



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE VENETO



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME



Comune di Camisano Vicentino (VI)

<i>Regione</i>	Veneto	<i>Provincia</i>	Vicenza	<i>Comune</i>	Camisano Vicentino
<i>Titolo</i>					
<p>Studio di Microzonazione Sismica di Primo Livello Relazione illustrativa</p>					
<i>Committente</i>					
Comune di Camisano Vicentino					
<p>Dr. Geol. Paolo Sivieri - O.R.G.V. n. 169 Dr. Geol. Giovanni Rigatto - O.R.G.V. n. 839</p>					
 					
<i>Data</i>	23 marzo 2018	<i>Codice Commessa</i>	17302	<i>Rev.</i>	n. 01
				<i>Documento</i>	17302_20170811_R00_01_Camisano Vicentino_MS
<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. 0421-325683 fax 0421-326532 www.adastra.it info@adastra.it - c.f. p. iva - reg. impr. ve 04251560274 - n° rea cciaa VE 378954</p>					
AZIENDA CERTIFICATA CON SISTEMA DI QUALITÀ UNI EN ISO 9001/2008					

Comune di Camisano Vicentino (VI)

Studio di Microzonazione Sismica di Primo Livello

Relazione illustrativa

Indice

1	Introduzione	5
1.1	Premessa	5
1.2	La Microzonazione Sismica.....	5
1.3	Metodologia e prescrizioni della Microzonazione di Primo Livello.....	6
1.4	Riferimenti normativi	6
1.5	Articolazione dello studio.....	9
1.6	Inquadramento geografico e geolitologico	9
2	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	11
2.1	Le strutture regionali.....	11
2.2	Sismicità regionale	13
2.3	La classificazione sismica dei comuni della Regione Veneto.....	15
2.4	Pericolosità sismica regionale	17
2.4.1	Distretti sismo-tettonici secondo Sugan e Peruzza, 2011.....	19
2.4.2	ITHACA - Catalogo delle faglie capaci.....	22
2.5	Sismicità del comune di Camisano Vicentino.....	24
2.5.1	Zonazione sismica	24
2.5.2	Database Macrosismico Italiano (versione DBMI15).	25
2.5.3	Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (versione CPTI15).....	27
2.5.4	Database of Individual Seismogenic Sources (DISS. 3.2).....	29
3	Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....	30
3.1	Classi geolitologiche dei depositi	30
3.2	Inquadramento idrografico e idrogeologico	30
4	Dati geotecnici e geofisici	32
4.1	Fonti dei dati pregressi.....	32
4.2	Il piano delle misure geofisiche.....	32
5	Modello del suolo e del sottosuolo	33
6	Interpretazioni e incertezze	34
7	Metodologie di elaborazione e risultati.....	35
7.1	Indagini geofisiche integrative: sensori impiegati.....	35
7.2	Commento generale alle misure di Vs30 e HVSR	36
8	Misure di HVSR su edifici sensibili o strategici.....	40

9	Elaborati cartografici.....	43
9.1	Carta delle indagini.....	43
9.2	Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS).....	43
9.3	Carta della pericolosità sismica locale (CPLS).....	45
9.4	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (CMOPS, Livello I).....	46
9.4.1	<i>Zone stabili</i>	46
9.4.2	<i>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</i>	47
9.4.3	<i>Zone di attenzione per le instabilità</i>	47
9.4.4	<i>Forme di superficie e sepolte</i>	49
9.4.5	<i>Tracce di sezione topografica</i>	49
9.5	Sezioni litostratigrafiche.....	49
10	Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati.....	52
11	Bibliografia.....	55
12	Appendici.....	57
12.1	La tecnica dei microtremori (Refraction Microtremors – ReMi).....	57
12.2	La tecnica HVSR.....	61
12.2.1	Le vibrazioni del suolo.....	61
12.3	Glossario.....	68
12.4	Sigle.....	70

Indice delle figure

Figura 1 - Inquadramento geografico del comune di Camisano Vicentino (Open Street Map).....	10
Figura 2 – Carta della sismicità storica del distretto L (Lessini-Schio) (da Sugan e Peruzza, 2011)	21
Figura 3 – Carta della sismicità strumentale del distretto L (Lessini-Schio) (da Sugan e Peruzza, 2011).....	21
Figura 4 – Nella carta estratta per il Comune di Camisano Vicentino si osserva la presenza lungo il margine orientale di una faglia capace (DB ITHACA, Portale del Servizio Geologico d’Italia – Ispra).....	22
Figura 5 - Mappa di pericolosità sismica con parametro scuotimento espresso in a_g con periodo di ritorno di 50 anni e probabilità di eccedenza del 10%, 50° percentile (tratta da INGV).....	25
Figura 6 – Diagramma intensità – tempo dei terremoti avvertiti a Camisano Vicentino da DBMI15.	26
Figura 7 – Carta delle V_{S30}	37
Figura 8 – Legenda della Carta Geologico Tecnica.....	44
Figura 9 - Legenda della carta della pericolosità sismica locale – CPSL	46
Figura 10 - Legenda della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica	47
Figura 11 - Zone di attenzione per instabilità	48
Figura 12 – Legenda delle classi litologico-tessiturali impiegate nelle sezioni lito-stratigrafiche.	49
Figura 13 - Sezioni litostatigrafiche. In alto la sezione 1 (A-A’); in basso la sezione 2 (B-B’).	51

Indice delle tabelle

Tabella 1 – Zone sismiche	16
Tabella 2 – A_g relativa alle quattro zone sismiche (OPCM 3519/06).....	16
Tabella 3 – Storia Sismica di Camisano Vicentino da DBMI15. Legenda: Int=Intensità al sito (MCS);.....	26
Tabella 4 – Località entro 10 km da Camisano Vicentino (DBMI15).	27
Tabella 5 - Dati tabellari relativi ai terremoti di Camisano Vicentino (CPTI15).....	28
Tabella 6 – Distribuzione dei valori di V_{S30} e relative coordinate.	36
Tabella 7 – Distribuzione dei valori di Frequenza e Ampiezza (misure HVSR); in grassetto i valori di A superiore a 2.	38
Tabella 8 – Edifici strategici. Valori di f e A. Con il colore di fondo rosa sono indicati i valori di A in corrispondenza di misure del rapporto H/V superiori a 2 che sono considerate significative dalle linee guida del Progetto Sesame. Le frequenze di risonanza nelle strutture compatibili con la frequenza fondamentale del terreno sono indicate in rosso.	42
Tabella 9 - Numero di indagini classificate per tipologia	43
Tabella 10 – Descrizione delle campiture per la CGT. Legenda dei codici relativi agli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura: pi=piana inondabile.....	45
Tabella 11 - Elementi della carta di Pericolosità Sismica Locale (primo livello)- Tabella 8 delle Linee Guida Regionali (DGR 1572/2013)	45

TAVOLE FUORI TESTO

Codice	Titolo	Rev.	Data
CGT_17302_20170811_T01_00	Carta Geologico Tecnica	0	11/08/17
CI_17302_20170811_T02_00	Carta delle Indagini	0	11/08/17
MOPS_17302_20170811_T03_00	Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica – Livello I	0	11/08/17
CPSL_17302_20170811_T04_00	Carta della Pericolosità sismica Locale	0	11/08/17

ALLEGATI FUORI TESTO DIGITALI

Codice	Titolo	Rev.	Data
17302_20170811_ALL01_00	Indagini ReMi	0	11/08/17
17302_20170811_ALL02_00	Indagini HVSR	0	11/08/17
17302_20170811_ALL03_00	Schede indagini edifici sensibili	0	11/08/17
17302_20170811_ALL04_00	Banca dati Indagini SoftMS	0	11/08/17

EMISSIONI

Rev.	Codice	Data	Riesame		Verifica		Approvazione	
00	17302_20170811_R00_00_Camisano Vicentino_MS	11/08/17	CL		GR		PS	
01	17302_20170811_R00_01_Camisano Vicentino_MS	23/03/17	CL		GR		PS	

LISTA DI DISTRIBUZIONE

Nominativo	Azienda	Copie a stampa	Copie digitali
Copia ufficio	Dr. Geol. Paolo Sivieri	=	✓
Copia Ufficio	Adastra Engineering srl	=	✓
Ufficio tecnico	Comune di Camisano Vicentino	2	✓

1 Introduzione

1.1 PREMESSA

Con determinazione n. 407 del 13.06.2017, codice CIG Z111ED7B1E, il Comune di Camisano Vicentino ha affidato l'incarico per lo Studio di Microzonazione Sismica di Primo Livello ad Adastra Engineering srl.

La presente relazione riguarda lo Studio di Microzonazione Sismica ai sensi dell'OPCM 52 del 20.02.2013 e della DGR n. 1572 del 3.10.2013.

L'incarico professionale è stato svolto dal gruppo di lavoro composto dal Direttore Tecnico Dr. Geol. Paolo Sivieri e dal collaboratore 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 verranno adottate 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). Sono inoltre esposte diverse informazioni di inquadramento sismico dell'area di studio e il piano di lavoro.

1.2 LA MICROZONAZIONE SISMICA

Secondo quanto ricordato dalla DGR. n. 1572 del 03.09.2013, i numerosi eventi sismici accaduti in Italia negli ultimi anni, hanno reso maggiormente evidente la vulnerabilità sismica del territorio italiano.

L'osservazione degli effetti dei terremoti degli ultimi decenni, ha evidenziato, inoltre, che i danni alle costruzioni a seguito di eventi sismici si manifestano con differenze notevoli in centri abitati posti anche a piccole distanze tra loro. Le cause di queste situazioni, oltre alla differente tipologia costruttiva, vanno ricercate in una diversa pericolosità sismica locale, accentuata dalle differenti modalità di propagazione delle onde sismiche, funzione delle caratteristiche geometriche, elastico-acustiche e di instabilità di suolo e sottosuolo.

Lo studio delle problematiche sopra descritte è oggetto della microzonazione sismica, con la quale ad un primo livello si individuano le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale e le zone soggette ad instabilità (frane, rotture della superficie per faglie, cedimenti e liquefazioni del terreno).

Il miglioramento della conoscenza in materia prodotto dagli studi di microzonazione sismica può contribuire concretamente, insieme a quelli sulla vulnerabilità ed esposizione, all'ottimizzazione delle risorse rese disponibili per interventi mirati alla mitigazione del rischio sismico.

La Regione Veneto, in una prima fase sperimentale di verifica dell'applicabilità delle linee guida regionali, ha deciso di procedere all'avvio degli Studi di Microzonazione Sismica nei comuni già inseriti in zona sismica 1 e 2 e quelli per cui il territorio è in tutto o in parte caratterizzato da valori di accelerazione sismica massima al suolo superiori a 0,175 g di cui all'OPCM 3519/2006.

Le *Linee Guida per la Microzonazione Sismica (ICMS 2008)* vanno applicate agli studi di microzonazione sismica 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 contengano studi sismici, devono essere dotati di specifici studi di microzonazione sismica.

La metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente:

LIVELLO I: si applica in sede di PAT e consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica e di identificare le parti del territorio comunale suscettibili di effetti sismici locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, liquefazione, rottura del terreno, ecc.;

LIVELLO II: si applica in sede di PI a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportano un incremento dei carichi urbanistici/insediativi e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente;

LIVELLO III: si applica in sede di PI per le scelte di trasformazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche, geomorfologiche e geotecniche. Si applica altresì alle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

1.3 METODOLOGIA E PRESCRIZIONI DELLA MICROZONAZIONE DI PRIMO LIVELLO

Secondo quanto previsto dalle *Linee Guida (DGR 1572/2013)* della Regione Veneto, la MS di Livello I prevede un approccio esclusivamente di tipo qualitativo e costituisce la base propedeutica per gli eventuali successivi livelli di approfondimento. Nella fase di redazione dei nuovi strumenti urbanistici (PAT/PATI e PI) e loro varianti, ed in particolar modo di redazione del Quadro Conoscitivo e della documentazione di progetto riguardante gli aspetti geologici (matrice 5 "Suolo e Sottosuolo"), lo studio di primo livello permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con una buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili. Tale studio si applica all'intero territorio comunale o all'ambito di applicazione dello specifico strumento urbanistico.

1.4 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 (a_{max}) 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).

1.5 ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

Lo studio è stato organizzato secondo una serie di fasi sequenziali che garantiscono il rispetto delle procedure di acquisizione ed elaborazione dei dati e di restituzione dei risultati.

Il Sistema Informativo Geografico, realizzato secondo gli *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (versione 4.0b, ottobre 2015)*, è servito da collettore di tutte le informazioni esistenti e dei dati di nuova generazione. Nello specifico sono stati organizzati e omogeneizzati i dati idrogeologici, geologico-stratigrafici, tettonici e geomorfologici provenienti dai documenti di pianificazione a scala comunale, in particolare dal PAT, dalla letteratura scientifica, dalle banche dati disponibili, dagli studi professionali consultabili e dalle indagini geologico-geofisiche integrative condotte ad hoc per l'analisi di MS e quanto utile alla costruzione di un modello geologico concettuale.

Al fine di ottimizzare la campagna di esplorazione, preliminarmente all'acquisizione dei dati geofisico-geologici, è stato costruito un modello geologico embrionale per identificare le parti di territorio suscettibili di effetti sismici locali (amplificazione, cedimenti, liquefazione, etc.).

E' stata inoltre condotta una campagna di misura di sismica passiva a stazione singola con tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) e di velocità delle onde S attraverso tecnica ReMi (per la descrizione delle tecniche di misura si vedano le appendici).

1.6 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLITOLOGICO

Il Comune di Camisano Vicentino si colloca nella bassa pianura veneta ed è contraddistinto da forme e depositi caratteristici di una pianura alluvionale. Si tratta infatti di depositi fluviali, da granulari a coesivi, connessi con i percorsi della Roggia Paina e del Ceresone, con apporti derivanti dalle divagazioni di Brenta a est e di Tesina a ovest. La presenza delle tracce di numerosi paleoalvei testimonia la dinamica deposizionale.

Secondo quanto riportato nella relazione geologica che accompagna il PAT di Camisano Vicentino a firma del dr. geol. E. Scmazzon, il territorio comunale è contraddistinto prevalentemente dalla presenza superficiale di sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose e sabbie alternate a limi e in maniera subordinata, con distribuzione irregolare, da argille e argille limose. La ricostruzione è stata eseguita su un numero elevato di dati geognostici, ritenuti dalla redattrice della relazione «più che sufficienti sia per il numero che per la distribuzione». Nella zona centrale del territorio comunale sono stati riscontrate anche argille torbose e torbe (Lottizzazione Casonato).

Analizzando i dati geognostici disponibili nel PAT si evince la presenza di orizzonti plurimetrici sabbiosi o sabbioso-limosi, generalmente alternati a strati di sedimenti più sottili fino alle profondità di 20-30 m. Non sono disponibili informazioni sui livelli più profondi.

Le pendenze sono generalmente basse e le quote sono comprese tra 22 e 31 m slm.

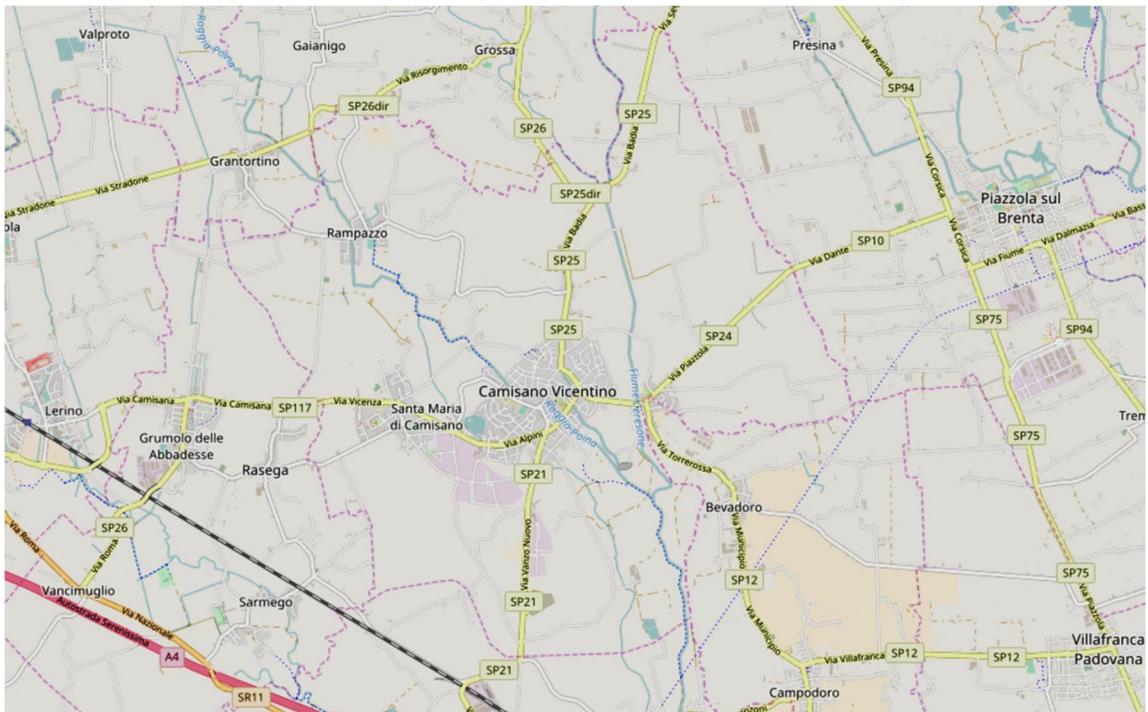


Figura 1 - Inquadramento geografico del comune di Camisano Vicentino (Open Street Map).

2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

2.1 LE STRUTTURE REGIONALI

La zona delle Alpi Meridionali orientali è caratterizzata da un elevato grado di sismicità (tra i più alti dell'intera catena alpina) trovandosi proprio nella fascia di collisione, tuttora attiva, tra la placca europea e quella africana.

