscettibili di instabilità* della Carta di MS di Livello 2 siano la riproduzione fedele di quelle riportate nella Carta delle MOPS ovvero le Zone di Attenzione (ZA), in quanto in questo Livello non si richiedono ulteriori approfondimenti.

Si rimanda agli approfondimenti di III Livello la verifica alla liquefazione dei terreni.

4 Metodologie di elaborazione e risultati

4.1 INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATIVE: SENSORI IMPIEGATI

Misure HVSR

La strumentazione a disposizione per la misura della frequenza fondamentale è stata la seguente:

- una stazione sismica Dymas 24 a 6 canali dotata di GPS per il timing.
- Un sismometro a periodo T di 1 s, linearizzato elettronicamente, con dinamica superiore a 130dB.

Questa strumentazione è di classe superiore rispetto ai normali tromografi disponibili in commercio in virtù della maggiore affidabilità dei segnali nel segmento di bassa frequenza dello spettro di ampiezza (che è poi quello tipico dei microtremiti).

Per l'elaborazione dei dati geofisici è stata seguita la procedura consigliata nelle linee guida del SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations), un progetto di ricerca europeo condotto nel triennio 2003-2005 al fine di standardizzare e migliorare le tecniche di microzonazione sismica attraverso le misure del rumore ambientale. Preliminarmente alla procedura di analisi dei rapporti spettrali, le tracce sismiche registrate sono state verificate eliminando i disturbi transienti e quelle parti di registrazioni non adatte all'analisi. Una volta selezionata la parte di segnale stabile sono state calcolate, per ognuna delle tre componenti del moto, le ampiezze spettrali e gli spettri di potenza del "noise", procedendo successivamente, per il "rumore naturale", alla valutazione della distribuzione energetica in frequenza.

È stata inoltre eseguita la verifica dei criteri che permettono di definire il livello di affidabilità della misura e di identificare il picco significativo attraverso l'uso di test statistici opportuni.

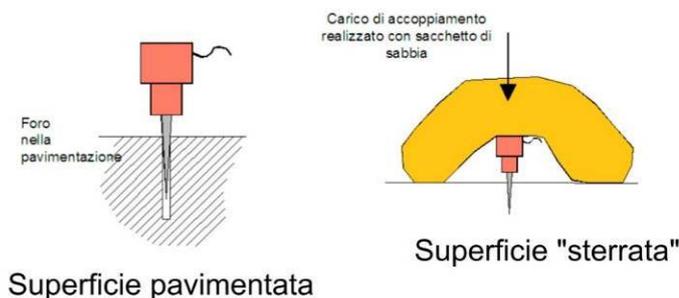


Figura 4 - Strumentazione per la misura della VS. Sismografo a 24 canali Geometrics GEODE (a sinistra). Schema di accoppiamento dei geofoni su pavimentazione (al centro) o su strada sterrata o in ghiaia (a destra).

Misure della Vs

Per la misura della Vs con la tecnica Remi è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 canali e 24 bit nella conversione A/D equipaggiato con sensori Oyo GEOSPACE a frequenza naturale di 4.5 Hz.

I geofoni sono stati stesi su terreno con spaziatura variabile da 2 m a 3 m e sono state effettuate sessioni di misura del rumore della durata di 30 s avvalendosi anche di una parziale energizzazione.

4.2 COMMENTO GENERALE ALLE MISURE DI V_{S30} E HVSR

Gli esiti delle indagini ReMi e HVSR sono riportati nelle schede agli allegati 17312_20171218_ALL01_00 (REMI) e all'allegato 17312_20171218_ALL02_00 (HVSR) ai quali si rimanda per una descrizione puntuale dei siti.

I valori sono descritti nella Carta delle frequenze fondamentali di risonanza e dell'amplificazione H/V (HVSR_17312_20171218_T02_00), nella Carta delle V_{S30} (VS30_15131_20151028_T03_00).

L'analisi della distribuzione della velocità delle onde di taglio e delle frequenze fondamentali dei terreni indica, per il territorio comunale in esame, una situazione abbastanza variegata. Questa differenziazione nella risposta sismica altro non è che l'immagine dell'assetto geologico stratigrafico del sito caratterizzato dalla presenza di spessori e tessiture variabili dei depositi di pianura.

Il valore di V_{S30} varia da 293 m/s a 555 m/s (considerando il complesso di dati della MS di Primo Livello e del Secondo Livello). I suoli di fondazione, secondo i dettami delle NTC 2008, ricadono quasi interamente nella classe B e solo due nella classe C.

	MS1+MS2	MS2
min	293	364
max	555	555
media	423	437
mediana	417	424
moda	420	411

Tabella 4 – Statistica dei valori delle misure di V_{S30} .

I valori di V_{S30} appaiono piuttosto sparsi, con valori che tendono a diminuire verso meridione. I dati statistici dei valori disaggregati, come si evince dalla Tabella 4, non differiscono molto tra di loro e per tale motivo si è optato per rappresentare l'intero set di dati.

Si tenga conto tuttavia che per lo studio di MS di Primo Livello si sono impiegati codici di calcolo e procedure differenti, con strumentazione di classe inferiore che può essere impiegata per la misura di V_{S30} solo quando si ha un buon controllo della sismostratigrafia locale, condizione non sempre verificata per il set di dati in questione.

Per quanto invece riguarda le frequenze fondamentali e la relativa ampiezza del rapporto H/V si osserva che diversi siti non possiedono frequenze di amplificazione.

Solo in qualche caso si è osservata la presenza di picchi ben definiti, potenzialmente riconducibili a rumore polarizzato.

In generale i picchi, qualora non determinati da sorgenti polarizzate, sono da attribuire alla presenza di interfacce elastico-acustiche che non hanno carattere di ubiquitarità e che possono

essere correlate solo su piccole distanze. I valori di ampiezza del rapporto H/V sono quasi sempre inferiori a 2. Ciò è probabilmente ascrivibile al ridotto contrasto di impedenza acustica degli orizzonti stratigrafici del substrato sedimentario. Si rileva inoltre come il rapporto H/V inferiore a 2 sia poco significativo in termini di amplificazione secondo le indicazioni del progetto Sesame. Quattro siti sono contraddistinti dalla presenza di una comune frequenza pari a 4.8 con analogo valore di amplificazione pari a circa 1.3 (HV_02, 06, 07, 09, vedi tabella seguente).

id sito	1° picco		2° picco	
	F ₀	A ₀	F ₁	A ₁
HV_01	0.823	0.12	1.755	1.1
HV_02	4.897	1.414		
HV_03	0.533	1.68	2.346	1.16
HV_04	/	/		
HV_05	/	/		
HV_06	4.796	1.38		
HV_07	0.622	1.7	4.846	1.28
HV_08	/	/		
HV_09	0.538	1.52	4.846	1.32
HV_10	2.05	1.35		
HV_11	/	/		
HV_12	/	/		

Tabella 5 – Distribuzione dei valori di H/V e F° - Approfondimento di II Livello

5 Elaborati cartografici

5.1 CARTA DELLE INDAGINI

La Carta delle Indagini per la Microzonazione Sismica di livello II deve contenere l'ubicazione delle indagini preesistenti ed eventualmente di quelle di nuova realizzazione.

Nel presente studio le indagini sono state distinte per tipo e profondità raggiunta; a ciascuna indagine è stato assegnato un codice identificativo univoco (Id) e attraverso il set di dati raccolto è stato popolato il data base digitale messo a disposizione dalla Protezione Civile Nazionale (SoftMS, vers. 4), secondo codifiche predeterminate. Le indagini pregresse e quelle realizzate ex-novo sono state distinte secondo la data di realizzazione, che è riportata nel data base.

Le indagini sono state rappresentate in forma simbolica secondo quanto previsto dagli *Standard di Rappresentazione informatica (Vers. 4.0b)*.

Il complesso di punti di indagine presenti sul territorio è suddiviso tipologicamente come segue:

INDAGINI PUNTUALI			
TIPO INDAGINE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE per MS	TOTALE
Geotecnica in sito	CPT	Penetrometrica statica	4
Geotecnica in sito	DN	Penetrometrica dinamica media	12
Geologia	SD	Sondaggio a distruzione di nucleo	22
Geologia	T	Trincea o pozzetto	15
Geofisica	HVSR	Microtremori a stazione singola	26

INDAGINI LINEARI			
TIPO INDAGINE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE per MS	TOTALE
Geofisica	REMI	REMI	20

Tabella 6 – Numero di indagini classificate per tipologia

5.2 CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DI RISONANZA E DELL'AMPLIFICAZIONE H/V

La carta è stata redatta tenendo conto delle indagini eseguite nello studio di MS di Secondo Livello. Sono stati rappresentati i picchi di frequenza con valore più elevato del rapporto H/V, escludendo i picchi secondari e i profili privi di un rapporto di amplificazione sufficientemente marcato.

5.3 CARTA DELLE V_{S30}

La Carta delle V_{S30} mostra una distribuzione prevalente di suoli nella classe B (e solo subordinatamente nella classe C).

L'interpolazione è stata ottenuta tenendo conto anche delle misure al contorno eseguite anche fuori del territorio comunale.