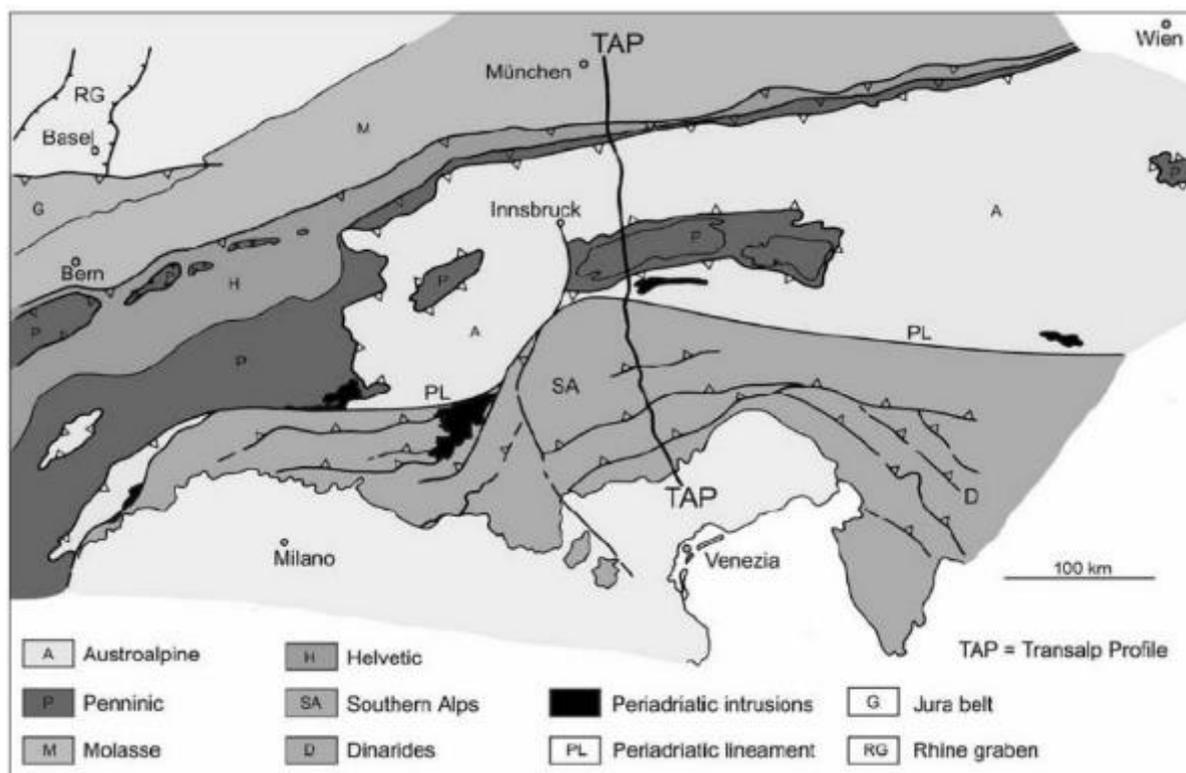


Figura 3 - Schema strutturale del comparto alpino nord-orientale con ubicazione del profilo Transalp (TAP).

L'evoluzione tettonica può essere suddivisa in una fase tettonica pre-quadernaria (orogenesi ercinica avvenuta tra il Carbonifero ed il Permiano, rifting giurassico ed orogenesi alpina) ed una fase tettonica Quadernaria ancora in atto.

A scala regionale gli elementi tettonico-strutturali sono raggruppabili nei seguenti sistemi (da occidente ad oriente; Slejko *et al.*, 1987, 1989):

Fascio Giudicariense: accavallamenti a direzione NNE-SSO con piani immergenti a ONO che sovrappongono le unità costituite da termini mesozoici sui termini molassici;

Sistema Scledense: faglie subverticali con direzione NO-SE che interessano principalmente l'area vicentina. La più nota è la linea tettonica Schio-Vicenza il cui rigetto verticale raggiunge valori considerevoli (anche dell'ordine di 2000 m), ma strutture con simile direzione sono riscontrabili anche nel sottosuolo della pianura veneto-friulana;

Sinclinorio Dolomitico: sistema caratterizzato da deformazioni di entità inferiore rispetto alle aree circostanti. La direzione degli assi strutturali varia passando dalla direzione ENE-OSO

(caratteristica del Sistema Valsuganese) alla direzione E-O (caratteristica del Sistema Tilaventino). Il Sinclinorio Dolomitico è limitato a sud dalla Linea della Valsugana, a Nord dalla Linea della Val Pusteria ed a Ovest dal Sistema Giudicariense;

Sistema Valsuganese: sovrascorrimenti aventi direzione ENE-OSO con superfici immerse a NNO. Lungo le Linee della Valsugana e della Marana affiora il basamento cristallino, mentre altre linee tettoniche appartenenti a questo sistema interessano le molasse neogeniche e quaternarie;

Sistema Tilaventino (o del Tagliamento): faglie subverticali e sovrascorrimenti a basso angolo con piani immersi generalmente a Nord e direzione E-O. Il sistema Tilaventino interessa la fascia compresa tra il fiume Piave e le Dinaridi esterne, e l'area tra la Linea Fella-Sava e l'alta pianura friulana. Rispetto al sistema Valsuganese, di cui rappresenta la prosecuzione verso est, esso presenta una diversa direzione degli elementi strutturali ed un maggior raccorciamento dei sovrascorrimenti;

Sistema Dinarico: accavallamenti con direzione NO-SE con piani immersi a NE e faglie subverticali trascorrenti destre con direzione compresa tra NO-SE e NNO-SSE.

Per quanto riguarda invece i movimenti più recenti realizzatisi durante il Pleistocene Medio-Olocene si possono riconoscere le seguenti aree (Slejko, 1987, 2003):

Area benacense e delle Prealpi venete: si tratta di una zona soggetta ad una forte ed articolata deformazione caratterizzata da un aumento dell'energia del rilievo. Dal punto di vista morfotettonico si osservano scarpate di notevoli dimensioni, evidenti modificazioni della rete idrografica, che si allinea lungo gli assi di deformazione, e fenomeni franosi di grandi dimensioni. In relazione ai "sistemi tettonici" sopra indicati, in questa zona risultano in evoluzione il Fascio Giudicariense ed il Sistema Valsuganese. Nel Fascio Giudicariense risultano attive una serie di faglie inverse e sovrascorrimenti distribuiti nel settore meridionale del complesso e, più precisamente, nel settore corrispondente al monte Baldo e nella zona ad occidente di Trento. Nel Sistema Valsuganese manifestano una chiara condizione di evoluzione i sovrascorrimenti più meridionali responsabili della formazione dei rilievi più esterni alla catena alpina ove appaiono deformati e localmente dislocati anche i depositi continentali del Pleistocene medio-superiore. Nel settore delle Prealpi venete, che corrisponde all'area di massima deformazione, sono attive una serie di faglie ad alto angolo con direzioni tra NO-SE e NNO-SSE che dislocano le strutture longitudinali del sistema valsuganese.

Alpi Sarentine, Dolomiti ed area alpina ad ovest della linea delle Giudicarie e a nord della linea della Pusteria: questa zona risulta soggetta ad un sollevamento generalizzato con componenti differenziali. Gli indicatori evolutivi e la presenza di attività recente, soprattutto delle strutture di svincolo, sono di tipo prevalentemente morfologico, anche se non mancano evidenze geologiche dirette di innalzamento in epoca Olocenica. Esempi in questo senso si osservano tipicamente nelle zone del Sinclinorio Dolomitico. In particolare nell'area di Cortina d'Ampezzo è stato stimato un tasso di sollevamento annuo relativo dell'ordine di 1 mm. In aree vicine, sempre del Sinclinorio Dolomitico, sono state individuate alcune faglie ad alto angolo attive nel periodo Pleistocene medio - Olocene. Queste strutture sono organizzate in due andamenti preferenziali: un primo sistema presenta direzione NE-SO ed un secondo sistema, più recente, presenta direzione NO-SE. Al sistema NO-SE appartengono faglie con prevalente carattere di trascorrenza e verso destrorso, che hanno

generato delle morfosculture molto evidenti e che presentano indizi particolarmente freschi. In particolare, nell'area di Piné si osservano due dislocazioni che appaiono la causa di 15 catture fluviali lungo le valli dei torrenti Brusago e Regnana; una di esse coinvolge anche un piccolo arco morenico.

Gruppo dei Lessini, Berici e Euganei: queste zone sono interessate da fenomeni di sollevamento con deformazioni non particolarmente accentuate. In tutto il settore compreso tra la linea Schio-Vicenza ed il Fascio Giudicariense (Monti Lessini, Colli Berici e Colli Euganei) è in atto un processo di sollevamento piuttosto articolato a partire dal Pleistocene Medio sino a tutto l'Olocene. Si tratta di movimenti che avvengono lungo un reticolo di faglie ad alto angolo che, con diverse direzioni, suddividono l'area in tanti piccoli blocchi determinando un generale basculamento verso sud. Il basculamento sembra avere un fulcro che corrisponde alla fascia di deformazione di Verona. Questo sollevamento è caratterizzato dalla demolizione del rilievo e dal connesso sventramento e riempimento di cavità carsiche in cui si sono conservati resti di faune del Pleistocene inferiore e medio; le valli montane principali si approfondiscono assumendo nelle loro parti più profonde tipici profili a V piuttosto stretti.

Bassa pianura veneta: questa zona è marcata da una continua subsidenza, che risulta più evidente verso l'asse padano e verso la fascia costiera, come si può dedurre dalle variazioni di spessore del materasso alluvionale e più in generale dei depositi quaternari che coprono il substrato. Per quanto riguarda i movimenti recenti essi sono da attribuire al costipamento dei sedimenti, ma anche a fattori antropici con l'estrazione di fluidi dal sottosuolo e le regimazioni idrauliche. Nella pianura Padana, nel periodo 1897-1957, sono stati misurati tassi di abbassamento relativo variabili da 1.5 mm/anno, dell'alta pianura veronese a circa 7 mm/anno della zona del delta del Po. Per quanto riguarda i sistemi attivi nella bassa pianura è in evoluzione prevalentemente quello scledense. Gli elementi in evoluzione sono quelli del settore ad oriente della linea Schio-Vicenza che poi si prolungano nell'alta pianura e, in parte, anche nella zona prealpina.

Alta pianura veneta: in questa zona si osservano movimenti tettonici variabili sia per direzione che per intensità. Dall'analisi dei dati di sottosuolo si evince la presenza di un primo abbassamento relativo abbastanza blando, protrattosi sino alla fine del Pleistocene superiore. Successivamente si osserva una fase di sollevamento relativo con una componente più intensa nella fascia pedemontana. Questo sollevamento è testimoniato dai terrazzamenti dei principali corsi d'acqua e dalle loro migrazioni e viene confermato dalle misure geodetiche. In questa zona risulta in evoluzione attiva il sistema scledense sia con strutture disgiuntive, dalle caratteristiche accennate al punto precedente, sia con alcune sinclinali ed anticlinali.

2.2 SISMICITÀ REGIONALE

L'Italia nord-orientale ed in particolare la zona veneto-friulana sono state storicamente colpite da numerosi terremoti (particolarmente distruttivi con una maggiore frequenza nella fascia pedemontana (Verona, Vicenza, Gemona e Cividale) e prealpina (Belluno e Tramonti). La sismicità nella fascia di media e bassa pianura ed in quella dei settori alpini risulta decisamente modesta. Altre zone attive sono la fascia di confine con la regione della Carinzia (Austria) e soprattutto la zona di confine con la Slovenia.

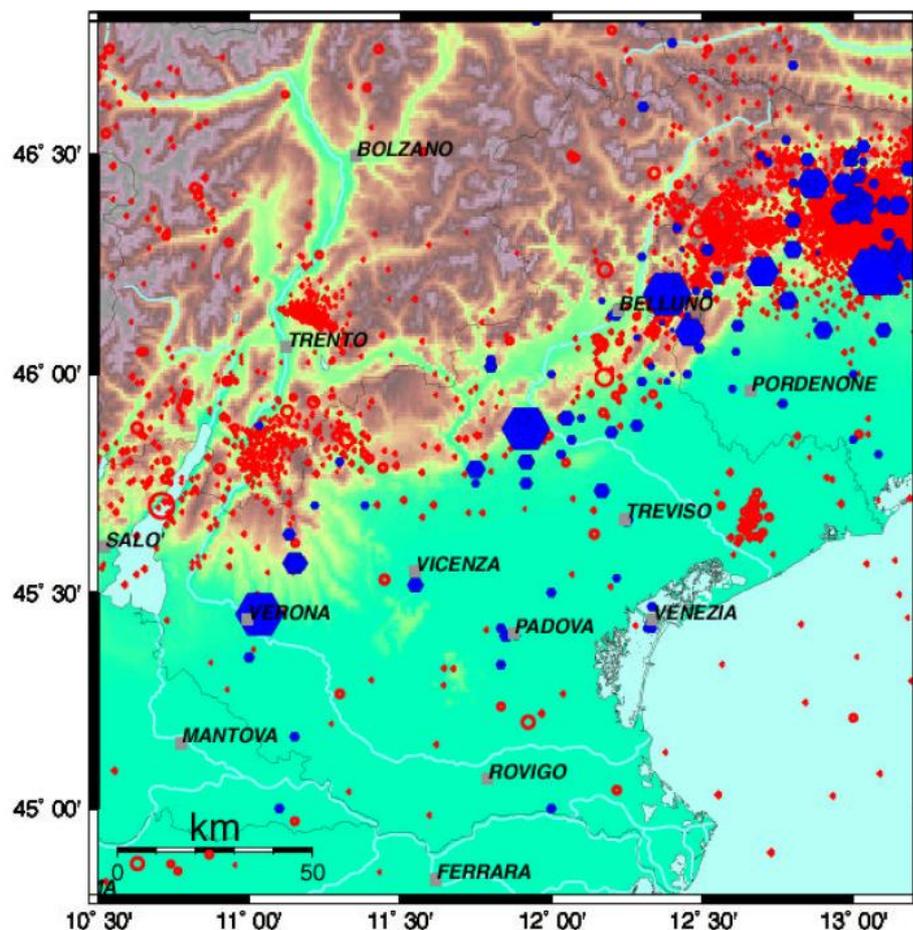


Figura 4 - Epicentri dei terremoti storici (in colore blu) e strumentali (in colore rosso) sino al 1999 (tratto da Slejko, 2003).

La maggior parte dei terremoti principali si sono verificati diversi secoli or sono e pertanto sia la localizzazione che l'intensità sono piuttosto incerti come ad esempio nel caso del terremoto del 1117 che una localizzazione non del tutto soddisfacente colloca nel Veronese. La parametrizzazione dei sismi è più precisa per alcuni di epoca storica quali i terremoti dell'Alpago (1873) e del Cansiglio (1936) in Veneto e di Tolmezzo (1926). Quello di Gemona (1976) in Friuli è stato misurato dalla rete.

Dal 1931 è infatti operante la stazione sismologica di Trieste che è poi diventata rete sismometrica locale dopo l'evento del 1976 e successivamente adattata e ampliata per la registrazione anche della sismicità di basso livello della zona veneto-friulana. La rete è attualmente gestita dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste ed i dati parametrici sono in linea sul sito dell'Istituto.

Per quanto riguarda il Veneto s.s. ed il Friuli sono stati registrati nel periodo 1981-2006 (fonte INGV) 37 terremoti con Magnitudo (M) superiore a 3.0 e con profondità ipocentrali entro i primi 35 km dalla superficie. Tra questi un solo evento ha manifestato magnitudo compresa tra 4.0 e 5.0 mentre i rimanenti 36 eventi hanno manifestato una magnitudo compresa tra 3.0 e 4.0.

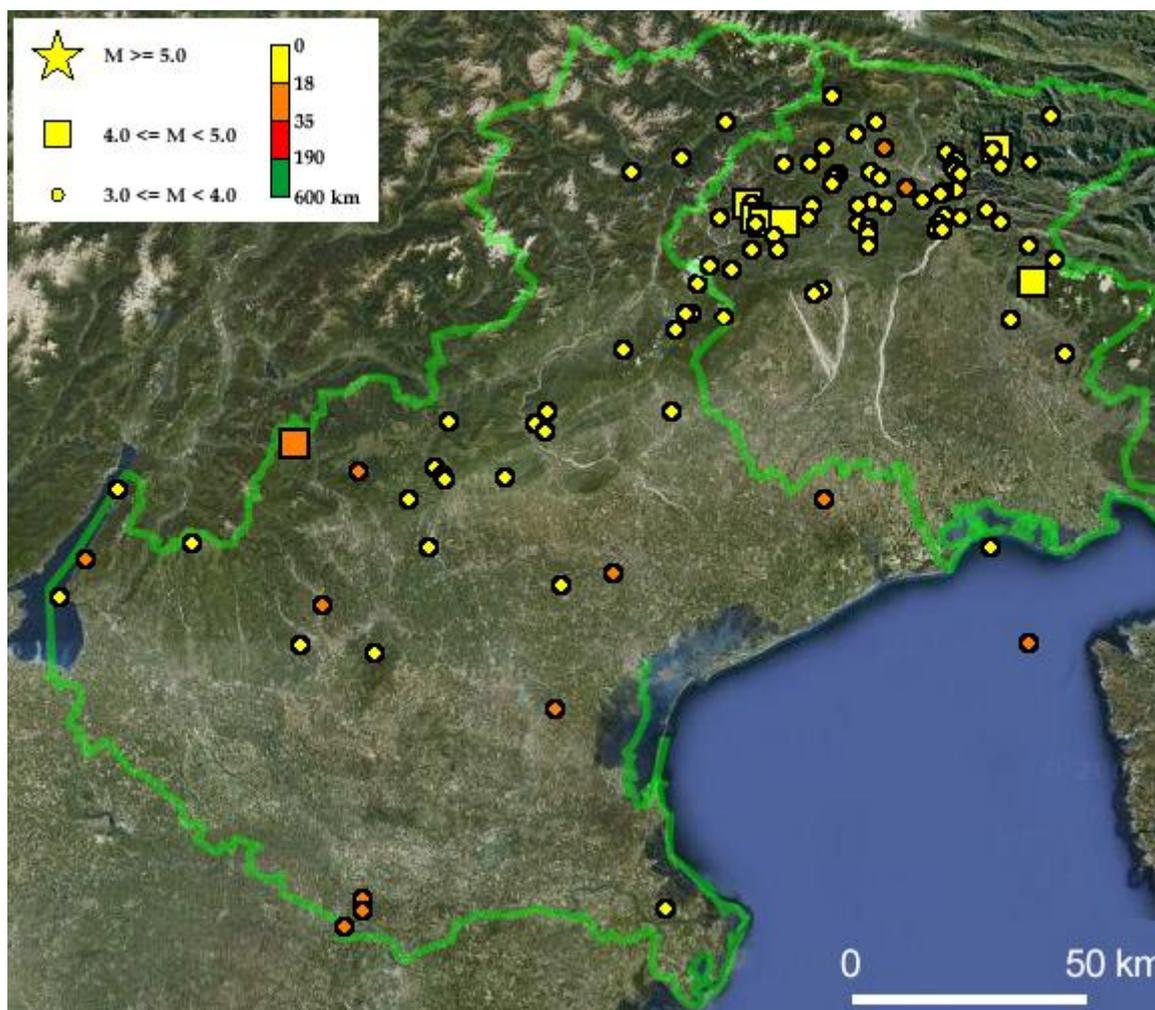


Figura 5 - Epicentri dei terremoti rilevati da rete nel Veneto e nel Friuli nel periodo 1981-2006 (dato rielaborato da INGV) con $M > 3$.