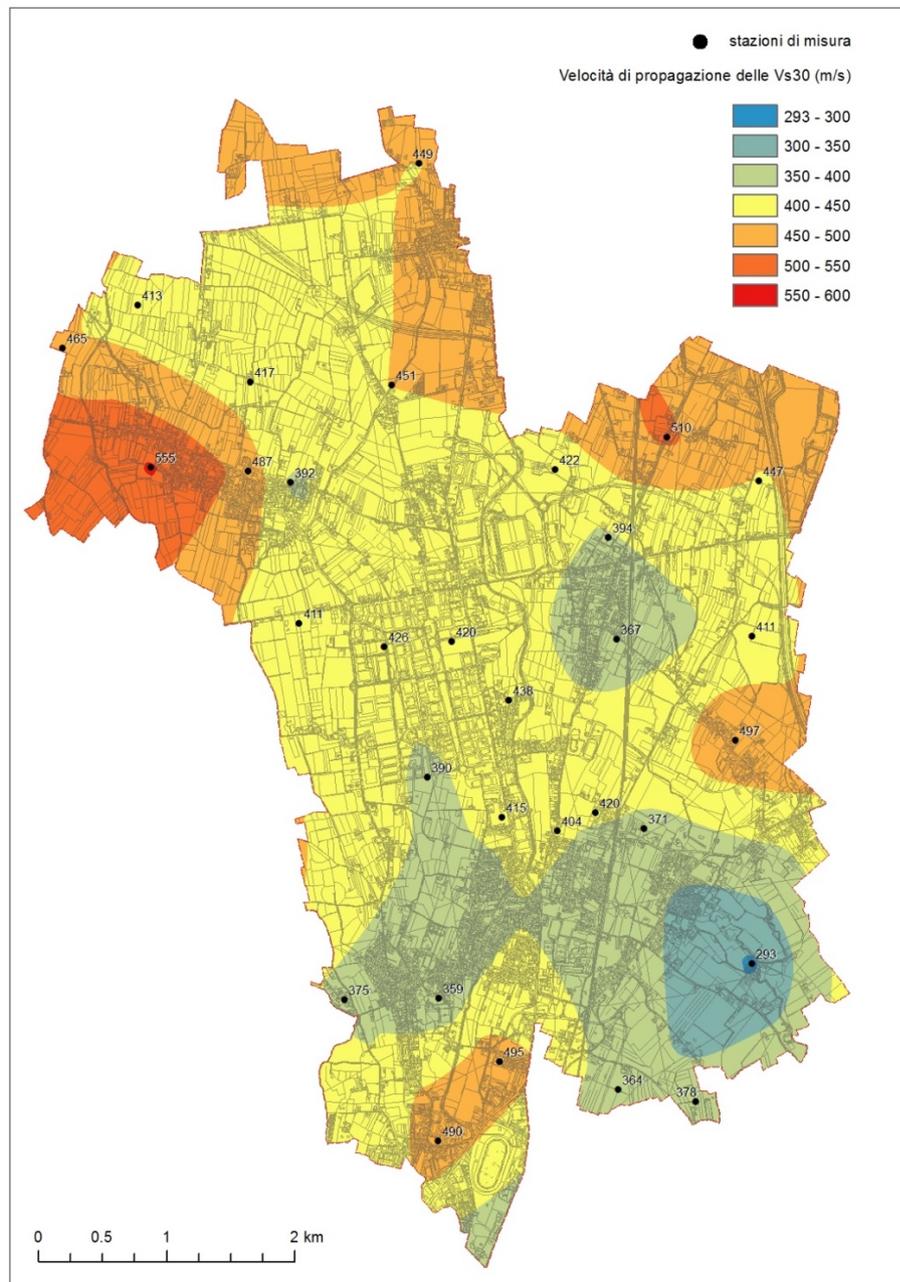


Figura 5 – Mappa di V_{S30} interpolata.

Si osserva una discreta variabilità dei valori di V_{s30} , enfatizzata probabilmente dall'impiego di due set di dati raccolti in due diverse fasi di studio e di diversa qualità. I valori più elevati (esclusi dalla carta) non sembrano apparentemente giustificati dalla natura del substrato e potrebbero essere dovuti a difficoltà di interpretazione del dato acquisito negli studi precedenti con misure a stazione singola (MS di Primo Livello) e non con sismografo e stendimenti geofonici di adeguata lunghezza impiegati per le misure di Secondo Livello.

Si osserva un trend di riduzione dei valori di V_s in accordo con la diminuzione della granulometria dei sedimenti a mano a mano che ci si allontana dai settori apicali dell'alta pianura.

5.4 CARTA DELLA MICROZONAZIONE SISMICA - LIVELLO II

La carta è stata costruita sulla base di 34 misure di V_{s30} (di cui 14 pregresse fornite dall'amministrazione comunale, Studio di MS di Primo Livello) integrate da altre misure condotte all'intorno, localizzate fuori carta. Tre di esse sono state escluse perché anormalmente elevate in rapporto al contesto geologico e al confronto con le stratigrafie disponibili.

Zone stabili suscettibili di amplificazione locale



1.1 - 1.2



1.3 - 1.4

Zone di attenzione per instabilità

Fattore di amplificazione FV



Zona di Attenzione per liquefazioni (1.1 - 1.2)



Zona di Attenzione per liquefazioni (1.3 - 1.4)



Zona di Attenzione per cedimenti differenziali



Zona di Attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti

Figura 6 – Legenda della Carta di MS di Secondo Livello del Comune di Villorba (Parametro FV).

Il grado di risoluzione è ovviamente funzione della densità dei dati e pertanto è consigliabile che in sede di interventi di espansione o di adeguamento nel centro abitato siano condotte specifiche indagini e analisi a norma delle NTC08 e s.m.i. e secondo le NTA del PAT e del PI.

L'intervallo dei valori di FA oscilla tra 0,93 e 1,04 considerando il solo contributo dell'amplificazione litostratigrafica (vedi Tabella 2). Attorno a due aree di cava esiste un buffer, rispettivamente di 14 e 20 metri, dove è presente un'amplificazione massima FA = 1.1.

L'intervallo dei valori di FV rappresentati in carta oscilla tra 1,14 e 1,43.

Sono stati cautelativamente rappresentati i valori di amplificazione FV, che sono risultati superiori a quelli FA.

Nella carta sono rappresentate due classi di amplificazione litostratigrafica e le zone di attenzione per le instabilità connesse a cedimenti (fondo delle cave) e liquefazione così come è stata definita nello Studio di MS Primo Livello (cfr. Figura 6).

6 Microzonazione di Terzo Livello

Il presente studio è stato oggetto di approfondimenti al Terzo Livello pur non trattandosi di uno studio di dettaglio applicato a singole aree di espansione, ma di un'analisi a scala comunale a fini pianificatori. Per questo motivo la relativa carta è stata realizzata in scala 1:10.000.

Gli approfondimenti di Microzonazione di Terzo Livello hanno riguardato l'intero territorio comunale e sono stati rivolti all'analisi della suscettibilità alla liquefazione e allo studio delle FAC.

6.1 PREMessa SULLE ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ

Le zone suscettibili di instabilità sono di tre tipi:

- Zone di Attenzione (ZA) negli studi per la Carta delle MOPS;
- Zone di Suscettibilità (ZS) negli studi per la Carta di MS;
- Zone di Rispetto (ZR) negli studi di per la Carta di MS.

Concettualmente, il significato dei tre tipi di zone è il seguente:

- Zone di Attenzione (ZA): sono zone nelle quali i dati a disposizione indicano la presenza di condizioni predisponenti l'instabilità in esame, ma non sono sufficienti, in quantità e tipologia, per definire se l'instabilità possa effettivamente verificarsi in caso di evento sismico; è possibile, tuttavia, ad esempio attraverso la consultazione di inventari, stabilire la presenza e/o l'accadimento di eventuali fenomeni in occasione di eventi sismici passati. Resta comunque l'opportunità di produrre, anche in questa fase, dati originali in situ e in laboratorio, se le informazioni disponibili non sono sufficienti.
- Zone di Suscettibilità (ZS): sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte semplificati (per permettere un'applicazione dei risultati a un'area estesa), è possibile fornire una stima quantitativa della pericolosità.
- Zone di Rispetto (ZR): sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte avanzati (per analizzare dettagliatamente aree limitate e/o particolarmente importanti), è possibile quantificare in modo affidabile la pericolosità.

C1	C2	C3	IL	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Si	Si	Si	-	Z _A LQ (Zona di Attenzione)	MOPS	1
Si	Si	Si	2 < IL ≤ 15	Z _S LQ (Zona di Suscettibilità alla liquefazione)	MS	3 (in alcune condizioni geologiche livello 2, limitatamente per a _{max})
Si	Si	Si	> 15	Z _R LQ (Zona di Rispetto)	MS	3

Tabella 7 - Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone (Linee Guida LQ, 2017)

La differenza tra Zona di Suscettibilità e Zona di Rispetto, al termine dello studio, è data, oltre che dall'applicazione dei metodi diversi di analisi ("avanzati" in ZR), dal diverso livello di pericolosità (più elevato nella ZR), espresso attraverso uno specifico parametro descrittivo dell'instabilità considerata (faglia attiva e capace, liquefazione, fenomeno franoso).

7 Analisi della suscettività alla liquefazione

7.1 DESCRIZIONE DEL FENOMENO FISICO E DELLE ZONE DI LIQUEFAZIONE

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione in campo libero, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti ($M_w \geq 5$), che hanno come elemento comune, per effetto dell’instaurarsi di condizioni non drenate, un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno.

In particolare, in relazione alla geometria del problema, si definisce:

- **Liquefazione in campo libero** (free field liquefaction) il fenomeno di instabilità in assenza sforzi di taglio statici di taglio statici.

In relazione alla severità dell’evento e nel caso in cui siano presenti sforzi di taglio statici, si definiscono:

- **Mobilità ciclica** (cyclic mobility) il fenomeno di instabilità in presenza sforzi taglio statici di entità inferiore alla resistenza al taglio post entità inferiore alla resistenza al taglio post-sisma;
- **Fluidificazione** (flow liquefaction) il fenomeno di instabilità in presenza sforzi taglio di entità superiore alla resistenza al taglio post-sisma.

In relazione alla severità dell’evento ed alle condizioni geometriche e di stato tensionale iniziale, gli effetti della liquefazione possono essere molto diversi.

In condizioni free field in genere prevalgono i fenomeni del tipo indicato di seguito:

- crateri, vulcanelli, fuoriuscite di acqua e sabbia;
- grandi oscillazioni e rotture del terreno;
- abbassamenti e sollevamenti del terreno.

La severità di questi fenomeni cresce al crescere dell’intensità sismica, dell’estensione della zona soggetta a liquefazione e al ridursi della soggiacenza della falda.

In presenza di sforzi di taglio statici prevalgono invece fenomeni del tipo indicato di seguito:

- movimenti orizzontali del terreno (lateral spreading);
- movimento di masse fluide/collasso di pendii naturali e artificiali;
- perdita di capacità portante delle fondazioni;
- galleggiamento di opere sotterranee;
- collasso di opere di sostegno e banchine portuali.

La liquefazione intesa in senso stretto (fluidificazione o soliflussione) causa effetti significativamente più severi di quelli osservabili nel caso di mobilità ciclica.

7.2 MODALITÀ DI COSTRUZIONE DELLA CARTA DI MS - LIVELLO 3 (FASE 1 DELLE LINEE GUIDA LQ)

Secondo quanto previsto dalle *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ), versione 1.0*, sono state condotte indagini nelle ZA_{LQ} definite in fase di

Microzonazione di Primo Livello per arrivare alla realizzazione della Carta di MS -livello 3 (ZS_{LQ} -Zone di Suscettibilità alla liquefazione)

Nella Carta di MS (livello 3) è necessaria una raccolta dati specifica e possono essere applicati metodi di analisi il più delle volte semplificati, al fine di produrre stime quantitative della pericolosità.

La carta è stata costruita con l'acquisizione dei risultati delle prove geofisiche (ReMi) condotte specificatamente per gli studi di MS.

Attraverso l'analisi dei dati ReMi è stato possibile raggiungere i seguenti obiettivi:

- stimare l'amplificazione per mezzo di abachi di amplificazione litostratigrafica;
- definire con dati più accurati la geometria della zona nella quale è possibile il verificarsi della liquefazione;
- attribuire per quella zona, con analisi semplificate, un Indice di potenziale di Liquefazione medio (IL), ripartito in quattro classi:

IL	Classi
$0 < IL \leq 2$	Nulla- Basso
$2 < IL \leq 5$	Moderato
$5 < IL \leq 15$	Alto
$IL > 15$	Molto Alto

Tabella 8 - Indice del potenziale di Liquefazione medio (IL) e relativa classificazione (Linee Guida LQ, 2017)

- stimare le incertezze dei risultati ottenuti dalle indagini in situ e dei metodi di analisi della suscettibilità;
- definire le aree di ZS_{LQ} ($2 < IL \leq 15$) e di ZR_{LQ} ($IL > 15$).

Le zone per le quali nel livello 1 si sono verificate le condizioni per la liquefazione e per le quali le verticali analizzate con analisi semplificate hanno un IL maggiore di 2 e inferiore o uguale a 15, sono Zone di Suscettibilità alla liquefazione (ZS_{LQ}), a loro volta distinte nella rappresentazione cartografica in zone a media ($2 < IL < 5$) e alta pericolosità ($5 < IL < 15$).