2.3 LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELLA REGIONE VENETO

Sino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione. Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003. Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica

n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

Zona 1	È la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti
Zona 2	In questa zona possono verificarsi forti terremoti
Zona 3	In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari
Zona 4	È la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari

Tabella 1 – Zone sismiche

Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica. A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g).

Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'OPCM n. 3519, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

La suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06) è la seguente:

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

Tabella 2 – Ag relativa alle quattro zone sismiche (OPCM 3519/06).

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008) hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

Tra i 581 comuni della regione veneto 89 sono inseriti in seconda categoria, 327 in terza categoria e 165 in quarta categoria (definita di fatto asismica). Per quanto riguarda la distribuzione

spaziale dei comuni in seconda categoria questi sono prevalentemente concentrati nelle provincie di Treviso e di Belluno con qualche comune anche nella provincia di Verona.

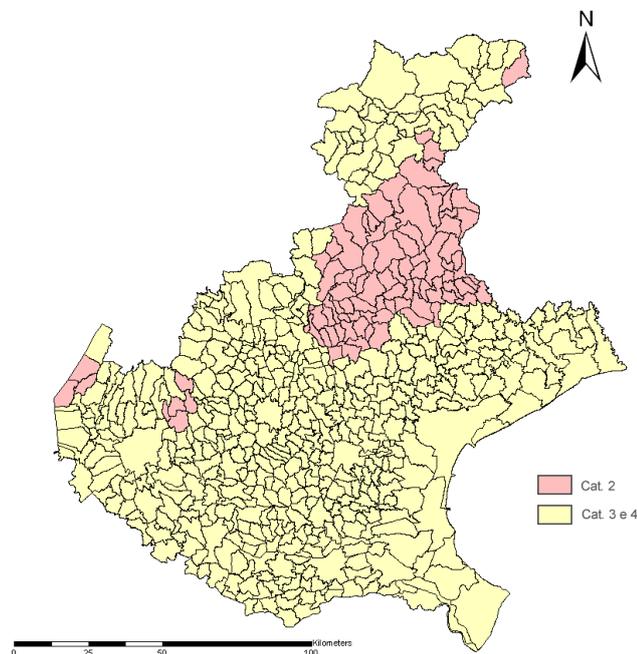


Figura 6 - Classificazione sismica dei comuni del Veneto. In rosa i comuni di seconda categoria.

La classificazione si è basata sull'elaborazione probabilistica di alcuni parametri significativi ed in particolare quelli più utilizzati sono il picco di accelerazione orizzontale (PGA) e l'intensità macrosismica.

2.4 PERICOLOSITÀ SISMICA REGIONALE

Le elaborazioni di pericolosità sismica regionale sono state in larga parte condotte dall'INGV e dall'INGOS che hanno piena disponibilità dei valori delle reti sismometriche.

Alla scala regionale il calcolo della pericolosità sismica si basa sull'applicazione di un metodo probabilistico abbastanza consolidato che si fonda sull'utilizzo di una zonazione sismogenetica, un catalogo di terremoti ed una relazione di attenuazione del moto del suolo.

La zonazione sismogenetica utilizzata per lo studio regionale è nel complesso simile a quelle impiegate in ambito nazionale per la riclassificazione sismica del territorio. La zonazione attribuisce alle sorgenti il medesimo significato geodinamico utilizzato in ambito nazionale con una maggiore definizione dei limiti regionali delle diverse aree.

La suddivisione di partenza in 80 ZS fu effettuata nell'ambito del GNDT da Meletti et al. (2000) attraverso un modello sismogenetico per l'intero territorio nazionale. Studi successivi portarono a raffinamenti nella definizione delle zone, in particolare con Meletti e Valenzise, 2004 (Zonazione ZS9) e con Slejko et al. 2008.

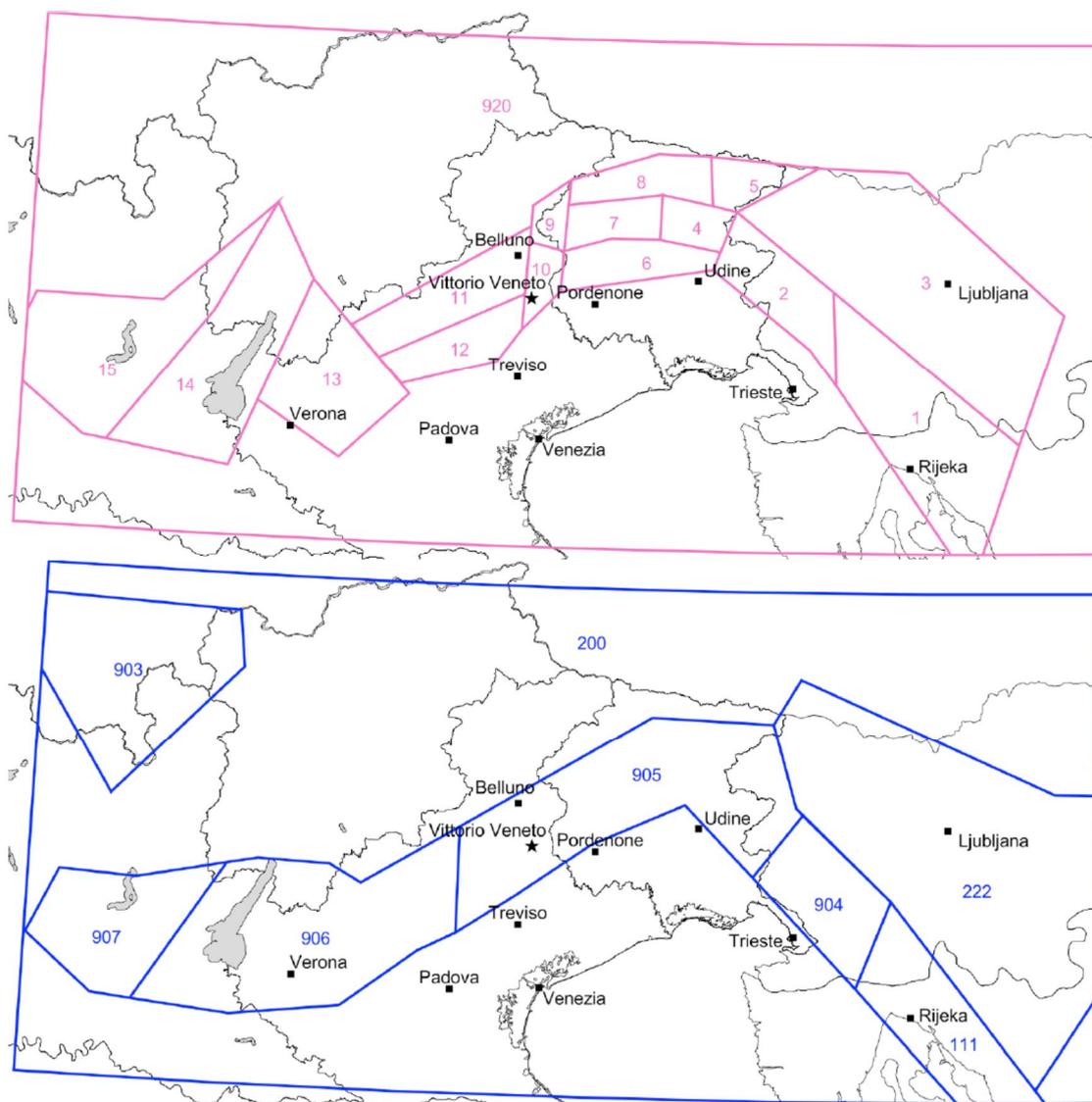


Figura 7 - Zonazione sismogenetica secondo Slejko et al. 2008 e Meletti e Valenzise, 2004 (Zonazione ZS9).

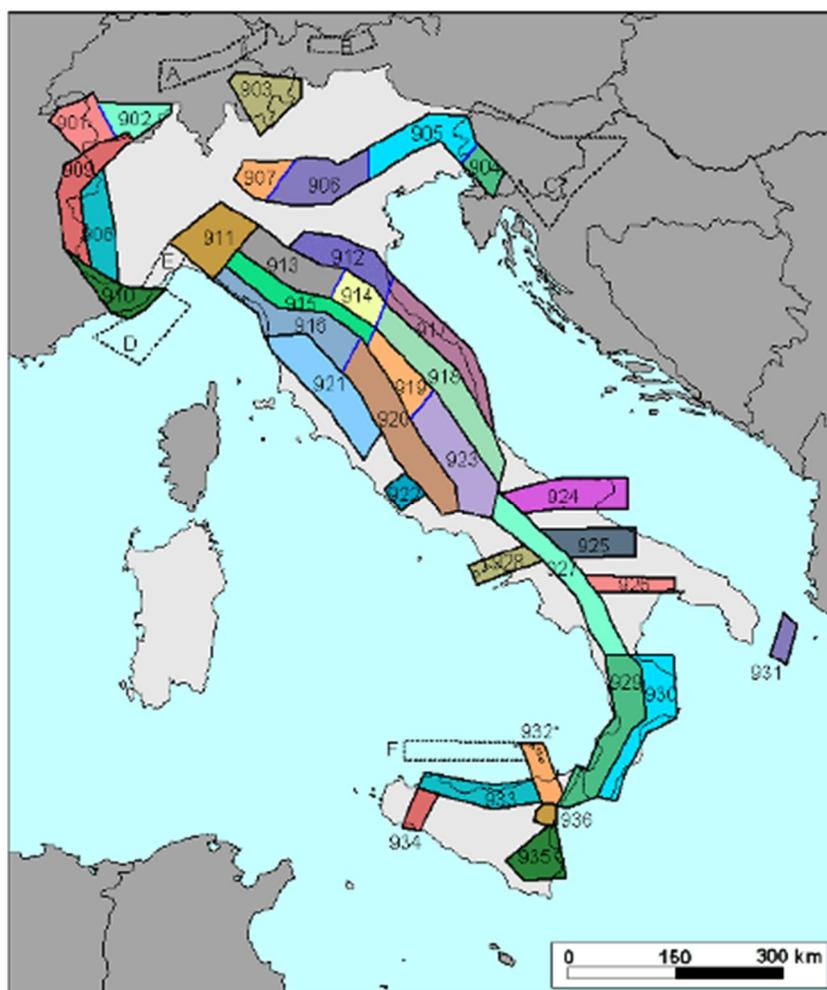


Figura 8 - Zonazione sismogenetica ZS9. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

Il territorio comunale di Camisano Vicentino non ricade in nessuna zona, collocandosi a sud della zona 905.

2.4.1 Distretti sismo-tettonici secondo Sukan e Peruzza, 2011

Nello studio condotto da Sukan e Peruzza, 2011, il Veneto è stato suddiviso in 9 distretti sismotettonici. Il comune di Camisano Vicentino si colloca nell'estremo orientale del distretto Lessini-Schio (L), al limite con il distretto Pedemontana Sud (PS). Esso comprende i Monti Lessini, la fascia della Linea Schio-Vicenza, i Monti Berici ed i Colli Euganei e si estende dal sistema delle Giudicarie Meridionali a occidente fino al sovrascorrimento della Flessura Pedemontana a oriente. Verso la pianura il limite è stato posto in corrispondenza dei minimi di sismicità.

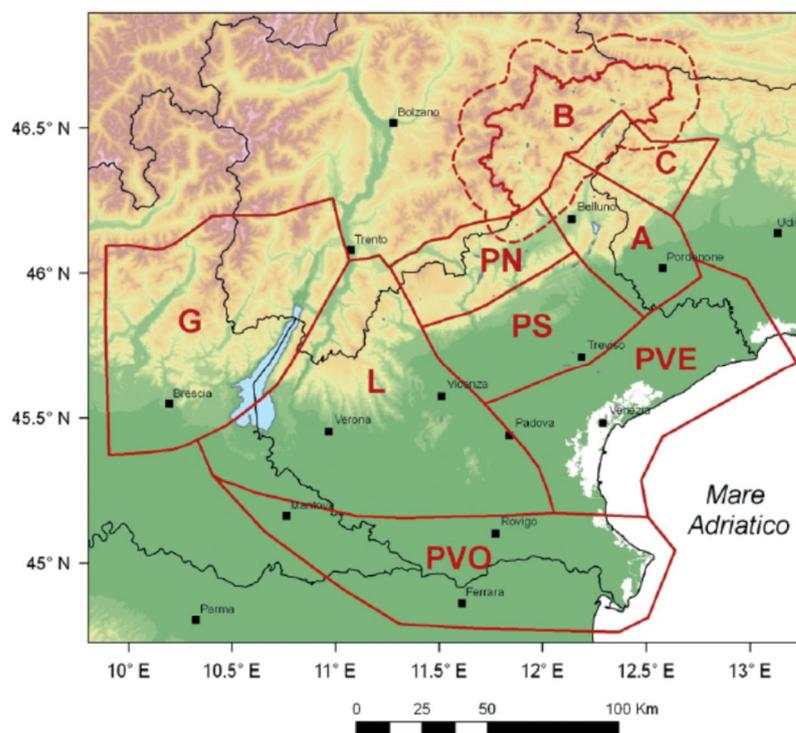


Figura 9 – Distretti sismici del Veneto con relativa sigla di identificazione (da Sugan e Peruzza, 2011).

L'intera area è interessata da faglie prevalentemente trascorrenti ad orientamento NO-SE, anche se sono presenti lineamenti ad andamento ENE-OSO (sovrascorrimento di Cima Marana e klippen di Castel Malera). La faglia Schio-Vicenza, particolarmente attiva durante il Quaternario (Pellegrini, 1988), separa la terminazione occidentale del sistema della Valsugana dai Monti Lessini.

Il distretto dei Lessini è stato interessato storicamente da due forti eventi medioevali (Verona, 3 gennaio 1117 [Mw=6.5] e Basso Bresciano, 25 dicembre 1222 [Mw=6.0]) e da altri che hanno superato il VI grado MCS, tra il 1500 e il 1800. Relativamente agli ultimi due secoli, l'evento del 7 giugno 1891 (Valle d'Illasi, Mw=5.7) ha generato effetti sopra la soglia di danno in gran parte dei Lessini e altri eventi a fine Ottocento hanno raggiunto o superato la soglia di danno.

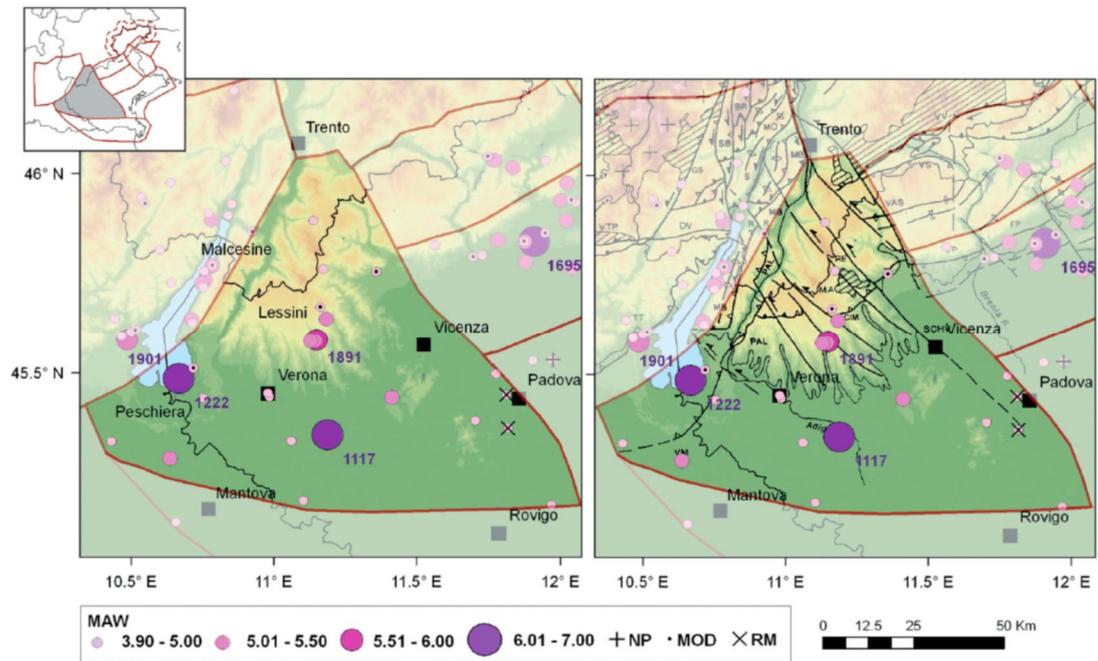


Figura 2 – Carta della sismicità storica del distretto L (Lessini-Schio) (da Sukan e Peruzza, 2011)

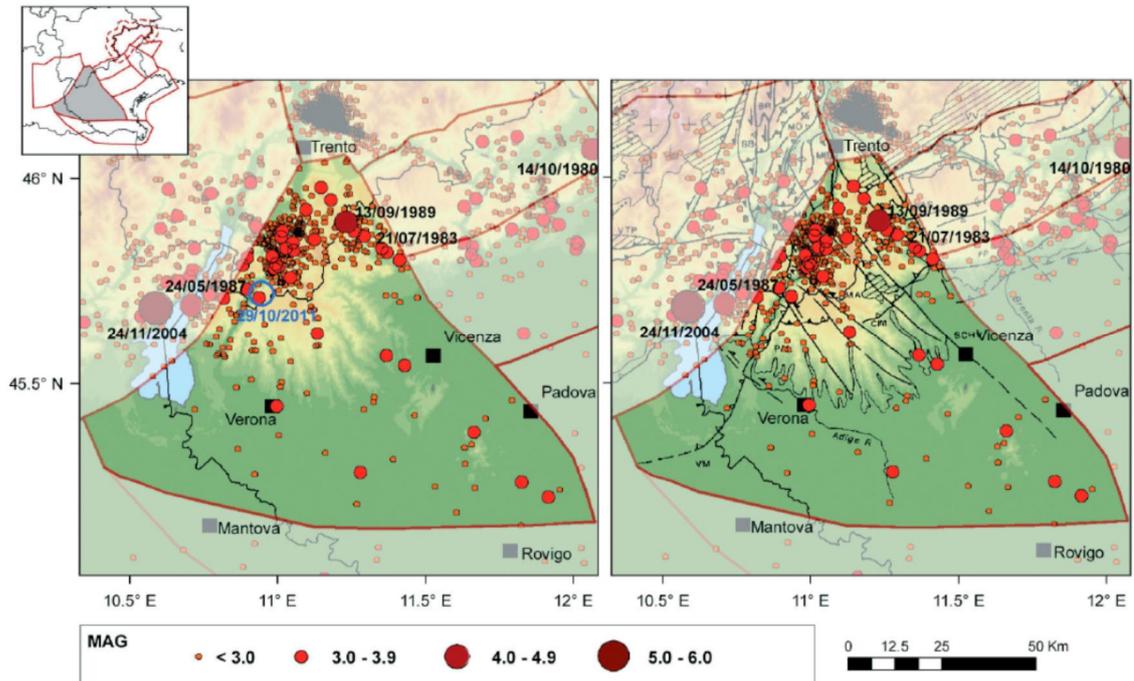


Figura 3 – Carta della sismicità strumentale del distretto L (Lessini-Schio) (da Sukan e Peruzza, 2011)

Per quanto riguarda la sismicità strumentale relativa all'intervallo 1977-2010, essa è limitata alla profondità di circa 20-25 km. In generale i terremoti con magnitudo superiore a 3 si sono verificati nei Lessini settentrionali, in misura minore, nel tratto di pianura tra Adige e Linea Schio-

Vicenza. In epoca strumentale il terremoto più intenso si è verificato nell'area del Pasubio il 13 settembre 1989 ($M_0=3.8$).

2.4.2 ITHACA - Catalogo delle faglie 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.



Figura 4 – Nella carta estratta per il Comune di Camisano Vicentino si osserva la presenza lungo il margine orientale di una faglia capace (DB ITHACA, Portale del Servizio Geologico d'Italia – Ispra).

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>). La sua consultazione all'interno del GeoMap Viewer del geoportale ISPRA avviene attraverso un servizio che permette l'interrogazione della banca dati sia geografica che alfanumerica, mettendo a disposizione dell'utente una serie di schede web.

Nel comune di Camisano Vicentino, all'interno del database ITHACA, è presente la faglia di faglia capace di Sandrigo – Barchisso 2.

Si tratta di una faglia definita nel lavoro di Castaldini & Panizza (1991) che ha un carattere regionale e la cui ubicazione si ritiene sia poco attendibile data l'estensione particolarmente ampia del settore descritto nel paper (la scala di rappresentazione è 1:500.000 e la qualità dello studio viene definita bassa).

GEOLOGIC SETTING	
SYNOPSIS	
FAULT NAME	Sandrigo - Barchisso 2
FAULT CODE	77523
MACROZONE	0
REGION NAME	Friuli
SYSTEM NAME	Friuli thrust system
RANK	SUBORDINATE
AVERAGE STRIKE	145
DIP	
LENGTH (Km)	8.7
GEOMETRY	
SEGMENTATION	yes
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:500000
LAST ACTIVITY	
ACTIVITY RELIABILITY	
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	0
MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	6.1
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	LOW

NOTES

REFERENCES

FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
77523	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

2.5 SISMICITÀ DEL COMUNE DI CAMISANO VICENTINO

2.5.1 Zonazione sismica

Secondo la zonazione sismica del territorio nazionale (OPCM 3519 del 28 aprile 2006), recepita dalla Regione Veneto con la Deliberazione del Consiglio Regionale del Veneto n. 67 del 3 dicembre 2003, il Comune di Camisano Vicentino ricade nella seguente zona sismica:

Zona sismica 3 In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari

In base alle diverse proposte di zonazione sismica, il territorio comunale ricade nelle seguenti zone:

Zonazione sismogenetica secondo Slejko et al. 2008	-
Zonazione ZS9 secondo Meletti e Valenzise, 2004	-
Distretti sismo-tettonici secondo Sukan e Peruzza, 2011	L (Lessini-Schio)

Con riferimento alla *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV)* il parametro di scuotimento mostra valori di a_g (accelerazione massima del suolo) compresi tra 0,125 e 0,150 g considerando un periodo di ritorno di 50 anni ed una probabilità di eccedenza del 10% (50° perc.) riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s, cat. A, 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

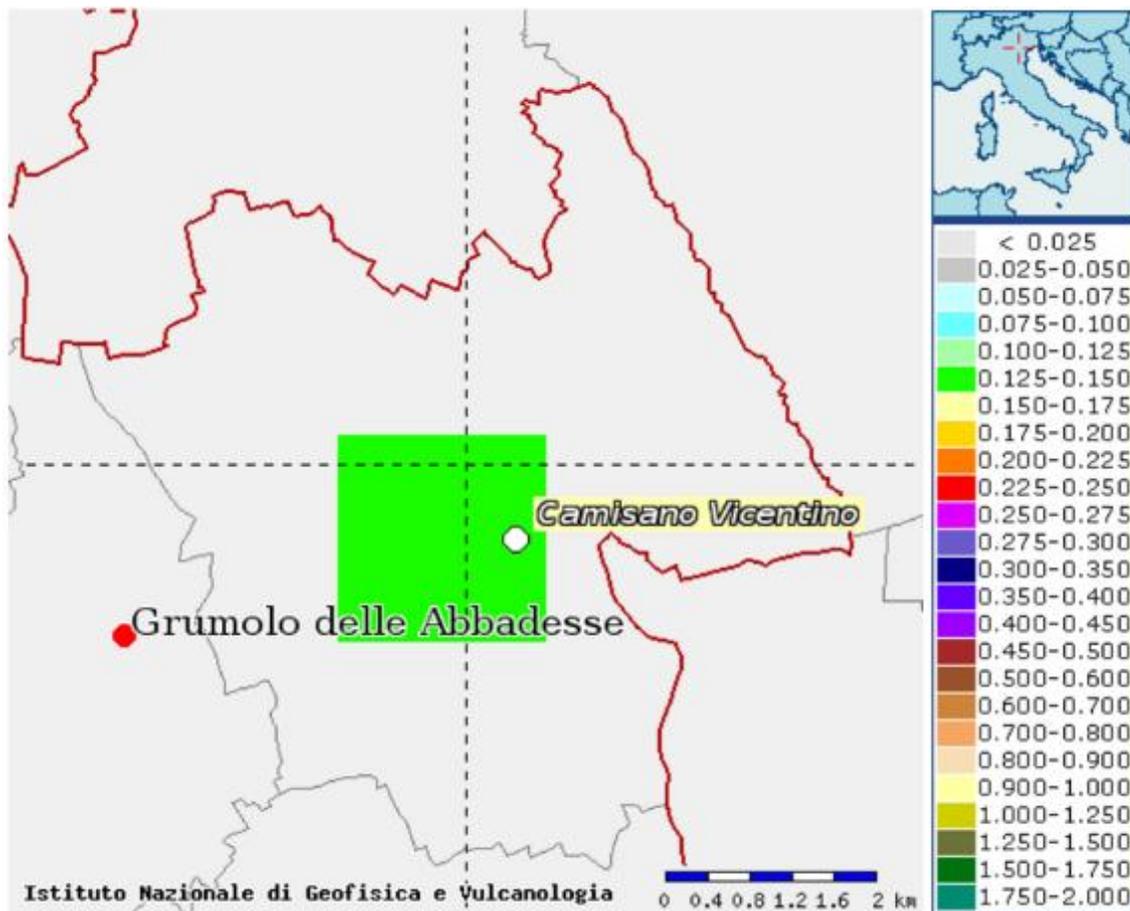


Figura 5 - Mappa di pericolosità sismica con parametro scuotimento espresso in a_g con periodo di ritorno di 50 anni e probabilità di eccedenza del 10%, 50° percentile (tratta da INGV).

2.5.2 Database Macrosismico Italiano (versione DBMI15).

I dati relativi alla sismicità storica di Camisano Vicentino fanno riferimento al Database Macrosismico Italiano (versione DBMI15) realizzato a cura dell'INGV che raccoglie le osservazioni emerse nella finestra temporale 1000-2014.

Il database macrosismico DBMI15 riporta per il comune di Camisano Vicentino le intensità segnalate in occasione di 6 terremoti. La massima intensità è pari a 5 ed è attribuita ai terremoti dell'Emilia Romagna orientale e delle Prealpi Vicentine del 1976. Gli epicentri più prossimi sono riferiti a Campodoro, Grumolo delle Abbadesse e Grisignano di Zocco.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59
3	1898	03	04	21	05		Farmense	313	7-8	5.37
NF	1898	03	09	11	43		Romagna settentrionale	68	6	4.59
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4-5	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
5	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85

Tabella 3 – Storia Sismica di Camisano Vicentino da DBMI15. Legenda: Int=Intensità al sito (MCS); NMDP=Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io=Intensità epicentrale (MCS); Mw=Magnitudo.

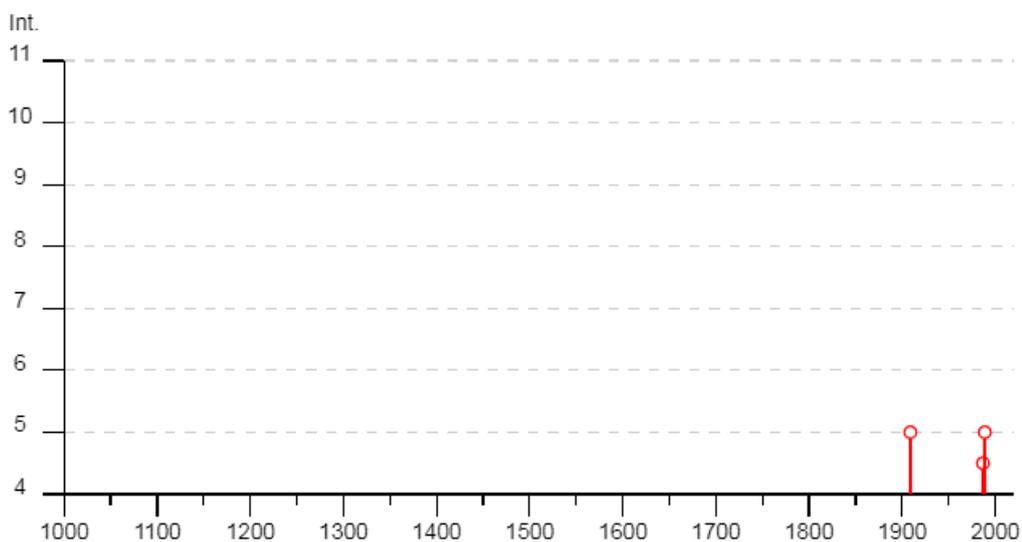


Figura 6 – Diagramma intensità – tempo dei terremoti avvertiti a Camisano Vicentino da DBMI15.

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Campodoro	3	4
Grumolo delle Abbadesse	5	5
Grisignano di Zocco	8	5
Piazzola sul Brenta	4	6
Gazzo	4	6
Villafranca Padovana	4	7
Campo San Martino	4	8
Torri di Quartesolo	2	8
Quintarello	1	8
Veggiano	3	8
Grantorto	2	9
Quinto Vicentino	6	9
Curtarolo	1	9
Colzè	2	9
Montegalda	1	9
Mestrino	3	10
Taggì di Sopra	1	10
Longare	2	10

Tabella 4 – Località entro 10 km da Camisano Vicentino (DBMI15).

2.5.3 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (versione CPTI15).

Si tratta della versione più aggiornata del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani realizzato da Rovida et al. Il data base è stato concepito come catalogo di consenso per unificare e omogeneizzare, attraverso procedure di stima dei parametri uguali per tutti i terremoti, tutte le informazioni disponibili sui terremoti italiani. Il catalogo copre la finestra temporale relativa agli anni 1000-2014.

Di seguito si riportano i dati di dettaglio relativi ai terremoti pertinenti Camisano Vicentino, già individuati attraverso il DBMI15.

1898 gennaio 16 13:10 Romagna settentrionale							
EqID 18980116_1210_000							
	Rif	Lat	Lon	Io	Mw	ErMw	Profond.
★ CPTI15	CARAL009	44.657	11.821 MM	6	4.59 ± 0.17	Mdm	
□ Macro	CARAL009	44.657	11.821 bx0	6	4.59 ± 0.17	bxn	

1898 marzo 04 21:05
Parmense

EqID 18980304_2105_000

	Rif	Lat	Lon	Io	Mw	ErMw	Profond.
★ CPTI15	CFTI4med	44.655	10.260 MM	7-8	5.37 ± 0.10	Mdm	
□ Macro	CFTI4med	44.655	10.260 bx0	7-8	5.37 ± 0.10	bxn	

1898 marzo 09 11:43
Romagna settentrionale

EqID 18980309_1143_000

	Rif	Lat	Lon	Io	Mw	ErMw	Profond.
★ CPTI15	CARAL009	44.657	11.821 MM	6	4.59 ± 0.37	Mdm	
□ Macro	CARAL009	44.657	11.821 bx0	6	4.59 ± 0.37	bxn	

1909 gennaio 13 00:45
Emilia Romagna orientale



EqID 19090113_0045_000

	Rif	Lat	Lon	Io	Mw	ErMw	Profond.
★ CPTI15	MELMO987	44.579	11.688 MM	6-7	5.36 ± 0.08	Wmim	
□ Macro	MELMO987	44.579	11.688 bx0	6-7	5.30 ± 0.10	bxn	
Instr		-			5.53 ± 0.16	Pry_msmb	

1987 maggio 02 20:43:53.32
Reggiano



EqID 19870502_2043_000

	Rif	Lat	Lon	Io	Mw	ErMw	Profond.
★ CPTI15	CSTI1.1	44.810	10.694 IM	6	4.71 ± 0.10	InsOInsO	0.1
□ Macro	AMGNDT995	44.797	10.697 bx0	6	4.91 ± 0.10	bxn	
◇ Instr	CSTI1.1	44.810	10.694		4.71 ± 0.10	MwMT	0.03

1989 settembre 13 21:54:01.50
Prealpi Vicentine



EqID 19890913_2153_000

	Rif	Lat	Lon	Io	Mw	ErMw	Profond.
★ CPTI15	OGS-BFVG	45.882	11.264 IM	6-7	4.85 ± 0.10	InsOInsO	9.0
□ Macro	BMING991a	45.870	11.172 bx0	6-7	4.99 ± 0.10	bxn	
◇ Instr	OGS-BFVG	45.882	11.264		4.85 ± 0.10	MwMT	9

Tabella 5 - Dati tabellari relativi ai terremoti di Camisano Vicentino (CPTI15).

2.5.4 Database of Individual Seismogenic Sources (DISS. 3.2)

Questo catalogo, pubblicato on line nella sua versione 3.2., raccoglie le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane, suddividendole in *zone sismogenetiche* che abbiano omogeneità dal punto di vista sismico e tettonico.

Il data base fa riferimento a Basili et al. (2008) e al DISS Working Group (2010).

Il DISS 3.2. non identifica alcuna sorgente per questo distretto.

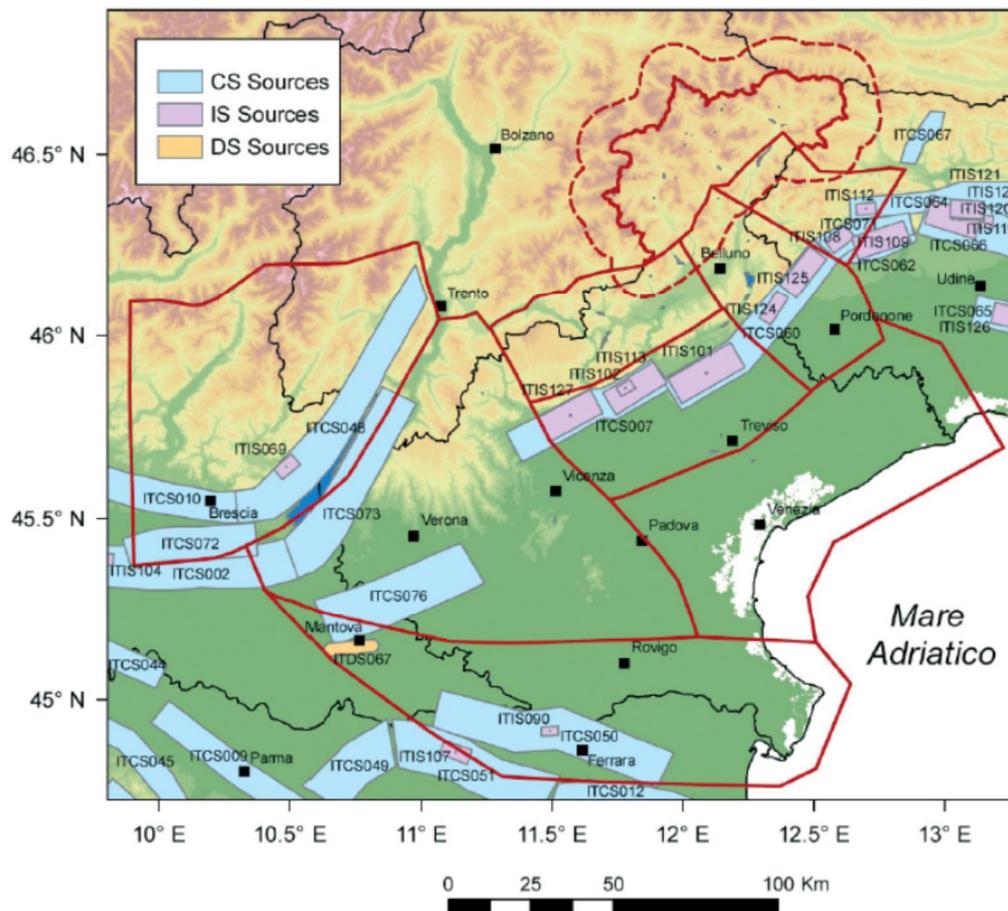


Figura 15 - Sorgenti sismogenetiche (DISS Working Group, 2010). Legenda= CS sources = sorgenti composite; IS Sources= sorgenti individuali; DS sources: sorgenti controverse (da Sugan e Peruzza, 2011).