In questa fase non sono state identificate aree con IL maggiore di 15.

7.3 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Trattandosi di uno studio a carattere pianificatorio su aree vaste e non di tipo esecutivo su singoli lotti di espansione, non era tecnicamente ed economicamente possibile realizzare una campagna di penetrometrie e carotaggi secondo le linee guida regionali. E' stato pertanto impiegato un approccio che comprende l'analisi dei profili di velocità delle onde di taglio e l'interpretazione delle prove penetrometriche disponibili (sia da studi precedenti che reperite ad hoc), secondo i quali definire l'indice del potenziale di liquefazione medio, rimandando alle specifiche e puntuali analisi sulle verticali dei siti oggetto di espansione urbanistica secondo quanto previsto dalla NTC2008 e dalle Linee Guida LQ, 2017.

7.3.1 Liquefazione

I fenomeni di liquefazione dei terreni avvengono frequentemente in depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi poco addensati, a granulometria uniforme, normalmente e sotto-consolidati, e saturi. Durante la fase di carico, le sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un evento sismico, possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare le tensioni efficaci (dovute al carico dei sedimenti soprastanti). Viene così annullata la resistenza al taglio del terreno secondo il principio delle pressioni efficaci di Terzaghi, e si assiste così a un fenomeno di fluidificazione del suolo.

È sufficiente che sia verificata l'esistenza di 4 condizioni predisponenti (AGI, 2008):

1. terreni sabbiosi
2. falda a profondità inferiore a 15 m
3. Mw attesa al sito >5
4. Accelerazioni massime in superficie (PGA) >0.1 g.

Nell'area del Comune di Villorba i depositi francamente sabbiosi non sono frequenti mentre si trovano sedimenti spesso ghiaiosi, di spessore variabile e intercalati con termini a granulometria più fine in percentuali variabili; la variabilità tessiturale non consente di escludere la presenza di livelli liquefacibili.

La falda si trova a profondità variabili; a sud è molto prossima al piano campagna (intervallo 0-2 m).

L'Mw attesa al sito è superiore a 5.

Le accelerazioni massime in superficie (PGA) sono comprese tra circa 0,15 e 0,20 g.

Pertanto, essendo tutte e quattro le condizioni verificate, si è resa necessaria un'indagine di approfondimento.

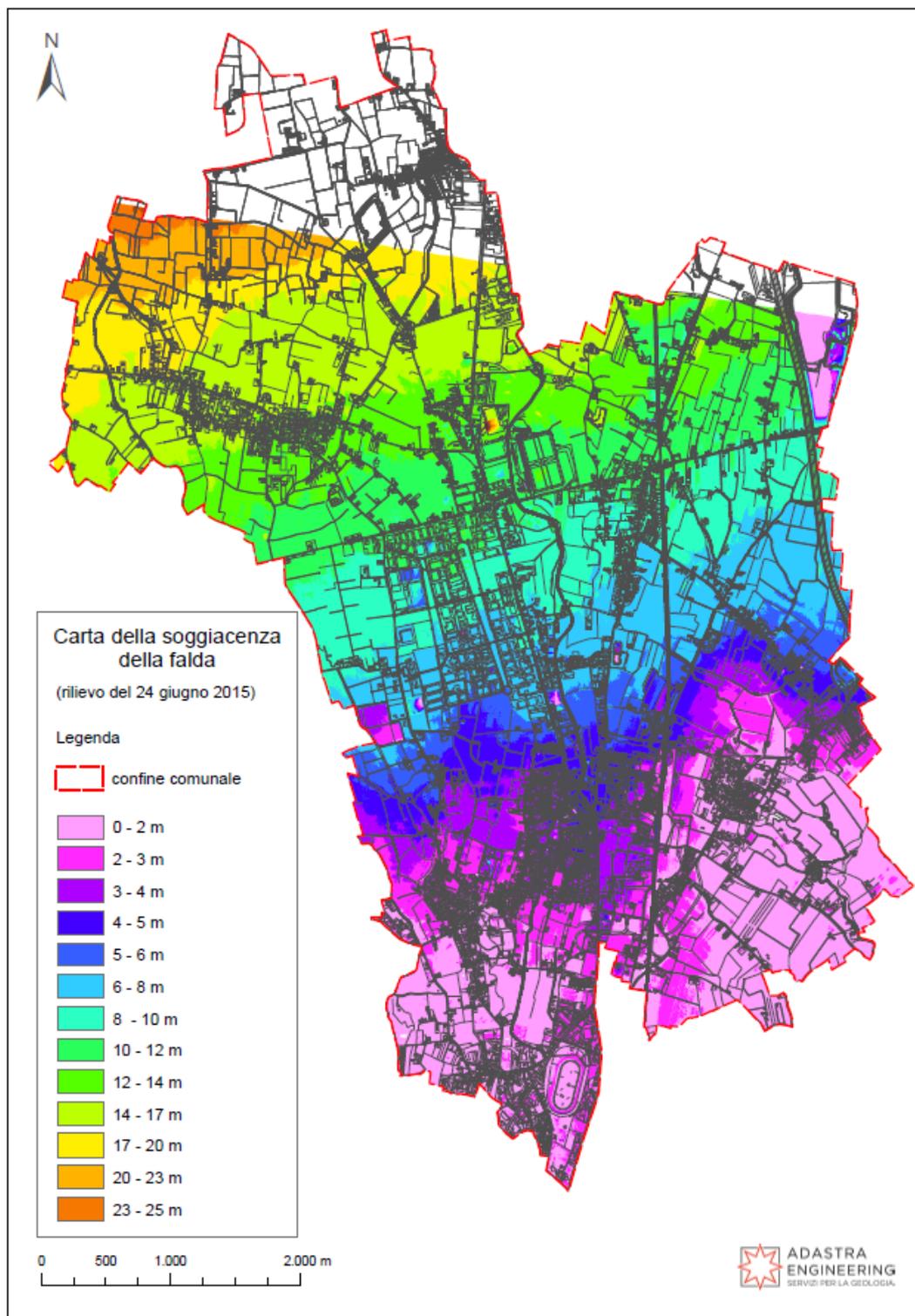


Figura 7 – Carta della soggiacenza della falda del Comune di Villorba (elaborazione originale Adastra Eng.).

7.3.2 Analisi delle Vs ai fini della liquefazione

È stata condotta un'analisi dei profili di V_{s30} applicando il metodo di verifica alla liquefazione basato sull'esame delle onde di taglio Vs. La validità del metodo è assicurata dal fatto che sia la Velocità Vs e sia la resistenza alla liquefazione CRR sono determinate dai medesimi fattori (ad esempio: rapporto dei vuoti, stato di sforzo, storia dello sforzo, età geologica, ecc.). Inoltre, le Vs assicurano ulteriori vantaggi che possono essere così riassunti:

- contrariamente alle CPT, le misure di Vs sono possibili su qualunque tipo di substrato, sia soffice che addensato, consolidato o ghiaioso;
- la Vs è una proprietà meccanica intrinseca del suolo direttamente correlata al modulo di rigidità;
- la misura di Vs interessa un volume medio di terreno risultando maggiormente rappresentativa del sottosuolo ai fini della pianificazione;
- nella fase di realizzazione dello studio di MS viene solitamente eseguita una campagna di rilievi ReMi/MASW sufficientemente estesa all'intero territorio comunale consentendo un'adeguata rappresentazione dei parametri elastici, mentre di solito non vi è una paragonabile densità di prove geognostiche disponibili.

Sono state proposte numerose procedure semplificate per calcolare la resistenza alla liquefazione di un suolo granulare usando la velocità delle onde di taglio (Robertson *et al.*, 1992; Robertson e Write, 1997; Andrus e Stoke, 1997 e 2000; Andrus *et al.*, 2003 e 2004, Kayen *et al.*, 2013).

Esistono diversi grafici di correlazione CSR/V_{s1} fondate su banche dati che hanno esaminato decine di casi di siti che hanno subito liquefazione.

In tali studi la velocità Vs è corretta dalla sovrappressione usando l'equazione:

$$V_{s1} = V_s C_{Vs} = V_s (P_a / \sigma'_v)^{0.25}$$

Dove

V_{s1} = velocità delle onde di taglio corretta della sovrappressione;

V_s = velocità delle onde di taglio misurate in situ;

P_a = pressione atmosferica approssimativamente pari a 100 kPa

σ'_v = pressione effettiva alla stessa unità di misura di Pa

(secondo Scora, 1987, Kayen *et al.*, 1992; Robertson *et al.*, 1992; Kayen *et al.*, 2013)

Nella figura seguente il grafico tratto da Kayen *et al.*, 2013 mostra come la V_{s1} cambi in rapporto al CSR per valori variabili di Mw da 5.5 a 8.5.

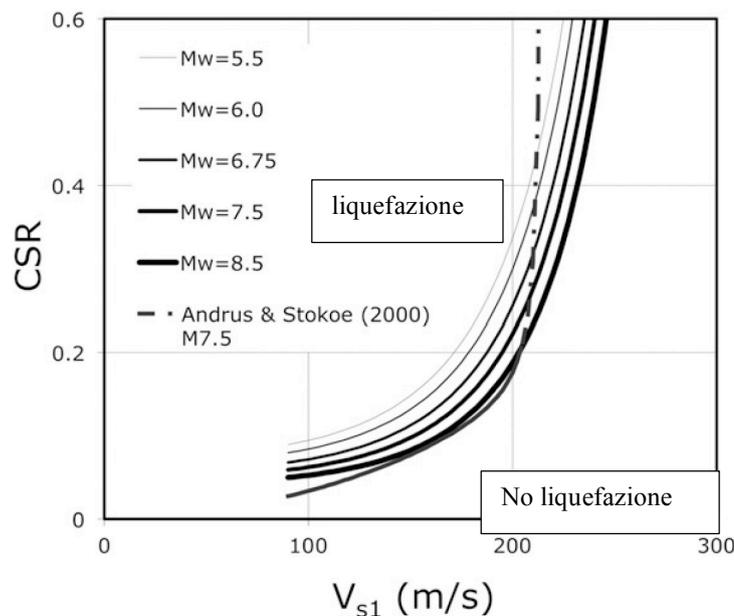


Fig. 6. Correlation curves for magnitudes 5.5–8.5 ($P_L = 15\%$; $\sigma'_{vo} = 100$ kPa)

Figura 8 – Curve di correlazione CSR/ V_{s1} secondo Kayle *et al.*, 2013.

Da questa figura si evince come, in condizioni predisponenti alla liquefazione (secondo i parametri Mw, granulometria, profondità della falda, ecc.), per valori di $V_{s1} > 215$ m/s non si abbia liquefazione (con relativamente bassi valori di CSR). Poiché secondo Kayen *et al.* (2013) per depositi superficiali si stabilisce che C_{vs} sia da considerare al massimo 1,5, ne consegue che il limite inferiore di V_s sia pari a: 143 m/s. Considerando tuttavia in via cautelativa un CVS pari a 1 (tenuto conto che il contributo principale alla liquefazione si trova in corrispondenza della fascia 0-5 m) il valore di V_s risulta comunque pari a circa 210 m/s. Per il presente studio si è utilizzato un valore di soglia prudenziale pari a 220 m/s.

L'analisi dei profili di V_s ha permesso di riconoscere solo per alcuni siti valori inferiori a 220 m/s e limitatamente ai primi due metri di profondità. Il valore minimo è risultato pari a 160 m/s.

Si è quindi applicato per questi valori il metodo semplificato di Andrus e Stokoe (1997) modificato.

Sono stati cautelativamente utilizzati i seguenti parametri d'ingresso:

- $\gamma = 1.9$
- profondità falda = 0,1 m
- $V_s = 160$ m/s
- $M = 5,5$
- $F_c < 5\%$
- $A_{max} = 0.20$

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE				
(da prove sismiche a rifrazione)				
Metodo semplificato				
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato				
PARAMETRI:				
γ	=	1.9	g/cm ³	
σ_{vo}	=	0.38	kg/cm ²	
σ'_{vo}	=	0.1801	kg/cm ²	
profondità della prova	=	200	cm	
profondità falda	=	0.1	cm	
γ_{s20}	=	1	g/cm ³	
Pressione neutra	=	0.1999	kg/cm ²	
z	=	2	m	
V_s	=	160	m/s	
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5% 220
				FC=20% 210
				FC>35% 200
V_{s1}	=	245.61		
M	=	5.5		
MSF	=	2.78	se M<7.5	
		2.21	se M>7.5	
FORMULE:			RISULTATI:	
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0.25}$		245.61
V_{s1}				V_{s1}
R	=	$0.03 \cdot (V_{s1}/100)^2 \cdot (0.9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0.9/V_{s1c})$	=	0.141732157
R				R
T	=	$0.65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) \cdot r_d \cdot 1/MSF$	se M<7.5	0.083481713
T			se M>7.5	0.105057033
a_{max}/g	=	0.2		
r_d	=	0.847		
$F_s=R/T$	>	1	se M<7.5	1.697762919
$F_s=R/T$			se M>7.5	1.349097275
				Verificato F_s
				Verificato F_s
"Software Freeware distribuito da geologi.it" Studio Geologico Dott. Sebastiano Giovanni Monaco Via Torrente Trapani n. 13 - MESSINA (ME) - 98121 - E mail: sg.monaco@libero.it - Tel: 3394103820				

Figura 9 – Software di valutazione della liquefazione secondo Andrus e Stokoe, 1997 (modificato); ©S.B. Monaco, Messina.

La maggior parte dei profili di Vs disponibili hanno dato un $F_s > 1$; solo in due casi, nel settore meridionale del comune, dove prevalgono le granulometrie più fini e la falda è superficiale, F_s è risultato inferiore a 1.

7.4 MODALITÀ DI COSTRUZIONE DELLA CARTA DI MS - LIVELLO 3 (FASE 2 DELLE LINEE GUIDA LQ)

Si è quindi proceduto con la seconda fase di indagini di approfondimento, normalmente previste per la discriminazione e la definizione più puntuale delle ZR_{LQ} (Zone di Rispetto per la liquefazione) nella Carta di MS - livello 3.

Nel caso specifico del comune di Villorba sono state considerate con maggior attenzione le aree del quadrante meridionale, poiché qui sono presenti le condizioni maggiormente predisponenti alla liquefazione in quanto: a) la falda è prossima al piano campagna; 2) sono presenti con maggior frequenza terreni con frazione fine; 3) sono state identificate le uniche zone di suscettibilità alla liquefazione sulla base dell'analisi dei profili di Vs.

Per quantificare in modo affidabile la pericolosità sono stati applicati metodi avanzati conseguendo i seguenti obiettivi:

- rivalutare IL medio ove fossero disponibili CPT sulle quali eseguire la verifica alla liquefazione;
- stimare le incertezze dei risultati ottenuti dalle indagini in situ e delle analisi.

L'analisi dei dati ha permesso di identificare aree nelle quale le verticali analizzate con metodi dinamici hanno fornito un IL medio maggiore di 15, che pertanto sono state perimetrate come Zone di Rispetto (ZR_{LQ}).

Le aree nelle quale le verticali analizzate con metodi dinamici hanno dato un IL medio minore o uguale a 15, sono state perimetrate come Zone di Suscettibilità alla liquefazione (ZS_{LQ}).

Per la valutazione dei possibili effetti sulle opere antropiche di interesse e per attuare i possibili interventi per la mitigazione del rischio si rimanda invece alle fasi esecutive degli interventi previsti dagli strumenti di pianificazione comunale e alla progettualità definitiva, quando sarà disponibile.

7.4.1 Analisi delle penetrometrie ai fini della liquefazione

L'Indice IL è stato calcolato per diversi siti per i quali erano disponibili penetrometrie, anche utilizzando il precedente Studio di MS di Primo Livello dove erano state condotte alcune verifiche alla liquefazione applicando il metodo Seed & Idriss, 1971.

I valori ottenuti hanno permesso di classificare il territorio in base alle classi di IL, secondo la legenda seguente:

IL	Classi
$0 < IL \leq 2$	Nulla- Basso
$2 < IL \leq 5$	Moderato
$5 < IL \leq 15$	Alto
$IL > 15$	Molto Alto

verticale	prof	dz	Fs	F	W(z)	IL	IL
Indagine 7	1.5	1.5	0	0	9.25	0	0
	2.4	0.9	0	0	8.8	0	
	4	1.6	1.092	0	8	0	

verticale	prof	dz	Fs	F	W(z)	IL	IL
Indagine 51	0.8	0.8	0	0	9.6	0	7.8
	2	1.2	0	0	9	0	
	3.2	1.2	0	0	8.4	0	
	5.2	2	0.538	0.462	7.4	6.8376	
	6.1	0.9	0.839	0.161	6.95	1.007055	

verticale	prof	dz	Fs	F	W(z)	IL	IL
Indagine 06	2.5	2.5	0.907	0.093	8.75	2.034375	16.1
	3.7	1.2	0.0874	0.9126	8.15	8.925228	
	5.4	1.7	0.587	0.413	7.3	5.12533	

verticale	prof	dz	Fs	F	W(z)	IL	IL
Indagine 13	0.9	0.9	0	0	9.55	0	3.3
	1.3	0.4	0	0	9.35	0	
	2.5	1.2	0	0	8.75	0	
	3.9	1.4	0.703	0.297	8.05	3.34719	

verticale	prof	dz	Fs	F	W(z)	IL	IL
Indagine 11	1	1	0	0	9.5	0	22.1
	1.7	0.7	0	0	9.15	0	
	2.9	1.2	0.156	0.844	8.55	8.65944	
	3.9	1	0.23	0.77	8.05	6.1985	
	5.3	1.4	0.387	0.613	7.35	6.30777	
	5.7	0.4	0.686	0.314	7.15	0.89804	

verticale	prof	dz	Fs	F	W(z)	IL	IL
Indagine 12	0.5	0.5		0	9.75	0	3.3
	1.5	1		0	9.25	0	
	2.9	1.4		0	8.55	0	
	3.3	0.4		0	8.35	0	
	4.5	1.2	0.641	0.359	7.75	3.3387	
	4.9	0.4		0	7.55	0	

verticale	prof	dz	Fs	F	W(z)	IL	IL
Indagine 09	1.3	1.3		0	9.35	0	3.3
	2.2	0.9		0	8.9	0	
	3.1	0.9		0	8.45	0	
	3.7	0.6		0	8.15	0	
	4.6	0.9	0.526	0.474	7.7	3.28482	
	5.3	0.7	2.591	0	7.35	0	

verticale	prof	dz	Fs	F	W(z)	IL	IL
Indagine 10	1.2	1.2			9.4	0	4.3
	3.3	2.1	0.82	0.18	8.35	3.1563	
	6.3	3	2.129	0	6.85	0	
	7.5	1.2	0.848	0.152	6.25	1.14	

verticale	prof	dz	F _s	F	W(z)	IL	IL
Indagine 01	0.5	0.5		0	9.75	0	4.3
	1.2	0.7		0	9.4	0	
	2.4	1.2		0	8.8	0	
	2.8	0.4	0.783	0.217	8.6	0.74648	
	3.1	0.3	0.279	0.721	8.45	1.827735	
	3.8	0.7	0.687	0.313	8.1	1.77471	
	4.5	0.7		0	7.75	0	
	5.5	1		0	7.25	0	
	7.9	2.4		0	6.05	0	

verticale	prof	dz	F _s	F	W(z)	IL	IL
REMI 8	2	2	0.604	0.396	9	7.128	19.5

verticale	prof	dz	F _s	F	W(z)	IL	IL
REMI 19	2	2	0.311	0.689	9	12.402	12.4

Tabella 9 – Calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione. Sono riportate le sole penetrometrie e i profili di Vs per i quali IL>0. (fonte: dati originali e da Studio di MS 1 del Comune di Villorba).

E' importante ricordare come l'estrema difformità del substrato determini di conseguenza anche una suscettività alla liquefazione molto variabile, anche su corte distanze. Nei casi in cui le CPT disponibili dessero terreni non liquefacibili prossimi a terreni liquefacibili, si è considerata nel presente studio la prova più cautelativa.

7.4.2 Criticità e limitazioni

E' necessario tener conto delle limitazioni di tale approccio.

Nel caso dell'analisi di Vs sono stati considerati i valori medi su intervalli di 2 metri con punti di misura distribuiti arealmente sull'intero territorio comunale in numero rappresentativo per uno studio volto alla pianificazione. Benché in questa fase non siano state utilizzate anche le analisi pregresse, i valori di Vs₃₀ erano genericamente compatibili con terreni non liquefacibili.

Nel caso delle prove CPT non tutte hanno raggiunto la profondità di 15 m e il grado di definizione è commisurato alla disponibilità di dati geognostici pregressi forniti dal Comune o disponibili presso l'affidatario.

Pertanto lo studio non può comprendere eventuali specifiche e limitate condizioni locali che dovranno essere valutate di volta in volta secondo la normativa vigente e in funzione delle specifiche destinazioni d'uso del sito.

7.5 DISCIPLINA D'USO DEL SUOLO IN ZONE DI LIQUEFAZIONE

7.5.1 Individuazione delle categorie di aree urbanistiche interessate da liquefazione

La pianificazione urbanistica e territoriale in zone interessate dalla presenza di liquefazione è chiamata a disciplinare gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione urbana, tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi.

Nell'ambito degli strumenti di pianificazione urbanistica, gli studi di MS, ai vari livelli, come definiti negli ICMS (2008), sono integrati con quanto specificato dalle Linee Guida LQ, 2017.

Al fine di definire tale disciplina, si farà riferimento convenzionalmente a tre categorie di aree urbanistiche:

- Aree edificate (recenti o consolidate)
- Aree non edificate (con previsione di trasformazione)
- Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata

Ciascuna delle tre categorie di aree è definita da specifici caratteri insediativi, infrastrutturali e di destinazione d'uso la cui relazione con la presenza di ZA_{LQ} , ZS_{LQ} e ZR_{LQ} va sottoposta a specifiche normative.