3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1 CLASSI GEOLITOLOGICHE DEI DEPOSITI

La tipologia dei terreni affioranti è descritta di seguito. Le informazioni sono tratte dalla relazione geologica allegata al PAT (Scomazzon, 2015), alle quali si rimanda per eventuali Approfondimenti.

Materiali alluvionali a tessitura prevalentemente sabbiosa

Si tratta di materiale a tessitura medio-fine (sabbie e sabbie limose) che si rileva su tutto il territorio comunale. Sono depositi legati all'azione deposizionale e di rimaneggiamento dei principali corsi d'acqua in particolare Roggia Paina, Ceresone, Brenta e Tesina. Le ampie divagazioni fluviali sono confermate dalla presenza dei paleoalvei, quasi sempre con tracciato a meandri e dimensioni particolarmente ampie del raggio di curvatura.

Materiali alluvionali a tessitura prevalentemente limoso-argillosa

Si tratta di materiali a tessitura fine, di tipo alluvionale, che corrispondono alle aree di deposizione distale e di decantazione. Mostrano una distribuzione irregolare, talora non congruente col tracciato dei paleoalvei. Si suppone che la loro mappatura sia stata condizionata dalla densità dei dati geognostici.

Si nota, nella cartografia geologica del PTCP di Vicenza, una accentuazione della componente limoso-argillosa nelle aree poste nel settore orientale del territorio comunale.

Secondo quanto indicato da Scomazzon (2005), tali depositi si localizzano: «procedendo da Ovest verso Est nel centro della frazione Rampazzo e a monte, in una fascia che parte da Santa Maria di Camisano prosegue fino al centro del Comune e poi si sviluppa decisamente in direzione Sud comprendendo gran parte della Zona Artigianale. Si rilevano anche in località Mancamento, in un'ampia zona ad est di Torre Rossa e lungo il confine comunale Nord-Est. Si trova una fascia a tessitura argilloso limosa prevalente anche lungo via Pozzetto. [...] Si ricorda inoltre che in Lottizzazione Casonato, nella zona centrale del Comune sono stati riscontrati livelli anche estesi di argille torbose e torbe vere e proprie».

3.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

Le informazioni riportate di seguito e relative agli aspetti idrografici e idrogeologici del territorio comunale sono tratte dalla Relazione Geologica del PAT (Scomazzon, 2015), alla quale si rimanda per eventuali approfondimenti.

L'idrografia superficiale del territorio di Camisano Vicentino è condizionata dalla presenza della fascia delle risorgive che si colloca immediatamente a monte.

La prima falda è una tipica falda di impregnazione, influenzata dalla morfologia e dalle tessiture superficiali e con caratteri di discontinuità; essa è alimentata principalmente dalle precipitazioni dirette dal sistema irriguo e dalle eventuali dispersioni di subalveo dei corsi di risorgiva.

La soggiacenza della falda dal piano campagna è compresa entro i -2 m. Sono state distinte nella carta idrogeologica allegata al PAT aree con falda subaffiorante compresa tra zero e -1 m da p.c. e a settori con soggiacenza tra -1 e -2 m da p.c.

Le sue oscillazioni sono valutabili in 1,0÷1,5 metri, fatto questo che può portarla a lambire il piano campagna con conseguente saturazione totale del terreno.

La direzione del deflusso della falda è scarsamente significativo proprio per la discontinuità fisica dell'acquifero superficiale e per le complesse dinamiche di circolazione (o di assenza di movimento) delle acque.

«Il reticolo idrografico è molto sviluppato ed articolato, con una fitta rete di fossi e scoli per la raccolta delle acque meteoriche e d'irrigazione. I corsi d'acqua che attraversano il territorio hanno andamento generale Nord Nord-Ovest Sud Sud-Est. Procedendo da Ovest verso Est annoveriamo tra i principali: la roggia Moneghina, la Roggia Capra che scende da Rampazzo a Santa Maria, la Roggia Puinella, la Roggia Piovego e la Puina, che attraversano il centro, poi lo Scolo Riazzo, Fiumicello Ceresone, per finire con la roggia Liminella Vicentina e la Liminella Padovana che scorre lungo il limite Comunale Est.» (Scomazzon, 2015).

La rimanente idrografia superficiale è data da corsi d'acqua di minori dimensioni che fungono da elementi di drenaggio e di irrigazione per l'intero territorio comunale. E' presente un fitto reticolo artificiale, connesso al sistema irriguo.

L'unico lago presente nel territorio è il Laghetto Margherita generato dall'attività estrattiva di inerti.

4 Dati geotecnici e geofisici

4.1 FONTI DEI DATI PREGRESSI

Al fine di delineare il quadro geologico complessivo, sottoposto ad integrazione con ulteriori indagini geofisiche dedicate, sono state raccolte, esaminate e rielaborate in chiave sismica tutte le informazioni del PAT, utilizzando in particolare le carte geo-litologica, geomorfologica e idrogeologica. Inoltre, si è fatto riferimento alla relazione geologica descrittiva del PAT, della quale si riportano anche brani integrali nel testo.

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

4.2 IL PIANO DELLE MISURE GEOFISICHE

Sono state condotte 35 misure ReMi e 35 misure HVSR. 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 ai depositi. Attraverso le misure geofisiche è stato possibile estendere il quadro conoscitivo alle aree non coperte da altre indagini, al fine di stimare, entro i limiti metodologici, la possibile profondità di un eventuale bedrock sismico e le possibili discontinuità legate a corpi profondi con elevato contrasto di velocità (generato eventualmente da orizzonti sedimentari consolidati o cementati).

Le misure sono state distribuite in modo da caratterizzare al meglio i corpi deposizionali, garantendo per quanto possibile, le condizioni di uniformità che stanno alla base dei metodi sismici.

Su indicazione dell'Amministrazione comunale sono state condotte misure HVSR in corrispondenza di 7 edifici sensibili, al fine di effettuare un'analisi preliminare della vulnerabilità dei fabbricati. Le misure sismiche strumentali sui terreni permettono di caratterizzare la risposta sismica del sottosuolo per una più corretta valutazione della pericolosità sismica locale. Le misure sismiche strumentali sugli edifici permettono di identificare la frequenza di vibrazione delle strutture nei diversi modi. Gli effetti di un sisma su un edificio sono fortemente condizionati dalle risposte in frequenza dei terreni e degli edifici stessi. In particolar modo l'occorrenza della doppia risonanza, può determinare un aumento delle oscillazioni dell'edificio stesso e quindi del relativo danno. L'elenco degli edifici investigati è riportato di seguito:

- Municipio;
- Palazzetto dello Sport;
- Scuola Materna Camisano;
- Scuola Elementare Rampazzo;
- Scuola Elementare Santa Maria;
- Scuola Elementare Camisano;
- Scuola Media Virgilio.

5 Modello del suolo e del sottosuolo

Il quadro conoscitivo necessario a realizzare il modello geologico del sottosuolo si basa sulla raccolta dei dati pregressi, integrata con nuove indagini, che possono identificarsi in rilievi geologici, geomorfologici e geologico-tecnici, sondaggi e indagini geofisiche.

La base informativa sulla quale si è basato lo studio si è fondata sulla cartografia geologica provinciale e sulle carte allegare allo strumento urbanistico vigente (PAT), sulla relazione geologica del PAT e sul complesso di informazioni di natura geologico-geotecnica dedotte dalla documentazione fornita dall'Amministrazione comunale e dalle banche dati geognostiche e cartografiche disponibili, compresi i dati inediti e i rilievi di campo condotti.

Particolare attenzione è stata dedicata alla ricostruzione dei caratteri geotecnici e sismici dei depositi di copertura e delle principali morfologie, e alla ricerca di un eventuale substrato sismico.

La stratigrafia, in chiave lito-stratigrafica e sismica, dei terreni di pianura è stata ricostruita attraverso il set di penetrometrie, carotaggi e indagini geofisiche disponibili e di nuova acquisizione. Lo studio ha permesso di evidenziare come il territorio comunale presenti una certa uniformità geolitologica data da alternanze di sedimenti da granulari a coesivi, prevalentemente sabbioso-limosi e limoso-argillosi. La crescita della pianura attraverso la migrazione dei meandri e la costruzione di corpi sedimentari più grossolani da parte delle antiche aste fluviali è testimoniata dalla frequente alternanza di orizzonti plurimetri dei due termini tessiturali.

6 Interpretazioni e incertezze

La ricostruzione del modello geologico locale, realizzato con il contributo di tutte le informazioni di carattere geologico e geofisico acquisite, è giocoforza dipendente dalla qualità e dalla quantità dei dati disponibili.

La profondità e la geometria del substrato sismico in pianura non è nota. Non erano a disposizione degli scriventi carotaggi, penetrometrie o prove geofisiche che abbiano intercettato il bedrock.

I dati geofisici risultano essere di buona qualità e coerenti col quadro stratigrafico locale.

La stratigrafia dei terreni quaternari è riferibile in larga parte a depositi alluvionali con termini che vanno dalle sabbie limose alle argille. L'ambiente continentale di deposizione determina frequenti variazioni granulometriche sia in verticale che in orizzontale, mentre a luoghi sono presenti alternanze dovute a variazioni nell'energia di trasporto.

Ai fini della liquefazione si è considerato che possano essere presenti lenti o livelli di sabbia che per geometria e caratteristiche geotecniche e giaciture rientrano nei casi di potenziale liquefazione dei terreni.

7 Metodologie di elaborazione e risultati

7.1 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 Velojet 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 microtremori).

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.

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.

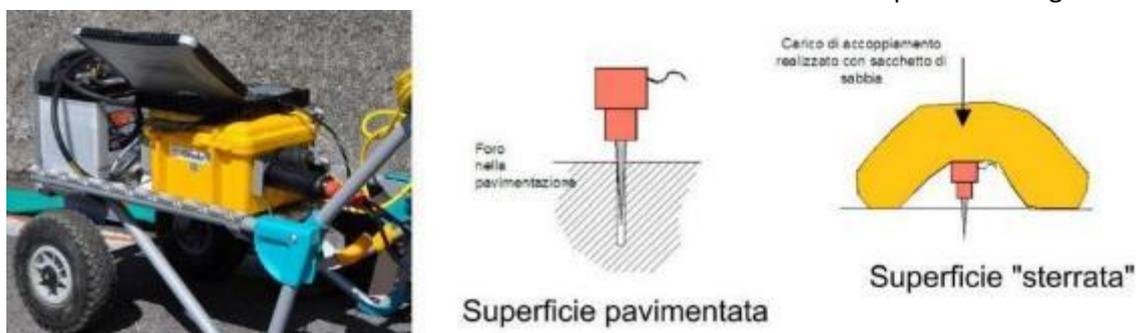


Figura 17 – Strumentazione per la misura della VS. Sismografo a 24 canali Geometrics GEODE (a sinistra). Schema di accoppiamento dei geofoni su pavimentazione (al centro) o su strada sterrata o in ghiaia (a destra).

7.2 COMMENTO GENERALE ALLE MISURE DI Vs30 E HVSR

Gli esiti delle indagini HVSR e ReMi sono riportati nelle schede agli allegati 17302_20170811_ALL02_00 (HVSR) e all'allegato 17302_20170811_ALL01_00 (Vs-ReMi) ai quali si rimanda per una descrizione puntuale dei siti.

ReMi	x	y	Vs30	classe
1	240853.9429	5046186.601	300	C
2	241074.1671	5045642.039	287	C
3	241283.7104	5046574.064	253	C
4	242796.5854	5045203.963	213	C
5	242455.8789	5046370.067	257	C
6	243077.4009	5045966.221	262	C
7	244272.7148	5046085.18	221	C
8	243100.8854	5046597.367	215	C
9	243872.0221	5046825.323	248	C
10	244859.1755	5046190.93	217	C
11	244983.3256	5045904.819	217	C
12	241263.6383	5047867.121	249	C
13	241031.6335	5049269.179	213	C
14	240641.9654	5047333.288	219	C
15	242881.1529	5043892.292	315	C
16	243802.5699	5043404.347	238	C
17	244127.2153	5044693.57	216	C
18	242201.6645	5044714.553	262	C
19	243645.8843	5044720.24	208	C
20	241237.3897	5044668.533	222	C
21	244720.8124	5050210.142	205	C
22	245066.0254	5049511.449	203	C
23	244447.6038	5048856.617	230	C
24	244024.4335	5047992.108	212	C
25	242778.3171	5047441.113	222	C
26	242223.5159	5048057.544	221	C
27	245040.2146	5047634.406	231	C
28	245748.0293	5047029.885	209	C
29	246096.9795	5046155.185	199	C
30	244409.1208	5047621.795	214	C
31	243505.9208	5046227.053	233	C
32	241984.5122	5049168.288	211	C
33	243640.83	5048545.466	209	C
34	240206.3676	5047744.648	226	C
35	245613.6418	5048578.324	200	C

Tabella 6 – Distribuzione dei valori di Vs₃₀ e relative coordinate.

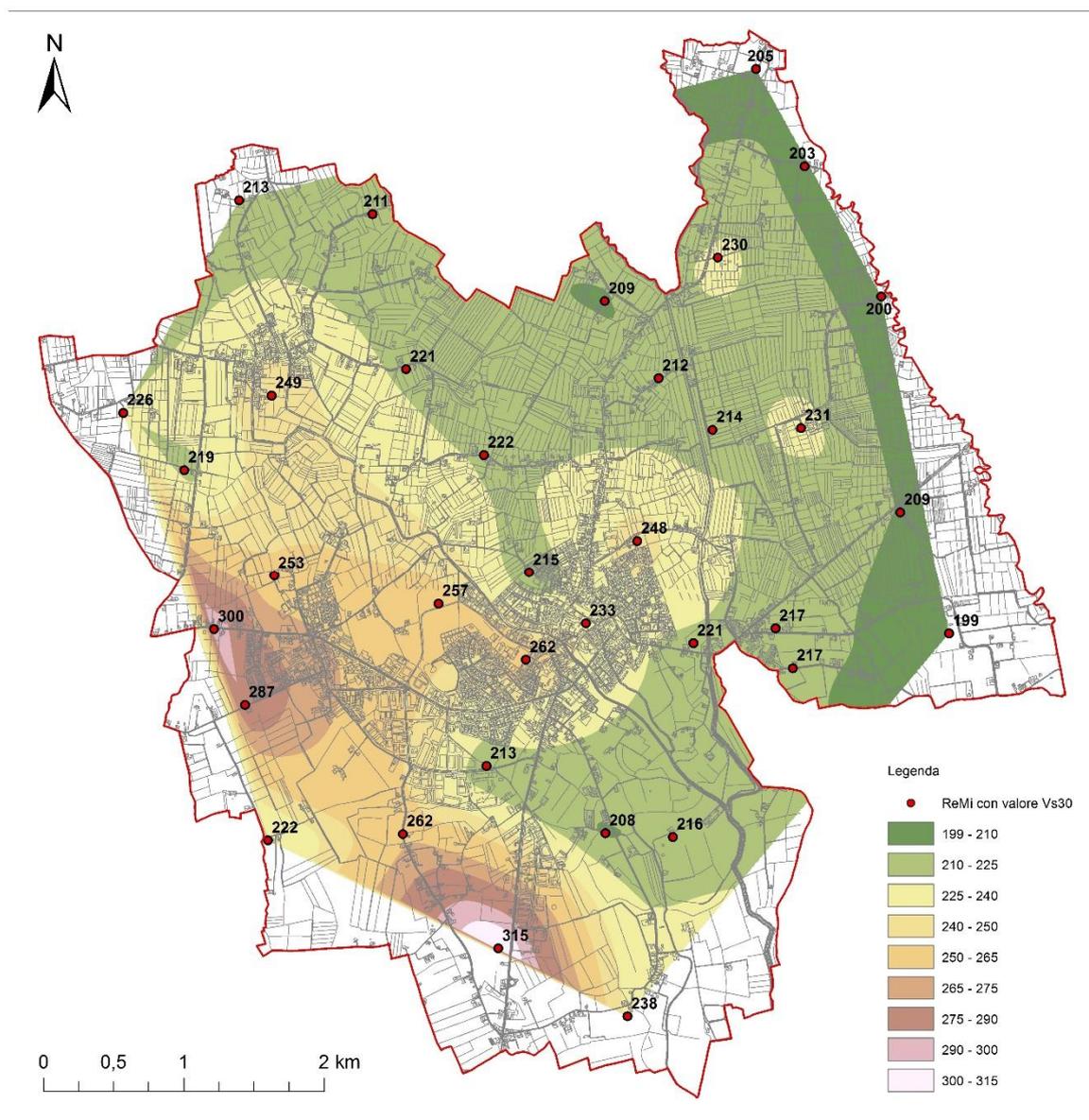
L'analisi della distribuzione della velocità delle onde di taglio indica, per il territorio comunale in esame, una situazione abbastanza uniforme. Questa scarsa differenziazione nella risposta sismica

altro non è che l'immagine dell'assetto geologico stratigrafico del sito caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali contraddistinti da un certo grado di uniformità nei parametri elastici intrinseci.

La V_{s30} e più in generale la V_s varia da 199 m/s a 315 m/s con una media di 232 m/s e una mediana di 221 m/s. I suoli di fondazione, secondo i dettami delle NTC 2008, ricadono quindi interamente nella classe C.

Le misure ReMi e H/V sono state equamente distribuite all'interno del territorio comunale al fine di caratterizzare uniformemente i parametri elastici dei terreni.

La distribuzione dei valori di V_{s30} trova un buon accordo con la geologia superficiale, con valori di V_s più elevati in corrispondenza dei quadranti occidentali e valori più bassi lungo il settore orientale dove, secondo il PTCP della provincia di Vicenza, i terreni sono più fini.



ID_SPU	x	y	Name HVSR	F°	A°	F ¹	A ¹	F ²	A ²
024021P22	240858.500	5046186.354	1	0.75					
024021P23	241069.350	5045639.282	2	3.39	1.75	6.72	1.25	9.4	1.28
024021P24	241291.275	5046545.020	3	7.96	11.06	2.96	10.55		
024021P25	242800.700	5045191.930	4	11.94	3.12	4.53	1.42		
024021P26	242449.139	5046359.885	5	3.05	1.47				
024021P27	243083.239	5045972.491	6	2.90	1.73				
024021P28	244263.563	5046060.805	7	1.07	1.74	13.26	1.66		
024021P29	243083.076	5046617.929	8	2.72	1.33	1.14	1.94	7.22	1.15
024021P30	243884.649	5046828.691	9	1.06	2.8				
024021P31	244866.356	5046191.375	10	1.07	3.08				
024021P32	244974.706	5045919.030	11	1.17	2.81				
024021P33	241189.295	5047936.595	12	1.18	1.6	8.05	1.24	12.99	1.34
024021P34	241005.101	5049277.094	13	2.98	1.49	6.26	1.32		
024021P35	243237.084	5045931.687	14	9.38	1.45	1.3	1.15	2.9	1.31
024021P36	242948.395	5043910.863	15	8.14	2.4	1.65	1.16		
024021P37	243781.331	5043457.228	16	4.01	2.1	1.06	1.32	2.23	1.4
024021P38	244114.183	5044663.671	17	3.48	1.94				
024021P39	242194.161	5044761.897	18	11.12	1.81	3.31	1.42		
024021P40	242829.304	5046156.037	19	1.15	1.55				
024021P41	241334.324	5044700.472	20	1.07	1.41				
024021P42	244698.065	5050168.185	21	=	=				
024021P43	241343.992	5048151.009	22	7.05	2.38				
024021P44	244301.894	5048798.871	23	9.18	1.85				
024021P45	241740.664	5045915.378	24	1.14	2.69				
024021P46	242764.200	5047441.045	25	1.07	1.48				
024021P47	242194.192	5048055.036	26	2.70	1.18				
024021P48	244979.598	5047668.563	27	1.10	1.39	2.9	1.48	8.24	1.89
024021P49	245728.352	5047011.005	28	2.23	1.31	1.41	1.31	7.14	1.29
024021P50	246144.726	5046169.318	29	3.01	1.13				
024021P51	244407.484	5047541.897	30	1.09	2.16	2.84	1.52		
024021P52	243471.835	5046249.119	31	8.24	1.64	3.97	1.47		
024021P53	241987.098	5049212.559	32	3.45	1.42				
024021P54	243657.638	5048570.164	33	1.20	1.09				
024021P55	240189.283	5047813.970	34	1.07	1.25	2.77	1.21	10.47	1.01
024021P56	245509.836	5048533.699	35	6.26	1.41				

Tabella 7 – Distribuzione dei valori di Frequenza e Ampiezza (misure HVSR); in grassetto i valori di A superiore a 2.

Le frequenze fondamentali e la relativa ampiezza del rapporto H/V mostrano una maggior varietà nella distribuzione sul territorio, con frequenti misure di frequenza fondamentale compresi tra 1 e 1,2 Hz (37% delle misure).

Il picco molto ristretto e fortemente definito consente di ipotizzare che si tratti di misure di frequenza fondamentale contaminate da sorgenti polarizzate di rumore coerente; potrebbe trattarsi di siti produttivi o altre fonti di disturbo.

Manca l'evidenza, anche negli spettri a picchi multipli, di una chiara firma spettrale di un eventuale substrato sismico compreso nel range di investigazione delle misure geofisiche.

I valori di ampiezza del rapporto H/V, fatta salva qualche situazione locale, sono modesti e questo è probabilmente ascrivibile al ridotto contrasto di impedenza acustica tra substrato e coperture in virtù dell'interposizione di un substrato con caratteristiche intermedie di densità e di velocità. Si rileva inoltre come il rapporto H/V per la quasi totalità dei siti analizzati sia inferiore a 2 e quindi, almeno secondo le indicazioni del progetto Sesame, poco significativo in termini di amplificazione.

8 Misure di HVSR su edifici sensibili o strategici

Su indicazione dell'Amministrazione comunale sono state condotte misure HVSR in corrispondenza di 7 edifici sensibili, al fine di effettuare un'analisi preliminare della vulnerabilità dei fabbricati. Le misure sismiche strumentali sui terreni permettono di caratterizzare la risposta sismica del sottosuolo per una più corretta valutazione della pericolosità sismica locale. Le misure sismiche strumentali sugli edifici permettono di identificare la frequenza di vibrazione delle strutture nei diversi modi. Gli effetti di un sisma su un edificio sono fortemente condizionati dalle risposte in frequenza dei terreni e degli edifici stessi. In particolar modo l'occorrenza della doppia risonanza, può determinare un aumento delle oscillazioni dell'edificio stesso e quindi del relativo danno. L'elenco degli edifici investigati è riportato di seguito:

- Municipio;
- Palazzetto dello Sport;
- Scuola Materna Camisano;
- Scuola Elementare Rampazzo;
- Scuola Elementare Santa Maria;
- Scuola Elementare Camisano;
- Scuola Media Virgilio.

EDIFICIO		Municipio						
UBICAZIONE	Frequenza di risonanza f0 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V			
	E	N	Z		E	N	Z	
	f0	f0	f0	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V	
piano terra	4.26	4.19	4.19	8.24	2.04	1.66	2.11	
piano primo	7.03	5.34	4.85	8.24	4.60	4.51	4.42	
		Frequenza di risonanza f1 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
		E	N	Z		E	N	Z
		f1	f1	f1	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	/	/	/	8.24	/	/	/	
piano primo	/	/	/	8.24	/	/	/	

EDIFICIO		Scuola Media "Virgilio" - capoluogo						
UBICAZIONE	Frequenza di risonanza f0 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V			
	E	N	Z		E	N	Z	
	f0	f0	f0	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V	
piano terra	4.40	2.67	4.00	8.24	1.87	1.66	1.47	
piano primo	/	1.15	4.00	8.24	/	2.19	1.66	
		Frequenza di risonanza f1 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
		E	N	Z		E	N	Z
		f1	f1	f1	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	/	/	/	8.24	/	/	/	
piano primo	/	/	/	8.24	/	/	/	

EDIFICIO Scuola Elementare - capoluogo							
UBICAZIONE	Frequenza di risonanza f0 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
	E	N	Z		E	N	Z
	f0	f0	f0	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	/	1.54	/	9.38	/	1.54	/
	Frequenza di risonanza f1 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
	E	N	Z		E	N	Z
	f1	f1	f1	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	/	/	/	9.38	/	/	/

EDIFICIO Scuola Materna "Rodari" - capoluogo							
UBICAZIONE	Frequenza di risonanza f0 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
	E	N	Z		E	N	Z
	f0	f0	f0	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	4.19	/	4.06	2.72	1.82	/	1.59
	Frequenza di risonanza f1 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
	E	N	Z		E	N	Z
	f1	f1	f1	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	/	/	/	2.72	/	/	/

EDIFICIO Palasport - capoluogo							
UBICAZIONE	Frequenza di risonanza f0 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
	E	N	Z		E	N	Z
	f0	f0	f0	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	3.93	0.89	3.51	1.15	2.96	1.49	1.68
	Frequenza di risonanza f1 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
	E	N	Z		E	N	Z
	f1	f1	f1	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	/	/	/	1.15	/	/	/

EDIFICIO Scuola elementare - Rampazzo							
UBICAZIONE	Frequenza di risonanza f0 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
	E	N	Z		E	N	Z
	f0	f0	f0	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	1.96	/	1.15	7.05	1.49	/	1.78
	Frequenza di risonanza f1 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
	E	N	Z		E	N	Z
	f1	f1	f1	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V

	f1	f 1	f1	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	8.39	/	/	7.05	1.47	/	/

EDIFICIO Scuola Elementare A. Fogazzaro - Santa Maria							
UBICAZIONE	Frequenza di risonanza f0 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
	E	N	Z		E	N	Z
	f0	f0	f0	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	6.08	2.63	1.13	1.14	1.76	1.50	1.54
piano primo	/	8.00	8.39	1.14	/	3.12	3.23
	Frequenza di risonanza f1 (Hz)				Ampiezza dello spettro H/V		
	E	N	Z		E	N	Z
	f1	f1	f1	f0 TERRENO	amp. H/V	amp. H/V	amp. H/V
piano terra	/	/	/	1.14	/	/	/
piano primo	/	/	1.13	1.14	/	/	1.78

Tabella 8 – Edifici strategici. Valori di f e A. Con il colore di fondo rosa sono indicati i valori di A in corrispondenza di misure del rapporto H/V superiori a 2 che sono considerate significative dalle linee guida del Progetto Sesame. Le frequenze di risonanza nelle strutture compatibili con la frequenza fondamentale del terreno sono indicate in rosso.

Le misure sono state effettuate al piano terra e in corrispondenza dei solai ai diversi piani. È stata inoltre eseguita una misura HVSR sul terreno, in prossimità dell'edificio, e una misura di Vs.

I dati sono stati pre-formati con un codice di calcolo in Matlab e successivamente elaborati con il software Geopsy.

Nelle schede allegate sono riportati i rapporti spettrali edificio/terreno (Allegato: Schede indagini edifici sensibili; 17302_20170811_ALL03_00).

La rimozione della frequenza fondamentale del suolo dalla vibrazione complessiva dell'edificio è stata eseguita con il metodo Standard Spectral Ratio (SSR). Ciascuna componente E, N e Z dei rilievi condotti nell'edificio è stata rapportata alla corrispondente componente E, N e Z della misura condotta sul terreno di fondazione. Nell'allegato sono rappresentati i grafici con le componenti C2-C1/C1, C2-C1/C2, C2/C1 e C2-C1, dove C1 rappresenta la misura al suolo e C2 la misura del solaio.

La tabella precedente riassume gli esiti dei rilievi e delle analisi condotte; sono indicati con il colore di fondo rosa i valori di A in corrispondenza di misure del rapporto H/V superiori a 2 che sono considerate significative dalle linee guida del Progetto Sesame.

Le frequenze di risonanza nelle strutture compatibili con la frequenza fondamentale del terreno sono indicate in rosso.

9 Elaborati cartografici

9.1 CARTA DELLE INDAGINI

La Carta delle Indagini per la Microzonazione Sismica di livello I 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	Prova penetrometrica statica con punta meccanica	16
Carotaggi	S	Sondaggio a carotaggio continuo	5
HVSR	HVSR	Stazione microtremore a stazione singola	35

INDAGINI LINEARI			
TIPO INDAGINE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE per MS	TOTALE
ReMi	ReMi	Prova REfractionMicrotremors	35

Tabella 9 - Numero di indagini classificate per tipologia

Sono state selezionate le indagini maggiormente significative ai fini della costruzione del modello sismo-stratigrafico.

9.2 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (CGT_MS)

La Carta Geologico-Tecnica (CGT_MS), alla scala 1:10.000 contiene le informazioni derivate dalla carta geolitologica, geomorfologica ed idrogeologica, già previste nell'ambito del PAT e del PTCIP. Questa rielaborazione rappresenta il dato in ingresso per la redazione della carta della pericolosità sismica locale (CPSL). L'uniformità del modello geologico locale ha suggerito di rappresentare una colonna stratigrafica tipo in sostituzione delle sezioni litostratigrafiche significative che vengono solitamente allestite. I dati riportati nella CGT_MS sono stati impiegati per la definizione del modello di sottosuolo e sono funzionali alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (livello I).

La classificazione dei depositi è avvenuta in funzione dei caratteri geotecnici e geomeccanici, del processo genetico di formazione e della granulometria prevalente.

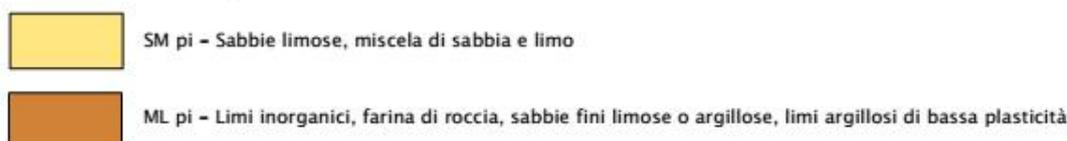
Per descrivere la tessitura dei terreni è stato utilizzato l'Unified Soil Classification System (leggermente modificato, ASTM, 1985), un sistema di classificazione dei suoli che può essere applicato alla maggioranza dei materiali non consolidati ed è composto da una sigla formata da 2 lettere. Tale codice, relativo al terreno di copertura, è stato completato col codice relativo agli ambienti genetico-deposizionali.

Gli elementi rappresentati nella CGT_MS sono suddivisi secondo i seguenti gruppi:

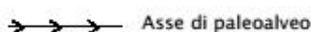
1. Elementi geologici ed idrogeologici;
2. Forme di superficie e sepolte;
3. Terreni di copertura.

La legenda è riportata integralmente nella figura seguente.

Terreni di copertura



Elementi lineari tettonici e strutturali



Elementi geologici e idrogeologici

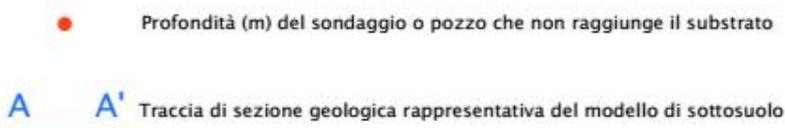


Figura 8 – Legenda della Carta Geologico Tecnica

Per ciò che concerne gli elementi geologico tecnici, si rimanda alla seguente tabella di conversione:

Sigla CGT	Formazione/materiale	Descrizione
SM pi	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo	Depositi alluvionali di media-bassa pianura prevalentemente granulari, fini, afferenti alle porzioni prossimali delle aste fluviali (corpi di canale, depositi di arginale naturale)
ML pi	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose e argillose, limi argillosi di bassa plasticità	Depositi alluvionali di media-bassa pianura prevalentemente coesivi, afferenti alle porzioni distali delle aste fluviali (depositi di decantazione)

Tabella 10 – Descrizione delle campiture per la CGT. Legenda dei codici relativi agli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura: pi=piana inondabile.

9.3 CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (CPLS)

La carta della pericolosità sismica locale (CPSL) è una carta opzionale prevista dalle *Linee Guida (DGR 1572/2013)* della Regione Veneto. Essa viene derivata dalle carte di base, in particolare dalla CGT-MS, e riporta la perimetrazione areale delle situazioni tipo P1, P2, P4 e P5 e gli elementi lineari delle situazioni tipo P3 in grado di determinare gli effetti sismici locali in riferimento alla *Tabella 8 - Elementi della carta di Pericolosità Sismica Locale (primo livello)* delle citate linee guida regionali.

Nel caso di strumenti urbanistici attuativi, la carta CPSL deve essere sempre allegata.

Sigla	Scenario di pericolosità sismica locale	Effetti
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità per frana
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	Instabilità per cedimenti e/o liquefazioni
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreni di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita – arrotondata	
P4a	Zona di fondovalle ampia e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
P4b	Zona di fondovalle stretta (C>0.25) o in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale	
P4c	Zona pedemontana, falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi	
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	Comportamenti differenziali
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole	

Tabella 11 - Elementi della carta di Pericolosità Sismica Locale (primo livello)- Tabella 8 delle Linee Guida Regionali (DGR 1572/2013)

La carta della pericolosità sismica locale individua le aree soggette ad instabilità, amplificazione e comportamenti differenziali, in cui si rendono necessari i successivi livelli di approfondimento ed in particolare questi si renderanno indispensabili quando il progetto urbanistico individuerà delle previsioni di tipo espansivo e di incremento del carico urbanistico.

Si riporta di seguito la legenda adottata per la carta CPSL.

Legenda

 Confine comunale

Zone suscettibili a liquefazione e cedimenti

 P2b – Zona con depositi granulari fini saturi

Figura 9 - Legenda della carta della pericolosità sismica locale – CPSL

9.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (CMOPS, LIVELLO I)

La *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (CMOPS)* del livello I costituisce il documento fondamentale della MS di livello I. La Carta è stata redatta alla scala 1:10.000 a partire dalla CGT_MS e dalla CPSL, con le opportune integrazioni e implementazioni derivanti dal quadro complessivo delle conoscenze acquisite.

La Carta è realizzata per ottenere un adeguato dettaglio, utile per il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- caratterizzazione del substrato geologico;
- caratterizzazione dei terreni di copertura;
- ricostruzione delle aree potenzialmente interessate da deformazioni permanenti in caso di evento sismico;
- definizione di forme di superficie e sepolte, particolarmente importanti per problematiche sismiche.

La CMOPS suddivide il territorio comunale in aree omogenee dal punto di vista della risposta sismica. Nelle *Linee guida* nazionali (ICMS, 2008) tali aree sono classificate come segue:

1. Zone stabili
2. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
3. Zone di attenzione per le instabilità
 - a. Zone di Attenzione per le FR
 - b. Zone di Attenzione per le LQ
 - c. Zone di Attenzione per le FAC
4. Faglie attive e capaci
5. Forme di superficie e sepolte

Nella carta sono inoltre inseriti anche i punti di misura di rumore ambientale.

9.4.1 *Zone stabili*

Si tratta di zone nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento. Sono le zone dove è affiorante il substrato geologico con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a circa

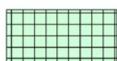
15°). Pertanto, mancando il substrato affiorante relativamente al territorio comunale, la CMOPS prevede l'assenza di zone stabili.

9.4.2 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Si tratta di zone nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale.

Tutto il territorio comunale presenta condizioni di amplificazione stratigrafica. Tuttavia, essendo sovrapposta anche una condizione di instabilità per liquefazione, la relativa zona di attenzione è classificata come "instabile" (vedi oltre).

Zone di attenzione per le instabilità



2001 – ZA_{LQ} – Zone di Attenzione per Liquefazione.