In particolare le tre categorie di aree urbanistiche possono essere definite nel modo seguente:

Aree edificate (recenti o consolidate)

Aree urbanizzate ed edificate di diverso livello di completamento, consolidamento e stratificazione. Comprendono centri storici, tessuti consolidati, aree in completamento con usi residenziali, produttivi, a servizio o misti.

Aree non edificate (con previsione di trasformazione)

Aree non edificate, parzialmente edificate o con previsione di nuovi insediamenti (residenziali, produttivi, a servizi o misti) di manufatti edilizi, di infrastrutture e reti. Tali aree possono trovarsi sia in adiacenza ad aree edificate, sia in contesti ancora non urbanizzati.

Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata

Aree non edificabili o con limitate previsioni di edificabilità, sia per destinazione d'uso (aree agricole), che per la presenza di vincoli e forme di tutela.

Queste tre categorie vanno riferite alle previsioni dello strumento di piano vigente e alle sue effettive condizioni di attuazione.

7.5.2 Disciplina d'uso in zone suscettibili alla liquefazione

I criteri definiti per indirizzare la disciplina d'uso del suolo in zone suscettibili alla liquefazione devono tener conto di due fattori:

- l'instabilità da liquefazione può interessare aree relativamente vaste del territorio (interessando talvolta anche il territorio di un intero comune);
- a differenza di altre forme di instabilità è possibile mettere in atto interventi puntuali di riduzione della pericolosità, attraverso interventi diretti sul suolo, e della vulnerabilità, attraverso interventi sull'edificio (come illustrato nell'Appendice A3).

Tenuto conto di questo, la disciplina degli usi del suolo e delle previsioni di trasformazione nelle zone di liquefazione viene articolata in due tipi di indicazioni:

- indicazioni urbanistiche, che definiscono possibili regolamentazioni dallo strumento urbanistico anche in termini di categorie di intervento e di destinazioni d'uso e modalità attuative;
- indicazioni edilizie, che definiscono per l'edilizia esistente e di nuova costruzione, con riferimento alla normativa tecnica antisismica, quali categorie di intervento sono possibili e su quali classi d'uso.

Con riferimento alle tre categorie di aree urbanistiche sopra definite e alle zone di liquefazione in cui esse ricadono, viene proposto un abaco di diverse tipologie di indirizzi (Tabella B1, Linee Guida LQ, 2017).

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di liquefazione	Z _{ALQ}	Obbligo di approfondimento (5.1.1)	Obbligo di approfondimento (5.2.1)		Programma Infrastrutture (5.3)
	Z _{SLQ}	Programma Zone Instabili (5.1.2)	Intervento limitato (5.2.2)		
	Z _{RLQ}				

Tabella B1 - Indicazioni urbanistiche (fra parentesi i riferimenti ai paragrafi)

Figura 10 - Tabella B1 (Linee Guida LQ, 2017)

7.5.3 Aree edificate (recenti o consolidate),

Per le Z_{SLQ} e Z_{RLQ}, nelle **Aree edificate (recenti o consolidate)**, le amministrazioni locali nell'ambito dei propri strumenti di pianificazione urbanistica e secondo le prescrizioni e gli indirizzi dei soggetti sovraordinati, individuano e perseguono uno o più obiettivi per il Programma Zone Instabili (PZI), assumendone i contenuti nelle forme opportune, al fine di mitigare le condizioni di rischio. Il PZI rappresenta un programma d'intervento complesso in cui vengono definiti obiettivi e

ambiti di intervento, fattibilità e modalità attuative. Il PZI riguarda più in generale tutte le aree suscettibili di instabilità.

L'assenza di un PZI determina la stessa disciplina d'uso prevista per le ZA_{LQ}, esiste cioè l'obbligo di approfondimento. In tal caso nelle **Aree edificate (recenti o consolidate)**, per interventi di nuova edificazione (nei lotti vuoti) e per interventi sull'edificato esistente, devono essere espletati i necessari approfondimenti geologici e geotecnici, propri del Livello 3 di MS, al fine di individuare le ZS_{LQ} e le ZR_{LQ}, oppure, per interventi puntuali, gli approfondimenti previsti dalla normativa tecnica vigente.

L'assenza di approfondimento determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento o di adeguamento e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

Tabella 10 - Disciplina d'uso per le Aree edificate (recenti o consolidate), (Fonte: Linee Guida LQ, 2017)

7.5.4 Aree non edificate (con previsione di trasformazione) e Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata, ricadenti in ZS_{LQ} e in ZR_{LQ}.

Per tali aree è prevista la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento o di adeguamento e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
Nuova costruzione	Limitato	E' consentita la nuova edificazione con interventi obbligatori di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).

Tabella 11 - Aree non edificate (con previsione di trasformazione) e Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata (Fonte: Linee Guida LQ, 2017)

7.5.5 Programma Infrastrutture

Per le infrastrutture, le opere connesse a sistemi infrastrutturali e, più in generale le *lifelines* in programma di realizzazione, deve essere favorita la delocalizzazione. Se preesistenti, o non delocalizzabili, deve essere predisposto uno specifico programma, eventualmente nell'ambito del Programma Zone Instabili, per essere sottoposte a verifica, prevedendo specifici approfondimenti conoscitivi e interventi finalizzati alla minimizzazione dei rischi.

8 Analisi delle FAC - Faglie attive e capaci

L'Italia è una delle zone più attive del Mediterraneo, in termini di tettonica attiva e sismicità. Molti terremoti storici hanno avuto effetti catastrofici (ad esempio: i terremoti del 1693 in Sicilia orientale, 1783 in Calabria, 1805 a Bojano, 1908 a Messina e 1915 nel Fucino) raggiungendo intensità MCS di XI grado (Magnitudo circa o leggermente superiore a 7). Studi paleosismologici hanno consentito di caratterizzare le faglie responsabili di molti di questi terremoti, dimostrando che le dislocazioni tardo pleistoceniche-oloceniche hanno interessato molte strutture prima considerate silenti.

Il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (*ITaly HAzard from Capable faults*) che prevede la realizzazione di un database creato per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie (<http://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/suolo-e-territorio>).

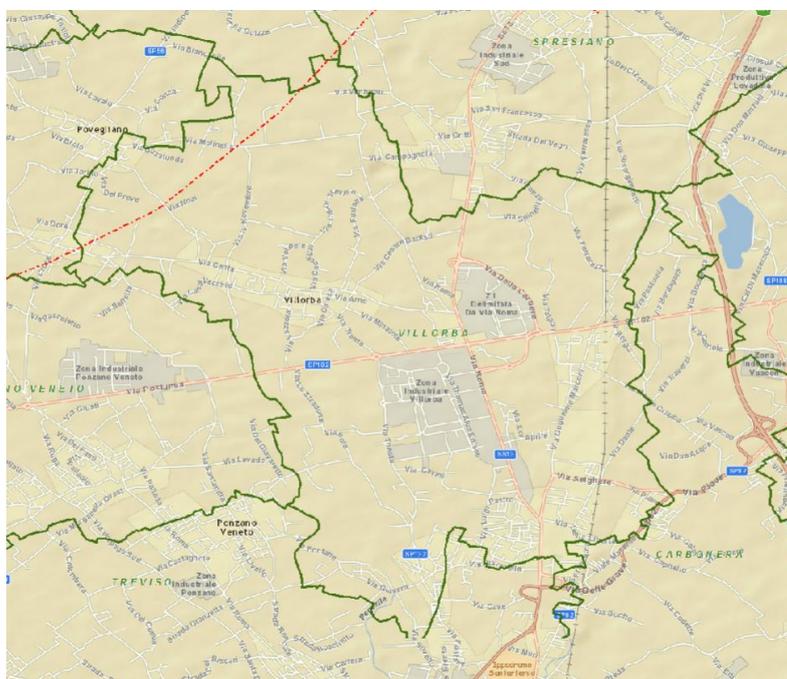


Figura 5 - Carta estratta per il Comune di Villorba (DB ITHACA, Portale del Servizio Geologico d'Italia – Ispra).

Lo studio di I livello tra gli *elementi tettonico-strutturali* individua come faglia capace la *Linea di Sacile*, catalogata dal Progetto ITHACA. Si tratta di una *faglia inversa*, la cui traccia ha direzione media NE-SW e passa nella zona settentrionale del Comune, a nord est di Villorba.

Per tale faglia non sono disponibili allo stato attuale studi sufficientemente accurati che consentano di definire la traccia planimetrica dell'intersezione del piano (o dei piani) di faglia con la superficie o che permettano di stabilire se effettivamente si tratti di una faglia capace. Infatti una

faglia è detta capace se raggiunge la superficie producendo una frattura del terreno e l'andamento di questa rottura in superficie è la traccia superficiale della faglia.

Le analisi aerofogrammetriche prima (foto aeree, ortofoto, immagini LiDAR, immagini da satellite), e i rilievi geologici, geomorfologici di campagna poi, non hanno dato alcuna evidenza sul terreno della faglia nel territorio comunale. Inoltre, in corrispondenza dell'ubicazione della faglia indicata da ITHACA, in uno studio analogo in comune di Povegliano prossimo al confine con Villorba, sono state eseguite due tomografie elettriche che hanno investigato il sottosuolo fino alla profondità di 40 m. Dai risultati ottenuti non è stato individuato alcun indizio della presenza di discontinuità compatibili con una faglia.

Stanti le limitazioni di cui sopra, si è deciso di aggiornare la carta delle MOPS relativa al Primo Livello di approfondimento eliminando dalle zone suscettibili di instabilità l'area interessata da deformazioni dovute a faglie attive o capaci.

GEOLOGIC SETTING	
SYNOPSIS	
FAULT NAME	Sacile Line
FAULT CODE	70200
MACROZONE	2
REGION NAME	Veneto
SYSTEM NAME	Sacile Line
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	225
DIP	0
LENGTH (Km)	30
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	01:00
LAST ACTIVITY	Holocene generic (<10,000)
ACTIVITY RELIABILITY	Medium reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0.06
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	0
MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	

STUDY QUALITY	FAIR
NOTES	

REFERENCES

FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
70200	CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991
70200	BALESTRI L., MAGNONI G., MOZZI G., SANTANGELO R. & ZAMBON G. (1988)	Movimenti recenti nell'Italia Nord-Orientale da ripetizioni di livellazioni di precisione (1952 - 1985)	Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., I, 25-30	1988
70200	BALESTRI L., MAGNONI G., MOZZI G., SANTANGELO R. & ZAMBON G. (1989)	Movimenti neotettonici nel Veneto orientale	Gruppo Naz. Dif. Cat. Idrogeol., Pubbl. 236, Venezia, 84 pp.	1989
70200	AA.VV.	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	1983
70200	AA.VV.	ENEL (1981) - Elementi di neotettonica del territorio italiano. 3, 1-94. Milano	ENEL (1981) - Elementi di neotettonica del territorio italiano. 3, 1-94. Milano	1981
70200	OGNIBEN L. (1987)	Modello geodinamico della regione trentina ed aree circostanti	St. Trent. Sc. Nat., 63, 1-165	1987
70200	SLEJKO D., CARRARO F., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., DOGLIONI C., ILCETO V., NICOLICH R., REBEZ A., SEMENZA E., ZANFERRARI A. & ZANOLLA C. (1987)	Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale	CNR, GNDT, Rend. 1, 82 pp.	1987

70200	ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDIN D., CAVALLIN A., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., PIANETTI F. & SAURO U. (1982)	Evoluzione neotettonica dell'Italia Nord- Orientale	Mem. Soc. Geol., 35, 355-376, Padova	1982
70200	ZANFERRARI A., PIANETTI F., MATTANA U., DALL'ARCHE L. & TONIELLO V. (1980)	Evoluzione neotettonica e schema strutturale dell'area compresa nei fogli 38 - Conegliano, 37 - Bassano del Grappa (p.p.) e 39 - Pordenone (p.p.)	CNR (1980) - Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. P.F. Geodinamica, Pubbl. 356 (1), 397-435	1980

Tabella 12 – Tabella con dati Ithaca della Faglia di Sacile

8.1 CARTA DELLA MICROZONAZIONE SISMICA - LIVELLO III

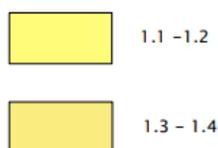
La carta di MS di Terzo Livello riporta le zone stabili suscettibili di amplificazione locale suddivise in due classi di amplificazione FV.

Le zone di attenzione per le instabilità prevedono una classificazione di due zone ZS_{LQ} ed una zona ZR_{LQ} . Si aggiungono quindi le aree soggette a cedimenti differenziali e le zone di attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti.

Le ZS_{LQ} e le ZR_{LQ} sono concentrate prevalentemente nei settori meridionali orientale e occidentale e in un punto sul margine ovest, coerentemente con i valori di velocità delle V_s , con la natura dei terreni e con la soggiacenza della falda.

Zone stabili suscettibili di amplificazione locale

Fattore di amplificazione FV



Zone di attenzione per instabilità

Fattore di amplificazione FV

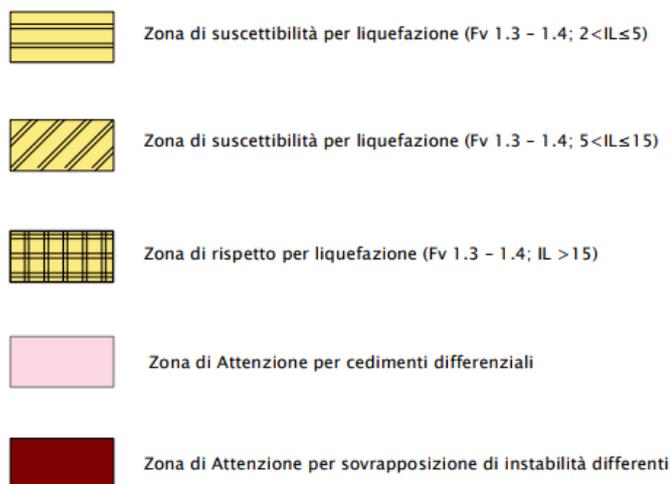


Figura 11 – Legenda della carte di MS di Terzo Livello.

8.2 COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Il territorio comunale, pur in un contesto di media pianura caratterizzato da una certa uniformità morfologica, presenta nelle sequenze sedimentarie una discreta variabilità geolitologica.

I dati geognostici disponibili arrivano fino a oltre 100 m; nei primi 10-20 m si ha una maggior densità di informazioni.

Nessun sondaggio intercetta il substrato roccioso.

La delimitazione delle aree $Z_{S_{LQ}}$ e $Z_{R_{LQ}}$ sono funzione della distribuzione delle prove e delle modalità di interpolazione delle stesse.

Tutti gli approfondimenti successivi di Terzo Livello condotti in funzione della fase esecutiva delle opere previste di PI potranno costituire elementi utili per l'aggiornamento della carta e la delimitazione delle zone di suscettibilità e di rispetto.

Il presente studio è parte dello strumento urbanistico comunale, ma nel caso di esecuzione di opere o di interventi nel territorio non può in alcun modo sostituire le indagini e le elaborazioni puntuali, esplicitamente previste alle NTC 2008, con le successive modifiche e integrazioni.

9 Proposta di normativa tecnica per il Piano degli interventi

Si riporta di seguito una proposta di specifico articolo da inserire nelle NTA del PI del Comune di Villorba.

1. Premessa

a. Tutti gli interventi che prevedano nuove costruzioni, modifiche strutturali, ampliamenti, ristrutturazioni e opere infrastrutturali nel territorio comunale di Villorba, dovranno essere progettati adottando criteri antisismici di cui al D.M. 14.01.2008 (NTC 2008) e alle eventuali s.m.i. relative agli argomenti specifici.

b. La carta di microzonazione sismica di secondo livello, basata su fattori di amplificazione elaborati con abachi e metodi semplificati, deve essere utilizzata come approccio per inquadrare la possibile risposta sismica locale e per progettare la tipologia di indagini necessarie in sede esecutiva.

c. La scelta della tipologia e metodologia di indagine dovrà essere commisurata all'importanza dell'opera e, in ogni caso, dovrà essere adeguatamente motivata.

2. Modalità di applicazione degli approfondimenti a norma del DM 14.01.2008 (NTC 2008)

Il D.M. 14.01.2008, al paragrafo 2.4.2 "Classi d'uso", in presenza di azioni sismiche e con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, suddivide le costruzioni in quattro classi d'uso definite in base alla frequentazione, alla funzione, alle attività e all'utilizzo.

Su tutto il territorio comunale dovranno essere effettuate le indagini e gli studi indicati di seguito.

a. Classe I: costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Prescrizioni: per queste costruzioni, in funzione dell'ubicazione e della tipologia, potranno essere utilizzati i dati e le informazioni sismiche contenuti nello studio di microzonazione sismica, oppure eseguite indagini come illustrato per gli edifici in classe II.

b. Classe II: costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in classe d'uso III o in classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Prescrizioni: per queste costruzioni si prevede l'esame dei dati e delle informazioni sismiche contenuti nello studio di microzonazione sismica e, quindi, l'applicazione di metodi semplificati per valutare l'amplificazione sismica locale.

Tipologie di indagine: per l'applicazione dei metodi semplificati si riporta rimanda a quanto indicato dal D.M. 14.01.2008 al paragrafo 3.2.2 "ai fini della definizione dell'azione sismica di

progetto, bisogna valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3, in assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (tabelle 3.2.II e 3.2.III)".

Come è noto, la definizione delle categorie di sottosuolo avviene attraverso la determinazione della velocità equivalente V_{s30} ; a questo proposito la normativa poco dopo recita: "la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata". Pertanto, la determinazione della velocità delle onde di taglio V_s , dovrà essere fatta utilizzando indagini sismiche, in foro (cross-hole, down-hole, cono sismico) o in superficie (MASW, ReMi, ESAC, sismica a rifrazione). Per le indagini in superficie sarà preferibile abbinare l'uso di tecniche attive e passive. Abbinare alle determinazioni di V_s si dovranno eseguire anche misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (tecnica HVSR), al fine di stabilire la frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni (o il periodo proprio), da confrontarsi con le frequenze proprie degli edifici. Le acquisizioni e le elaborazioni di queste misure seguiranno le linee guide del Progetto SESAME.

c. Classe III: costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Prescrizioni: si veda il successivo punto d), Classe IV.

d. Classe IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Prescrizioni: per le costruzioni ricadenti nelle classi III e IV si prevede l'analisi della Risposta Sismica Locale (RSL) come indicato al paragrafo 7.11.3 del D.M. 14.01.2008 "Risposta Sismica e stabilità del sito": "Per categorie speciali di sottosuolo (tabella 3.2.III), per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove". Per l'analisi di RSL dovranno essere acquisiti i parametri necessari alla ricostruzione del modello geotecnico e sismostratigrafico del sottosuolo, con particolare attenzione alla ricostruzione della profondità e della morfologia del substrato rigido o di un deposito ad esso assimilabile. L'analisi di RSL, condotta utilizzando codici di calcolo monodimensionali,

bidimensionali o tridimensionali, in funzione dell'assetto strutturale del sottosuolo, dovrà articolarsi secondo quanto indicato nel paragrafo 7.11.3 del D.M. 14.01.2008, al quale si rimanda.

Tipologie di indagine: oltre a quanto previsto dalla normativa, si sottolinea la necessità di eseguire le seguenti indagini per una corretta modellazione:

- esecuzione di sondaggi geognostici per la definizione della successione sismostratigrafica e delle diverse "unità" geotecniche;
- prove sismiche in foro (cross hole, down hole, cono sismico) finalizzate alla conoscenza della velocità delle onde di taglio fino ad un'ideale profondità, in funzione dell'opera in progetto e, comunque, se possibile, fino a raggiungere il "bedrock sismico";
- prelievo di campioni di terreno e successive analisi di laboratorio per valutare la dipendenza della rigidità e dello smorzamento del livello deformativo, e per la determinazione, in dipendenza del legame costitutivo adottato per i terreni, dei parametri di ingresso necessari alle analisi. Le prove di laboratorio possono consistere in prove cicliche di taglio torsionale o di taglio semplice, prove di colonna risonante, prove triassiali cicliche, ecc.;
- la relazione illustrativa delle indagini dovrà contenere i grafici relativi alle misure effettuate ed alla loro interpretazione.

Analisi di Risposta Sismica Locale

Si dovrà applicare a:

Edifici e opere elencati nella DGRV n. 3645 del 28 novembre 2003, allegati A e B e nel Decreto del capo della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 (edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso).

Studi di approfondimento di Terzo Livello ai fini della liquefazione

Si dovranno applicare agli interventi edificatori in aree $Z_{S_{LQ}}$ e $Z_{R_{LQ}}$. In particolare dovranno essere espletati i necessari approfondimenti geologici e geotecnici, propri del Livello III di MS, al fine di individuare e delimitare alla scala dell'intervento le $Z_{S_{LQ}}$ e le $Z_{R_{LQ}}$; saranno compresi tutti gli approfondimenti previsti dalla normativa tecnica vigente.

Qualora le indagini e le conseguenti analisi consentano di incrementare le conoscenze sul sito e di ripermire con maggior precisione le $Z_{S_{LQ}}$ e le $Z_{R_{LQ}}$, tali ripermite potranno essere impiegate per l'aggiornamento della carta di MS di Terzo Livello.