Forme di superficie e sepolte



Asse di paleoalveo

Figura 10 - Legenda della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

9.4.3 Zone di attenzione per le instabilità

Per il territorio comunale sono comprese in questa categoria le aree suscettibili di liquefazione dei terreni. Per quanto riguarda le zone di attenzione per le instabilità è stata distinta la seguente unica zona:

- ZA LQ – Zona di attenzione per liquefazione;

In generale si tenga presente che la stratigrafia indicata per la singola MOPS individuata ha valore indicativo e rappresenta l'assetto di riferimento del sottosuolo, che tuttavia può discostarsi dal modello di sintesi per geometria, spessore e tipologia dei materiali. La ricostruzione è stata infatti condotta attraverso l'impiego di stratigrafie e di dati geofisici discreti. La loro distribuzione, il dettaglio dei log e la complessità intrinseca dei sistemi geologico-deposizionali impongono tutte le consuete limitazioni ad una generalizzazione del sottosuolo.

La *zona di attenzione per instabilità* prevista per il Comune di Camisano Vicentino è così rappresentata:

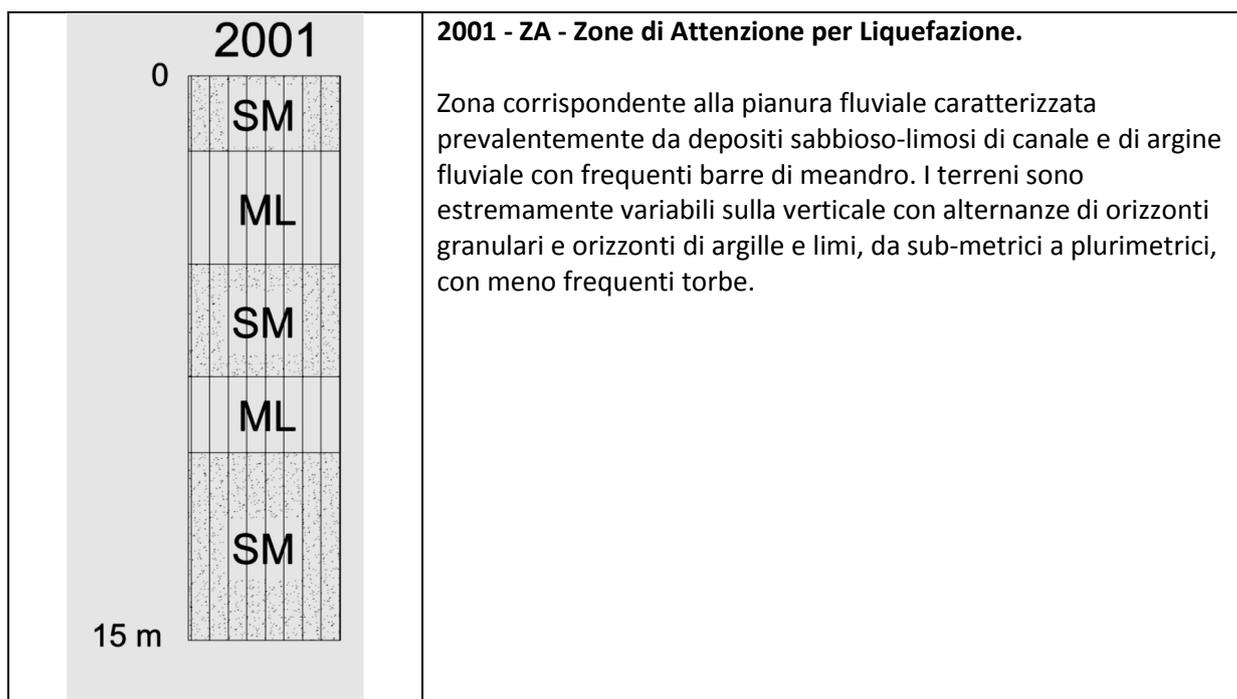


Figura 11 - Zone di attenzione per instabilità

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.

Secondo le *Linee Guida* nazionali, negli studi di Primo livello 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. M_w attesa al sito >5
4. Accelerazioni massime in superficie (PGA) $>0.1g$.

Nell'area del Comune di Camisano Vicentino sono presenti sia orizzonti sabbiosi superficiali che livelli plurimetrici entro i 15 m da p.c., mentre la falda si trova molto prossima alla superficie, ed è compresa tra 0 e 2 m da p.c.

I punti 3 e 4 sono verificati.

Con tali premesse, si ritiene che l'intero territorio comunale risultanti potenzialmente liquefacibile.

È pertanto opportuno che negli studi successivi, quando siano identificati strati o lenti di sabbie sciolte sotto falda, sia valutato il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

La suscettibilità del terreno dovrà essere valutata sulla base di prove in sito (SPT e/o CPT e/o prove geofisiche in foro del tipo DH, CH e/o SCPT), esplorando un numero di verticali adeguato all'importanza dell'opera e all'estensione dell'area di indagine e sufficiente ad accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del deposito. Dovrà anche essere determinata con appropriate rilevazioni l'entità delle fluttuazioni dei livelli di falda e nelle analisi dovrà considerarsi la condizione meno cautelativa.

9.4.4 Forme di superficie e sepolte

Sono rappresentate dagli elementi lineari relativi agli assi di paleoalveo.

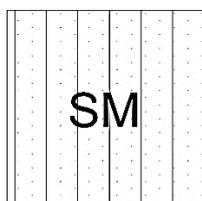
9.4.5 Tracce di sezione topografica

Le tracce di sezione topografica definiscono le aree di attenzione rispetto alle amplificazioni topografiche (generalmente individuate in corrispondenza di forme di superficie tipo scarpate, terrazzi e creste), che dovranno essere oggetto di quantificazione nei livelli di approfondimento successivi.

Nella carta non è stata condotta alcuna *Traccia per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche* non essendo presenti dislivelli adeguati.

9.5 SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

La stratigrafia dei terreni nel comune di Camisano Vicentino presenta un discreto grado di uniformità con alternanze plutimetriche di tessiture granulari e coesive. E' opportuno considerare che trattandosi di una pianura alluvionale caratterizzata da migrazioni laterali di meandri fluviali e da depositi classati granulometricamente secondo la distanza dai punti di tracimazione o di rotta, le architetture sedimentarie presenti mostrano un certo grado di variabilità negli spessori e nelle sequenze, pur all'interno del medesimo modello deposizionale.

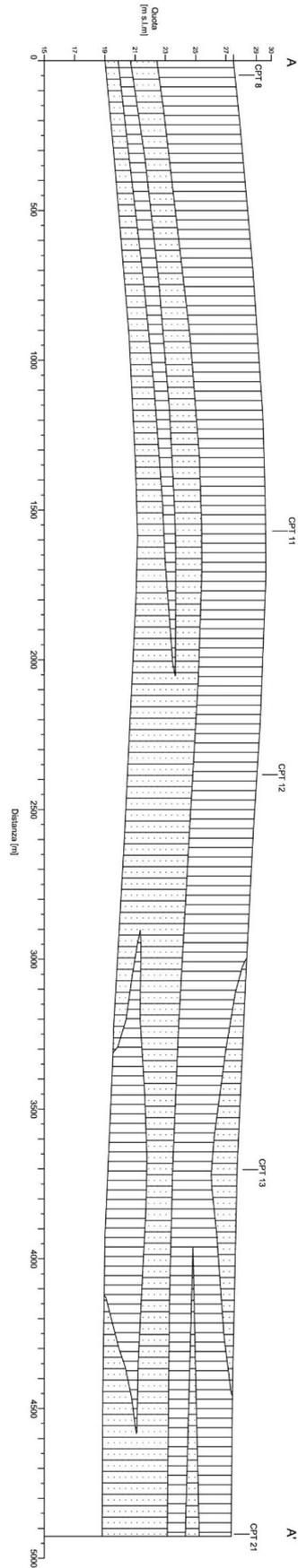


SM pi - Sabbie limose, miscela di sabbia e limo.
Depositi alluvionali di media-bassa pianura prevalentemente granulari, fini, afferenti alle porzioni prossimali delle aste fluviali (corpi di canale, depositi di arginale naturale).



ML pi - Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità.
Depositi alluvionali di media-bassa pianura prevalentemente coesivi, afferenti alle porzioni distali delle aste fluviali (depositi di decantazione).

Figura 12 – Legenda delle classi litologico-tessiturali impiegate nelle sezioni lito-stratigrafiche.



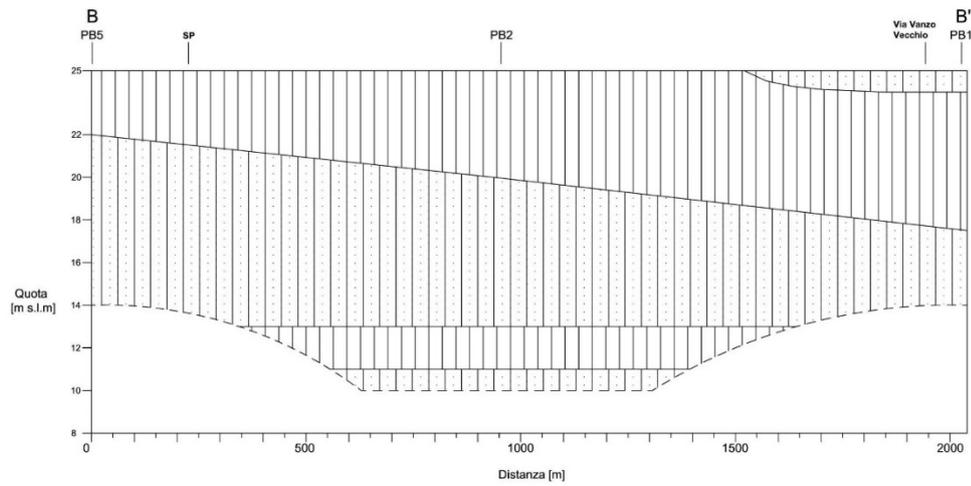


Figura 13 - Sezioni litostatigrafiche. In alto la sezione 1 (A-A'); in basso la sezione 2 (B-B').
Si noti l'esagerazione verticale nella scala delle altezze.

10 Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

Si presenta di seguito un sintetico resoconto dei terremoti che hanno investito il nord Italia, investendo inevitabilmente anche il territorio comunale di Camisano Vicentino.

Per quanto riguarda i terremoti del passato non sono state reperite specifiche testimonianze storiche o documentarie relative a danni subiti dai fabbricati nel territorio comunale.

Terremoto di Verona del 3 gennaio 1117

L'evento meno recente di cui si ha testimonianza è il terremoto di Verona del 3 gennaio 1117, con Magnitudo momento 6.4. L'epicentro della prima devastante scossa dovrebbe essersi localizzato nel veronese, tra Zevio e Ronco all'Adige, con la città capoluogo fortemente danneggiata. A Verona, infatti, cadde la recinzione esterna dell'Arena, lasciandone una porzione che fu poi danneggiata ulteriormente da un successivo terremoto (1183), creando l'attuale suggestiva forma dell'Arena con la sua "ala". Quasi tutte le chiese, i monasteri e i monumenti furono distrutti o seriamente danneggiati, tanto da eliminare dalla città le testimonianze alto-medievali. Il sisma si fece sentire in tutta l'alta Italia da Cividale a Pavia, nel pisano e addirittura in Svizzera. L'area di massima distruzione viene individuata in quella veronese e duramente colpite risultarono anche l'area tra il Lago di Garda e Padova, quella tra Piacenza e l'Appennino Tosco-Emiliano, e quella attorno a Pisa. I danni, oltre che a Verona, si concentrarono a Milano, Bergamo, Brescia, Vicenza, Venezia, Treviso, Padova, Modena, Pavia, Parma e Cremona e si ipotizzano almeno 30.000 morti.

Probabilmente si tratta di uno dei terremoti più violenti registrati in nord Italia

Terremoto del 4 novembre 1268

Il terremoto ebbe il suo epicentro nell'alta marca trevigiana. Tratto da CFTI: "Il terremoto colpì la valle del Piave tra le Prealpi e la pianura veneta. I centri che subirono maggiori danni furono Treviso, dove crollarono edifici privati e fu danneggiato il convento di Santa Cristina, e Asolo, la cui rocca subì danni gravi; l'area di risentimento fu estesa a Padova e a Feltre."

Terremoto di Asolo del 25 febbraio 1695

Si tratta di un terremoto di forte intensità connesso al sovrascorrimento di Bassano – Cornuda che coinvolse i colli asolani. Tratto da CFTI: "L'evento causò gravi danni in larga parte del Veneto; l'area più danneggiata è localizzata nell'alto trevigiano, a sud del Monte Grappa. Le località più colpite furono la città di Asolo e i villaggi circostanti: oltre 30 centri abitati subirono distruzioni gravissime e in altri 24 paesi e villaggi si ebbero crolli parziali e dissesti. Ad Asolo crollarono 1.477 case e 1.284 furono gravemente danneggiate. Danni contenuti (crollo di comignoli, leggere lesioni agli edifici e alle opera murarie) sono ricordati a Rovigo, Ferrara e Verona. Le fonti coeve descrivono i danni agli edifici spesso con il termine "diroccamento": sottoposto a una prima analisi semantica, basata sul confronto tra i vari documenti, questo termine è stato ritenuto equivalente all'espressione: "crolli con ribaltamento di qualche muro portante". La scossa fu sentita in una vastissima area, comprendente la regione padana, dai territori bolognesi e ferraresi fino a Varese, le Prealpi lombarde, la regione del Garda e le Prealpi venete."

Terremoto del Bellunese del 1873

Del terremoto del 1873, avvenuto alle 3,58 del mattino del 29 giugno esiste una dettagliata descrizione fatta nei giorni successivi l'evento dai geologi Giulio Pirona e Torquato Taramelli. L'intensità epicentrale è stata valutata in 9,5° M.C.S., la magnitudo è stata stimata in 6,3 (ML magnitudo della scala Richter).

Il suo epicentro venne individuato in Alpago, il sisma però venne avvertito in tutto il Veneto. Gravi danni vennero registrati anche nei centri abitati posti attorno al Cansiglio, nella Val Lapisina e in tutto il territorio pedemontano trevigiano dove si contarono complessivamente 53 vittime, di cui ben 38 a San Pietro di Feletto, dove crollò il tetto della vecchia chiesa in cui, al momento del terremoto, si trovavano riuniti fedeli riuniti per la Messa mattutina. Ingenti furono i danni sia nell'Alpago, che nel Vittorinese e nella fascia ai piedi del Cansiglio posta a SW dell'altopiano.

Terremoto del 12 giugno 1836

Tratto da CFTI: "La scossa avvenne il 12 giugno 1836 alle ore 2:30 GMT e colpì la zona delle Prealpi venete posta nel versante meridionale del Monte Grappa. Gli effetti più gravi furono riscontrati nei paesi di Borso del Grappa, Fonte, Liedolo e Sant'Eulalia, dove la scossa causò il crollo totale di alcune case e ne danneggiò altre. Gravi danni vi furono anche a Crespano, Paderno del Grappa, Pagnano, Possagno, San Zenone degli Ezzelini e Semonzo. A Bassano la scossa causò la caduta di fumaioli e l'apertura di fenditure nei muri degli edifici; più di 60 case furono danneggiate. La scossa fu avvertita a sud fino a Parma e a Ferrara, a nord in quasi tutto il Tirolo. Il 20 luglio 1836, alle ore 11:00 GMT, furono avvertite due forti repliche che causarono ulteriori danni a Borso del Grappa e a Possagno."

Terremoto del 20 gennaio 1859

Il terremoto interessò il Trevigiano, in particolare l'area fra Conegliano e Valdobbiadene. I maggiori danni furono registrati a Collalto.

Terremoto del 29 Giugno 1873

Il sisma colpì la conca dell'Alpago e il Bellunese. Danni importanti furono registrati nel trevigiano e nel pordenonese in prossimità del Cansiglio. La città di Belluno registrò i danni maggiori.

La scossa fu percepita in tutto il Nord e in parte del centro Italia e anche nelle località estere confinanti con l'Italia. A San Pietro di Feletto furono registrate 38 vittime a causa del crollo del tetto della chiesa.

Terremoto del 29 dicembre 1885

Terremoto con zona epicentrale corrispondente all'area di Vittorio Veneto.

Terremoto del 14 aprile 1887

Terremoto con zona epicentrale nei colli asolani. Non causò particolari danni.

Terremoto del 4 marzo 1900

Il terremoto ebbe il suo epicentro a Valdobbiadene ma fu avvertito in tutto il Veneto e nelle regioni confinanti.

Terremoto del Bosco del Cansiglio 1936

Un nuovo terremoto, classificato del IX grado della scala Mercalli, colpì il trevigiano. L'epicentro venne individuato in Pian Cansiglio, ad una profondità prossima a 14 chilometri. Le repliche proseguirono fino al mese di marzo dell'anno successivo.

Gravissimi danni si ebbero anche nella conca dell'Alpago: dal 50 al 70 % delle case divennero inabitabili a Puos d'Alpago, Cornei e Villa. La scossa fu avvertita in tutto il Nord Italia, in Slovenia, Austria e Svizzera.

Da allora più volte nella fascia prealpina e pedemontana bellunese e trevigiana si sono ripetuti eventi sismici di più modesta energia tali da non produrre danni degni di nota. L'ultimo in ordine di tempo è quello del maggio del 2012 con epicentro nella zona di Chies D'Alpago.