10 Bibliografia

- Bard, P.Y. and Bouchon, M.; 1985: The 2D resonance of sediment-filled valleys. *Soc. Am.*, 75, 519-541.
- Bosellini A. and Doglioni C. (1988): Progradation Geometries of Triassic Carbonate Platforms of the Dolomites, and Their Large-Scale Physical Stratigraphy. AAPG excursion in the Dolomites: Guide book. Mediterranean Basins - Nice Conference, Field Trip n. 6, 1-45.
- Bondesan A. e Busoni S.; 2015: Geomorfologia della provincia di Treviso, Grafiche Antiga, 176 pp, due carte allegate in scala 1:250.000.
- Burrato P., Ciucci F. and Valensise G.; 2003: An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: Evidence for active blind thrust faulting. *Ann. Geophys.*, 46, pp. 865-882.
- Castellarin A.; 2002: The Italian side of the Transalp seismic reflection profile-geological overview. *Boll. Soc. Geol. Ital., Spec. Vol. 1*, pp. 61-65.
- Castellarin A. and Cantelli L.; 2000: Neo-Alpine evolution of the Southern Eastern Alps. *J. Geodyn.*, 30, 251-274.
- Dal Piaz G.V., Antonelli R., Barbieri G., Dal Prà A., De Zanche V., Grandesso P., Mietto P., Sedeo R., Zanferrari A. and Spagna V.; 1988: Carta Geologica del Veneto Scala 1:250.000. Note illustrative. Servizio Geologico d'Italia and Regione Veneto, SELCA, Firenze, Italy, 31 pp.
- Doglioni C.; 1990: Thrust tectonics examples from the Venetian Alps. *Studi Geol.*
- Francesco R. (2014, inedito): La tecnica HVSR.
- Gruppo di Lavoro MS; 2008: Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome. Dipartimenti della Protezione Civile, Roma "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica".
- Loke; 2001: Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies.
- Mazzola M.; 2003: Carta Freatimetrica Provinciale – deflussi di magra, rilievi marzo 2002, Provincia di Treviso – Assessorato alle Politiche per l'Ambiente.
- Mazzola M.; 2003: Carta della Soggiacenza– Idrogeologia e carta freaticometrica della provincia di Treviso. Provincia di Treviso – Assessorato alle Politiche per l'Ambiente.
- Meletti C. and Valensise G.; 2004: Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italy, 38 pp.
- Meletti C., Patacca E. and Scandone P.; 2000: Construction of a seismotectonic model: The case of Italy. *Pageoph*, 157, pp. 11-35.
- Linee Guida LQ, 2017: Protezione Civile Nazionale; 2017: Microzonazione sismica, Linee guida, per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ), versione 1.0, Roma. Roma, 2017
- Nakamura, Y.; 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst.*, 30, pp. 25–30.
- Nakamura, Y.; 2000: Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand.
- Nogoshi, M. and Igarashi, T.; 1971: On the Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2) (in Japanese with English abstract), *Jour. Seism. Soc. Japan*, 24, pp. 26-40.

- Olivotto M. (2013) Relazione geologica (R5), Zeta Esse sc, Piano di Assetto del Territorio del Comune di Villorba.
- Park, C. B., Xia, J., and Miller, R. D.; 1998: Ground roll as a tool to image near-surface anomaly: 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, pp. 874–877.
- Regione del Veneto “Linee guida per l’esecuzione di studi di microzonazione sismica”, Allegato A.
- Slejko D., Carulli G.B., Carraro F., Castadini D., Cavallin A., Doglioni C., Iliceto V., Nicolich R., Rebez A., Semenza E., Zanferrari A. and Zanolla C.; 1987: Modello sismotettonico dell’Italia nord-orientale. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), Trieste, Italy, 84 pp.
- Slejko D., Carulli G.B., Nicolich R., Rebez A., Zanferrari A., Cavallin A., Doglioni C., Carraro F., Castaldini D., Iliceto V., Semenza E. and Zanolla C.; 1989: Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: A review. Boll. Geof. Teor. Appl., 31, pp. 109-136.
- Slejko D., Rebez A. and Peruzza L.; 2003: Analisi e studi necessari per la valutazione della pericolosità sismica del territorio veneto. Rel. 2/03-OGA-1, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste, 38 pp.
- Stokoe, K. H., Il, Wright, G. W., James, A. B., and Jose, M. R.; 1994: Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Woods, R. D., Ed., Geophysical characterization of sites: Oxford Publ.
- Studio HGEO, Studio di microzonazione sismica di I livello, Comune di Villorba (novembre 2015).
- Studio HGEO, Analisi di microzonazione sismica per 14 interventi della Variante 2 al PI, Comune di Villorba (febbraio 2016).
- Sugan M., L.Peruzza; 2011: Distretti sismici del Veneto. Boll. Geof. Teor. Appl., 52, suppl. 4, pp. 3-90.
- Valensise G. and Pantosti D.; 2001: Database of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy. Ann. Geof., 44, pp. 1-180.
- Zanferrari A., Bollettinari G., Carobene L., Carton, A., Carulli G. B., Castaldini D., Cavallin A., Panizza, M., Pellegrini G. B., Pianetti F., Sauro U.; 1982: Evoluzione neotettonica dell’ Italia Nord Orientale. Mem. Sc. Geol., 35, pp. 355-376.

11 Appendici

11.1 LA TECNICA DEI MICROTREMORI (REFRACTION MICROTREMORS – REMI)

Le tecnica di misura dei microtremori (denominata anche degli stendimenti sismici lineari passivi) è una derivazione delle tecniche SASW (*Spectral Analysis of Surface Waves*) e MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) che si basano sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie per la costruzione di un modello verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio.

Il principio ispiratore della tecnica SASW e MASW è il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh quando queste si propagano in un mezzo stratificato. La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze. All'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore. È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità. La velocità delle onde di taglio viene ricavata sulla base della seguente equazione:

$$V_S \approx 0.9V_{\text{RAYLEIGH}} \quad (1);$$

Il coefficiente che lega V_{RAYLEIGH} a V_S presenta una scarsa variabilità al variare del rapporto di Poisson e si considera quindi che il valore di 0.9 possa essere valido nella maggior parte dei casi.

Una volta che la curva di dispersione è stata calcolata dai dati si può impiegare una tecnica di modellazione diretta (*forward modeling*) associata a tecniche di *best fitting* per stimare il profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_S).

I rilievi SASW (Stokoe et al, 1994) consistono nel fare misure di velocità di fase delle onde di superficie a varie lunghezze d'onda ed usare queste misure per calcolare la curva di dispersione del sito. Alla figura seguente compare un tipico schema di un sistema di registrazione per misure SASW. Le velocità di fase sono ricavate per confronto diretto degli spettri di ampiezza e fase di ciascuna coppia di sismometri, ottenuti istantaneamente in sito tramite un oscilloscopio che esegue una trasformata veloce di Fourier.

Tipiche spaziature dei ricevitori, per l'alta risoluzione, sono pari a 2, 3 e 5 m. Queste spaziature consentono di valutare il profilo di molti terreni sino alla profondità di 50-70 m.

La tecnica di rilievo MASW (Park et al., 1998) è stata sviluppata in parte per superare le difficoltà dell'applicazione dei rilievi SASW in ambienti rumorosi. La registrazione simultanea di 12 o più canali fornisce infatti una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase migliorando la qualità del processo analitico. Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di analizzare in post-elaborazione le onde di Rayleigh. Mediante una particolare analisi spettrale (*overtone analysis*) è possibile diagrammare velocità di fase e frequenza. In questo dominio è possibile distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie dal quale stimare la curva di dispersione e successivamente, mediante un processo di inversione,

derivare il profilo 1-D della V_s . La ripetizione delle misure lungo un profilo a basi multiple consente di evidenziare le variazioni laterali della V_s .

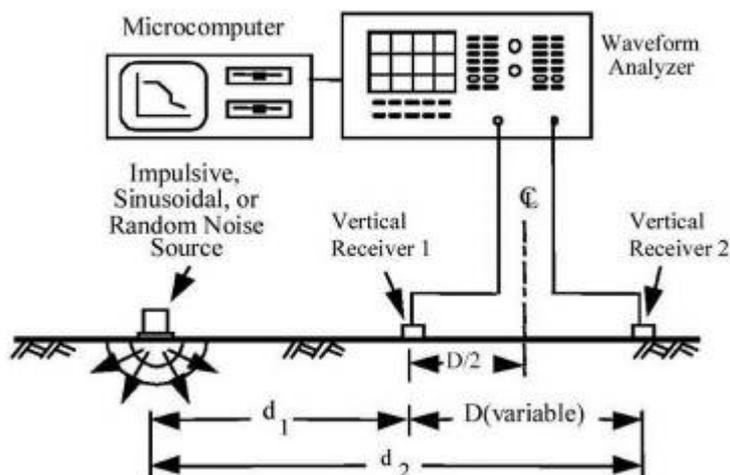


Figura 12 - Tipico schema di strumentazione per misure SASW con un sistema a due canali di registrazione (tratto da Stokoe *et al.*, 1994).

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso dei microtremori prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University. Il metodo combina la semplicità operativa del SASW con l'elevata risoluzione nei terreni più superficiali propria del MASW. I microtremori vengono registrati mediante uno stendimento lineare da 12 o più geofoni a bassa frequenza senza la necessità di dover operare con un sorgente attiva. I dati vengono acquisiti mediante la classica strumentazione impiegata per i rilievi a rifrazione. Generalmente si impiegano geofoni con frequenza compresa nell'intervallo 4-14 Hz e tempi di registrazione di 15-30 s. L'impiego di campionatori di elevata dinamica (i.e. superiori a 144 dB) consente poi di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni. È quindi teoricamente possibile registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza è compreso nell'intervallo tra 2 Hz e 25-30Hz. Questo intervallo, in condizioni ottimali, può consentire di stimare, con buon dettaglio, il profilo della V_s nei primi cento metri di profondità. Il rumore registrato viene convertito dal dominio $x-t$ al dominio $p-f$ (*slowness*-frequenza). Il parametro *slowness* (p), detto anche parametro di raggio, corrisponde all'inverso della velocità secondo la (2):

$$p \left[\frac{s}{m} \right] = \frac{1}{V_{RAYLEIGH}}; \quad (2);$$

Un esempio di spettro di potenza ($p-f$) delle onde di superficie (un esempio in tal senso è visibile alla figura seguente).

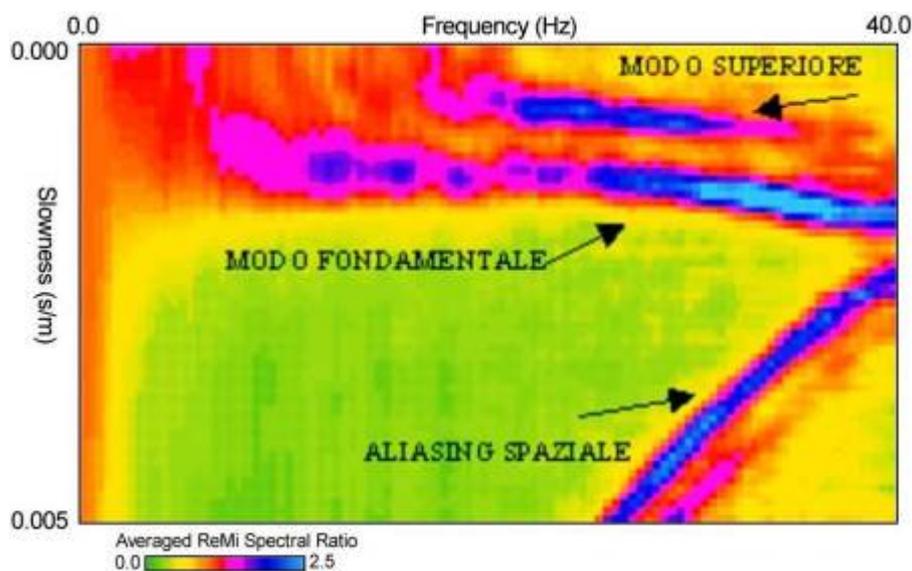


Figura 13 - Tipico spettro p - f di onde di Rayleigh nel quale si osservano un modo fondamentale ed una serie di modi superiori di vibrazione.

Nello spettro p - f sono chiaramente visibili una serie di eventi che presentano elevata energia e coerenza di ampiezza e fase. In particolare si distinguono i lobi spettrali del modo fondamentale delle onde di superficie (con carattere tipicamente dispersivo) ed anche di alcuni modi superiori (onde di superficie di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente). In questo dominio viene stimata la curva di dispersione del modo fondamentale. Questa fase di analisi del dato è particolarmente critica in quanto vi possono essere alcuni casi nei quali i rami dei modi superiori sono più energetici di quello del modo fondamentale.

Nel caso del dato ReMi si ipotizza che la posizione della sorgente (rumore ambientale) non sia nota e quindi la velocità spettrale è di una velocità apparente. La curva di dispersione viene quindi individuata nella zona di transizione tra la massima potenza spettrale e la zona dello spettro nella quale il segnale è nullo.

Dopo aver individuato la curva di dispersione si procede con una tecnica di modellazione diretta e cioè si calcola la curva di dispersione teorica a partire da un modello acustico iniziale del sottosuolo. Il modello di sottosuolo viene quindi modificato, in termini di spessori e velocità delle onde S, sino a che la curva calcolata si sovrappone ai dati sperimentali. Lo scarto quadratico medio (errore RMS – *Root Mean Square*) tra misure sperimentali e curva calcolata è il principale indicatore di qualità del processo di modellazione. È evidente che in questo tipo di approccio solutorio non c'è univocità del risultato in quanto alla formazione del parametro fondamentale contribuiscono due variabili: lo spessore dello strato e la velocità e lo stesso valore parametrico può essere con combinazioni delle due variabili. In genere l'ambiguità viene risolta con l'ausilio di vincoli che consentano di "bloccare" una delle due variabili (disponibilità di dati stratigrafici o di altre misure geofisiche, etc.). Nel presente studio il problema dell'equivalenza non si pone in quanto la determinazione della V_s (come richiesto dalla normativa sismica nazionale) è stata fatta su uno

spessore medio di 30 m di profondità senza la necessità di risolvere velocità alla scala del singolo strato, se non durante la fase di elaborazione.

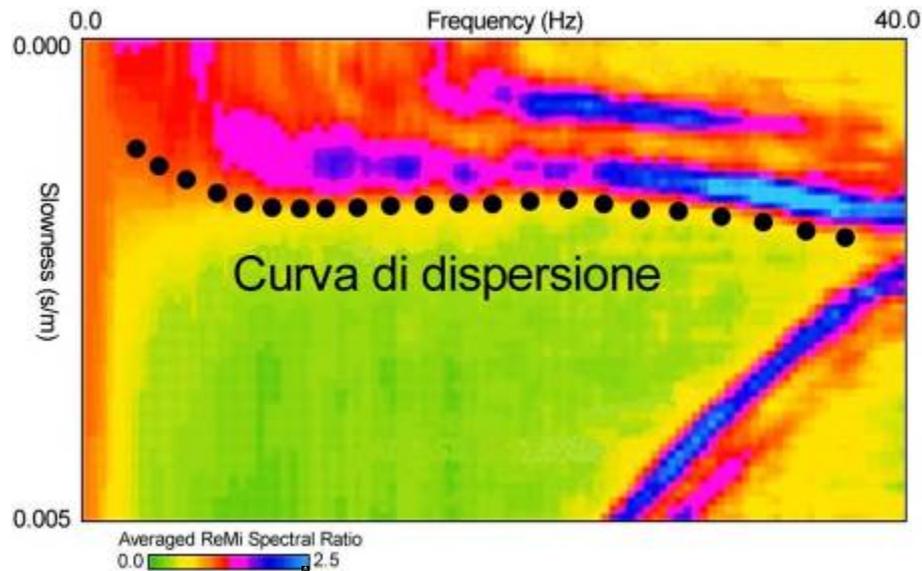


Figura 14 - Esempio di determinazione (*picking*) della curva di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh.

Il risultato è dato quindi dalla sommatoria dei contributi dei singoli strati secondo la (3):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_i}}; \quad (3);$$

dove h_i e V_i rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità dell' i -esimo strato.

Nella formulazione della V_{s30} una eventuale stima errata di spessore e/o velocità di uno strato viene forzosamente compensata nella stima di velocità e spessore in un altro segmento della colonna acustico-stratigrafica.

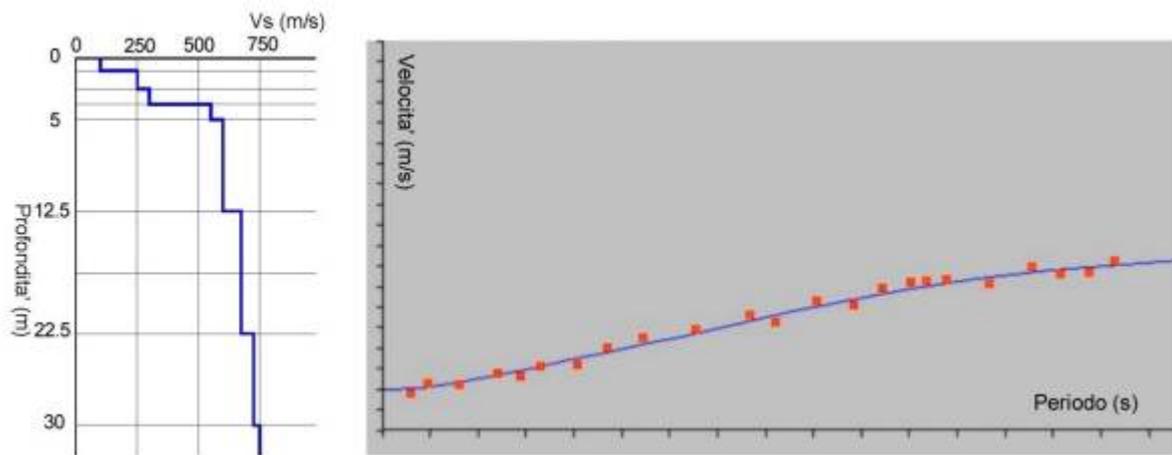


Figura 15 - Esempio di modellazione 1D della V_s . Modello geometrico-acustico del sottosuolo (a sinistra). Confronto tra dati sperimentali (circoli rossi) e curva teorica (linea continua in blu) calcolata dal modello (a destra).

11.2 GLOSSARIO

Tratto da "Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom" con modifiche

BEDROCK SISMICO : Sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio V_s maggiore od uguale a 800 m/s.

EFFETTI LOCALI (O DI SITO) – Effetti dovuti al comportamento del terreno in caso di evento sismico per la presenza di particolari condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche che determinano amplificazioni locali e fenomeni di instabilità del terreno (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali, ecc...).

ELEMENTI (O BENI) ESPOSTI – Ciò che può essere negativamente affetto da un evento sismico e sul quale viene svolta l'analisi di rischio sismico. È identificabile attraverso categorie omogenee e sistemi che possono subire perdite a seguito di evento sismico. Esempi di categorie e sistemi esposti sono: ambiente, popolazione, attività economiche, servizi pubblici, beni culturali, ecc....

FENOMENI DI INSTABILITA'DEL TERRENO – Modificazioni permanenti del terreno quali fenomeni franosi, fenomeni di liquefazione o densificazione (addensamento), fagliazione superficiale, ecc. dovuti ad un evento sismico.

MICROZONAZIONE SISMICA (MS) – Valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità in caso di terremoto.

PERICOLOSITA'SISMICA – Stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. La pericolosità sismica può essere analizzata con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del terremoto sono esplicitamente considerati. Tale stima include le analisi di pericolosità sismica di base e di pericolosità sismica locale.

PERICOLOSITA'SISMICA DI BASE - Componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento). La scala di studio è solitamente regionale. Una delle finalità di questi studi è la classificazione sismica a vasta scala del territorio, finalizzata alla programmazione delle attività di prevenzione e alla pianificazione dell'emergenza. Costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica.

PERICOLOSITA'SISMICA LOCALE - Componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali (litostratigrafiche e morfologiche, v. anche effetti locali). Lo studio della pericolosità

sismica locale è condotto a scala di dettaglio partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base (terremoto di riferimento) e analizzando i caratteri geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici del sito; permette di definire le amplificazioni locali e la possibilità di accadimento di fenomeni di instabilità del terreno. Il prodotto più importante di questo genere di studi è la carta di micro zonazione sismica.

PGA DI BASE (Peak Ground Acceleration) – Accelerazione orizzontale massima nel sito di riferimento rigido con morfologia orizzontale. **PGA DI SITO** – Accelerazione orizzontale massima nel sito indagato.

RIDUZIONE DEL RISCHIO (O MITIGAZIONE DEL RISCHIO) - Azioni intraprese al fine di ridurre le probabilità, le conseguenze negative, o entrambe, associate al rischio (ISO, Guide 73:2002).

RISCHIO SISMICO - Probabilità che si verifichi o che venga superato un certo livello di danno o di perdita in termini economico-sociali in un prefissato intervallo di tempo ed in una data area, a causa di un evento sismico.

RISPOSTA SISMICA LOCALE (AMPLIFICAZIONE LOCALE) – Modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni litostratigrafiche e morfologiche di un sito. Si può quantificare mediante il rapporto tra il moto sismico alla superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale. Se questo rapporto è maggiore di 1, si parla di amplificazione locale.

VULNERABILITA' SISMICA – Propensione al danno o alla perdita di un sistema a seguito di un dato evento sismico. La vulnerabilità viene detta primaria se relativa al danno fisico subito dal sistema a seguito del danno fisico. Per ogni sistema, la vulnerabilità può essere espressa in maniera diretta attraverso la definizione della distribuzione del livello di danno o di perdita a seguito di un dato scuotimento o in maniera indiretta attraverso indici di vulnerabilità ai quali correlare danno e scuotimento. La distribuzione del danno apparente agli elementi strutturali o non strutturali di un edificio al variare dello scuotimento sismico fornisce una misura della vulnerabilità primaria. La distribuzione del costo di riparazione di un edificio in relazione al danno apparente o meccanico è una misura di vulnerabilità secondaria.

11.3 SIGLE

- CPSL Carta della pericolosità sismica locale ;
- CPT (Cone Penetration Test) Prova penetrometrica statica ;
- CH Carotaggio sismico in foro secondo la metodologia Cross-Hole ;
- DH Carotaggio sismico in foro secondo la metodologia Dow-Hole ;
- FA Fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione) ;
- FV Fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudo velocità) ;
- MS Microzonazione Sismica ;
- MOPS Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica ;
- PAT Piano di assetto del Territorio (L.R. 11/2004) ;
- PATI Piano di assetto del territorio intercomunale (L.R. 11/2004) ;
- PI Piano degli interventi (L.R. 11/2004) ;
- PSL Pericolosità Sismica Locale ;
- PUA Piano Urbanistico Attuativo;
- RS Rischio sismico;
- RSL Risposta Sismica Locale ;
- SDMT Prova dilatometrica con modulo sismico
- SPT (Standard Penetration Test) Prova penetrometrica dinamica.

Dr. Geol. Paolo Sivieri

Dr. Geol. Giovanni Rigatto