Terremoto del 06 maggio 1976

Il sisma interessò l'area friuliana con risentimenti in tutto il nord-est. Tratto da CFTI: "Il periodo sismico che nella primavera-estate del 1976 colpì il Friuli fu caratterizzato da una lunga serie di scosse (oltre 400). Dopo l'evento principale avvenuto il 6 maggio, alle ore 21:00 (20:00 GMT), le repliche più violente si ebbero, a distanza di oltre 4 mesi, l'11 e il 15 settembre. La scossa del 6 maggio, colpì l'alta valle del Tagliamento ed ebbe i suoi massimi effetti in un'area di circa 900 kmq di estensione, comprendente, fra gli altri, gli abitati di Moggio Udinese, Venzone, Bordano, Trasaghis, Gemona del Friuli, Lusevera, Osoppo, Montenars, Forgaria nel Friuli, Buia, Sequals, Majano, nei quali la percentuale di edifici crollati o resi inabitabili fu compresa tra il 50% e il 90% delle costruzioni. Complessivamente le abitazioni distrutte furono circa 17.000. La scossa causò lesioni e crolli parziali a Udine e Trieste; crolli e lesioni si verificarono anche oltre il confine con l'Austria e nel territorio dell'attuale Slovenia. L'area di risentimento fu vastissima: la scossa fu avvertita in tutta l'Italia centro-settentrionale fino a Roma e, a nord, in Germania e nella Francia orientale. La scossa dell'11 settembre (ore 18:35 locali, 16:35 GMT) causò il crollo di alcuni edifici, gravemente lesionati dalla scossa di maggio, a Buia, Magnano in Riviera, Moggio Udinese, Monteperta, Pradielis, Sedilis, Taipana e Tarcento. A Udine caddero alcuni cornicioni e si aprirono fenditure nei muri; a Trieste e a Trento vi furono danni leggeri. La scossa fu avvertita fortemente in tutta l'area veneta e in Slovenia."

11 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.
- Bondesan *et al.*, 2008: Bondesan A., Primon S., Bassan V. and Vitturi A.; 2008: *Le unità geologiche della Provincia di Venezia*. Provincia di Venezia, Università di Padova, Ed. Cierre Grafica, Verona, Italy, 184 pp., 3 All.
- Bragato *et al.*; 2011: Bragato P.L., Sukan M., Augliera P., Massa M., Vuan A. and Saraò A.; 2011: *Moho reflection effects in the Po Plain (Northern Italy): Observed from instrumental and intensity data*. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 101, 2142-2152.
- 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.
- Castaldini D., Panizza M.; 1991: Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il lago di Como (Italia Settentrionale). *Il Quaternario*, 4, 2; 333- 410.
- 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.
- D'Agostino *et al.*; 2008: D'Agostino N., Avallone A., Cheloni D., D'Anastasio E., Mantenuto S. and Selvaggi G.; 2008: *Active tectonics of the Adriatic region from GPS and earthquake slip vectors*. *J. Geophys. Res.*, 113, B12413.
- 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.
- Fantoni *et al.*; 2002: Fantoni R., Della Vedova B., Giustiniani M., Nicolich R., Barbieri C., Del Ben A., Finetti I. and Castellarin A.; 2002: *Deep seismic profiles through the Venetian and Adriatic foreland (Northern Italy)*. *Mem. Sci. Geol.*, 54, 131-134.
- Gruppo di Lavoro MS; 2008: Conferenza delle Regioni e delle Provincie 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.

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.

Scomazzon Elisa, 2015: Relazione Geologica e tavole. Piano di Assetto del Territorio del Comune di Camisano Vicentino.

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.

Sugan M., L.Peruzza; 2011: Distretti sismici del Veneto. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 52, suppl. 4, pp. 3-90.

Tosi *et al.*; 2007: Tosi L., Rizzetto F., Bonardi M., Donnici S., Serandrei Barbero R. and Toffoletto F.; 2007b: *Note illustrative alla carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 148-159 CHIOGGIA-MALAMOCCO*. APAT - Regione Veneto, SystemCart, Roma, Italy, 164 pp.

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.

12 Appendici

12.1 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:

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

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. In figura R1 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 .

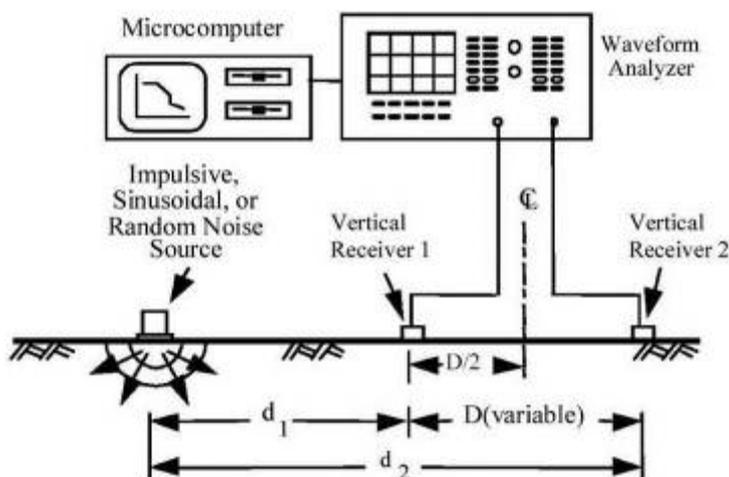


Figura R1 – Tipico schema di strumentazione per misure SASW con un sistema a due canali di registrazione (tratto da Stokoe *et al.*, 1994).

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 in figura R2).

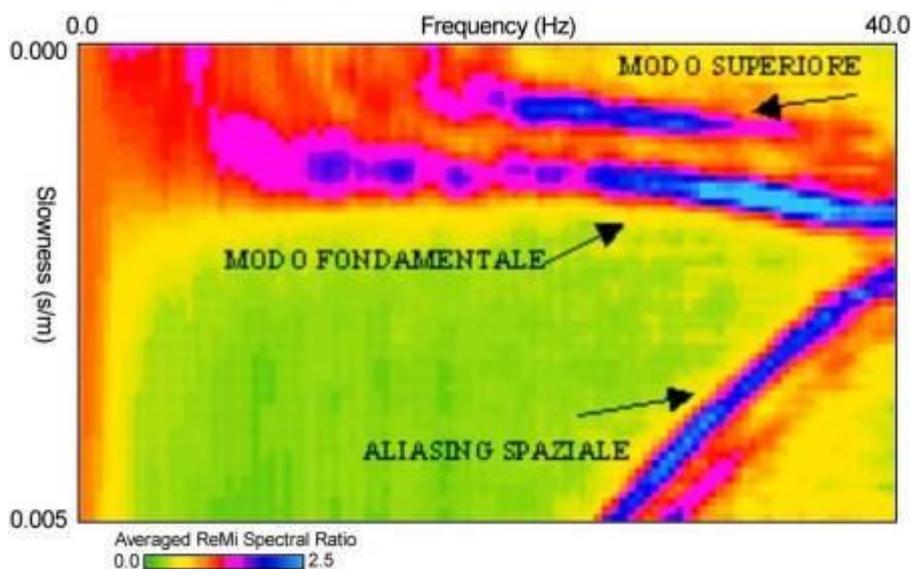


Figura R2 – Tipico spettro p - f di onde di Rayleigh nel quale si osservano un modo fondamentale ed una serie di modi superiori di vibrazione.

Nello spettro p - f (fig. R2) 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 (figura R2).

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 (figura R3). 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.

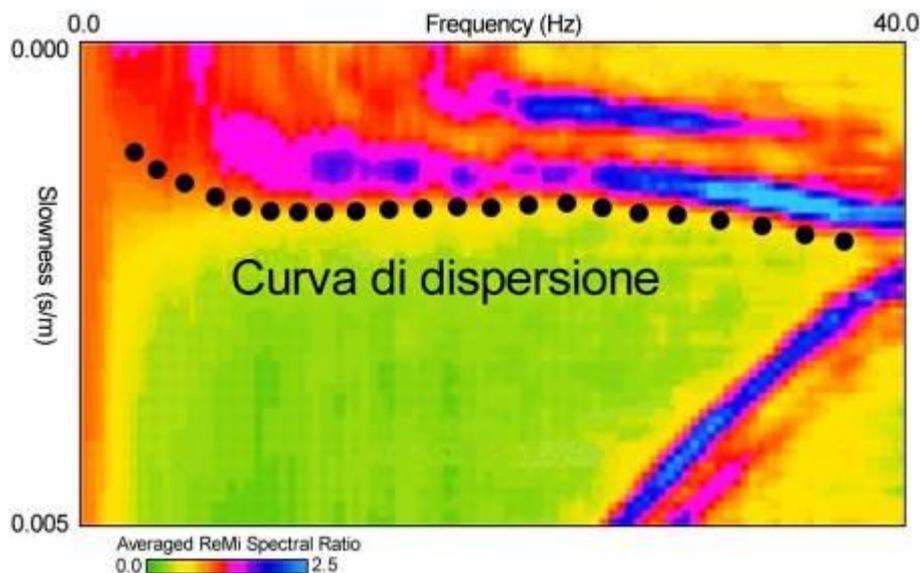


Figura R3 – Esempio di determinazione (*picking*) della curva di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh.

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 VS_{30} 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.

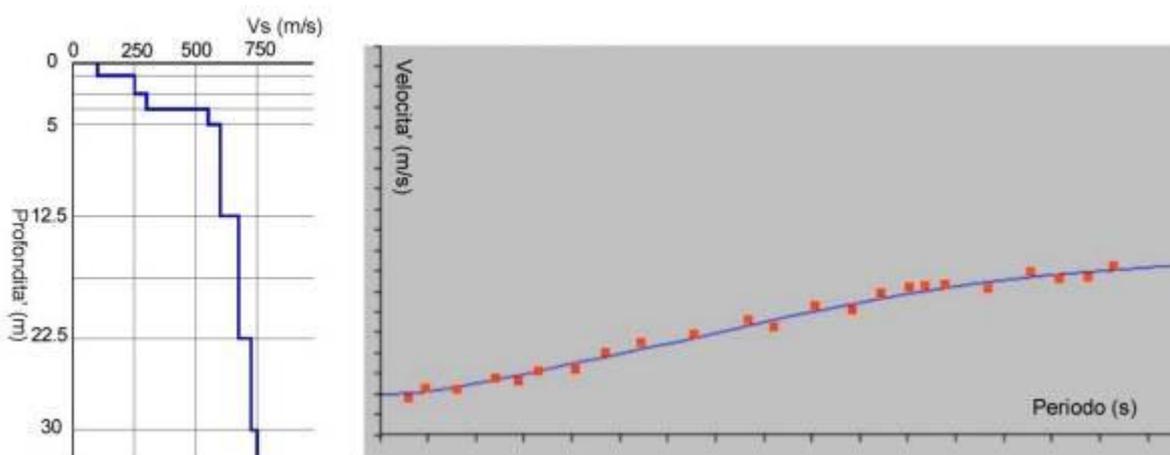


Figura R4 – Esempio di modellazione 1D della V_s . Modello geometrico-acustico del sottosuolo (a sinistra). Confronto tra dati sperimentali (circoli rossi) e curva teorica (linea continua in blu) calcolata dal modello (a destra).

12.2 LA TECNICA HVSR

Il testo seguente riprende un testo originale inedito prodotto da R. Francese (2014) che a sua volta si basa su una traduzione di un articolo di Nakamura (1989, 2000).

La tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) detta anche QTS (*Quasi-Transfer Spectra*) ha avuto recentemente molta attenzione in virtù della sua semplicità per identificare alcune importanti caratteristiche dinamiche dei suoli e delle strutture. La tecnica nasce da un'idea iniziale di Nogoshi and Igarashi (1971) ed è stata successivamente perfezionata da Nakamura (1989, 2000).

12.2.1 Le vibrazioni del suolo

La comprensione della natura fisica e della composizione del campo d'onda che produce le vibrazioni del suolo è il primo elemento per comprendere questa tecnica. Il primo aspetto riguarda la sorgente delle vibrazioni ambientali ed il secondo, che comunque dipende dal primo, riguarda invece il modo di vibrazione delle onde che raggiungono la superficie. È poi importante sapere in questo campo d'onda (a) qual è il rapporto tra le onde di corpo (P, S) e le onde di superficie (Rayleigh e Love) e tra le onde superficiali (b) qual è il rapporto tra onde di Rayleigh ed onde di Love e infine, sempre per le onde superficiali, (c) qual è il rapporto tra modo fondamentale e modi superiori. I punti (b) e (c) ad oggi sono ancora da chiarire completamente.

Le vibrazioni del terreno possono essere distinte in due tipi: onde naturali ed onde antropiche e questo molto spesso corrisponde anche ad una differenziazione in termini del contenuto in frequenza (in special modo nelle aree urbane). Le basse frequenze (i.e. inferiori ad 1 Hz) sono prevalentemente di origine naturale e dovute all'azione delle onde marine (che hanno la massima energia intorno a 0.2 Hz). Nelle zone costiere le frequenze possono essere anche più alte (intorno a 0.5 Hz) e sono dovute all'interferenza tra l'onda incidente la costa e quella di ritorno. Frequenze molto basse sono anche quelle dovute ai piccoli movimenti crostali. Nell'ambito delle sorgenti naturali vanno annoverate anche il vento e l'acqua che scorre nel reticolo idrografico tuttavia le frequenze sono generalmente superiori ad 1 Hz.

Le alte frequenze (i.e. superiori ad 1 Hz) sono generalmente legate all'attività antropica (traffico di veicoli, navi e treni, industrie, etc.) e le sorgenti sono tipicamente sulla superficie terrestre (o poco sotto come nel caso delle metropolitane). Queste sorgenti sono cicliche nell'alternanza giorno-notte e festività-lavoro. Ovviamente anche nel caso delle sorgenti non-naturali vi possono essere frequenze più basse, ma sono legate a situazioni locali (grandi motori, dighe, etc.).

Le sorgenti a bassa frequenza più energetiche sono spesso lontane (tipicamente mari ed oceani) e l'energia si propaga sotto forma di onde superficiali guidate nella crosta. La lunghezza d'onda è tale da consentire una grande penetrazione in profondità con associati fenomeni di diffrazione in corrispondenza di importanti discontinuità che localmente possono originare altre onde di superficie, ma anche onde P ed S. L'energia nella banda spettrale compresa tra 0.1 Hz ed 1.0 Hz si attenua via via che le onde penetrano nell'entroterra. In linea di principio c'è quindi più energia dovuta a onde naturali in vicinanza delle coste e meno all'interno dei continenti.

Le sorgenti ad alta frequenza sono generalmente locali ed il campo d'onda è costituito da onde di superficie, ma anche da onde di corpo (P ed S). All'aumentare della distanza le onde superficiali diventano prevalenti.

In letteratura sono disponibili pochi dati sulle proporzioni tra onde di corpo e onde superficiali e soprattutto sulle proporzioni tra onde di Rayleigh e di Love e modi fondamentali e superiori. I microsismi di bassa frequenza sono prevalentemente costituiti da onde di Rayleigh nel modo fondamentale.

Vibrazioni		
	Microsismi	Microtremori
Frequenza	0.1 Hz - 0.5 Hz sino ad 1 Hz	0.5 Hz - 1.0 Hz sino a 10 Hz
Sorgente	Mari ed oceani	Traffico, industria, etc
Campo d'onda	Onde superficiali	Onde superficiali ed onde di corpo
Ampiezza	In relazione alle tempeste	Ciclica giorno-notte festività-riposo
Rayleigh / Love	Campo d'onda incidente prevalentemente Rayleigh	Ampiezze confrontabili. Forse prevalenza delle onde di Love
Modo	Tipicamente fondamentale	Possibilità di modi superiori alle alte frequenze

Tabella 9 – Tipologia di vibrazioni

Le vibrazioni sono quindi abbastanza complesse in particolar modo alle alte frequenze dove il contributo antropico è più importante. Nell'interpretazione di dati HVSR è quindi importante considerare quali siano i contributi prevalenti delle diverse fasi (P, S, Rayleigh, Love) e dei diversi modi.

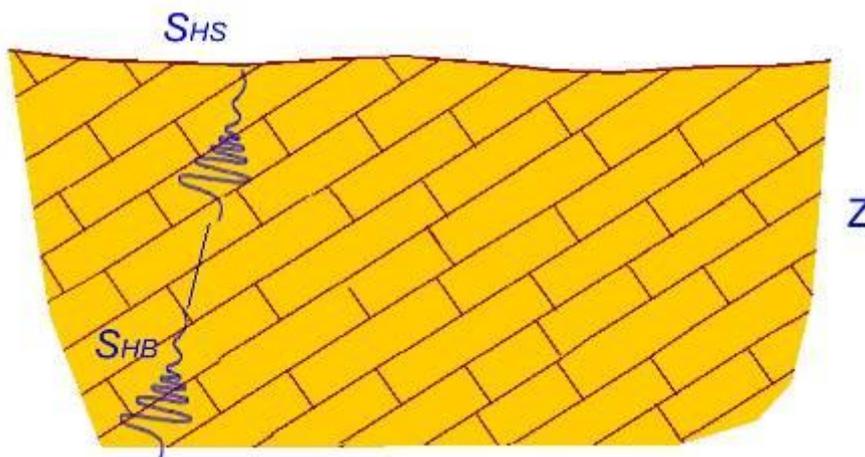


Figura N1 – Condizioni di sottosuolo rigido. S_{HS} : spettro dei microtremori alla superficie topografica; S_{HB} : spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico).

Nakamura osserva che il rapporto tra la vibrazione orizzontale e verticale del terreno durante un terremoto è pari a circa 1 se il suolo è rigido. Secondo questo punto di vista nei suoli compatti non c'è un prevalere in termini di energia di una componente rispetto all'altra, le vibrazioni in senso orizzontale hanno la stessa energia di quelle verticali.

Le vibrazioni, in presenza di suoli poco compatti (tipicamente lenti) vengono invece amplificate. In prima approssimazione si può assumere che la vibrazione orizzontale si amplifichi attraverso la riflessione multipla delle onde di taglio, mentre la vibrazione verticale si amplifichi attraverso le riflessioni multiple delle onde di pressione.

Con le tipiche velocità di propagazione delle onde P (intorno ai 1000 m/s) le vibrazioni di frequenza uguale ed inferiore ai 10 Hz non vengono amplificate in modo significativo attraverso riflessioni multiple dovute a strati superficiali di bassa velocità. Le onde di Rayleigh subiscono invece amplificazioni verticali significative. L'effetto verticale dell'onda di Rayleigh può essere stimato come rapporto tra vibrazione verticale alla superficie e vibrazione verticale al substrato. L'effetto dell'onda di Rayleigh sulla componente verticale si avvicina a 0 quando questo rapporto vale 1.

Nelle ipotesi di Nakamura (1989) il modello geologico di partenza quindi è quello di un substrato veloce ubicato ad una profondità Z sul quale insiste uno strato superficiale di sedimenti caratterizzati da proprietà elastico-acustiche scadenti (i.e. bassa velocità).

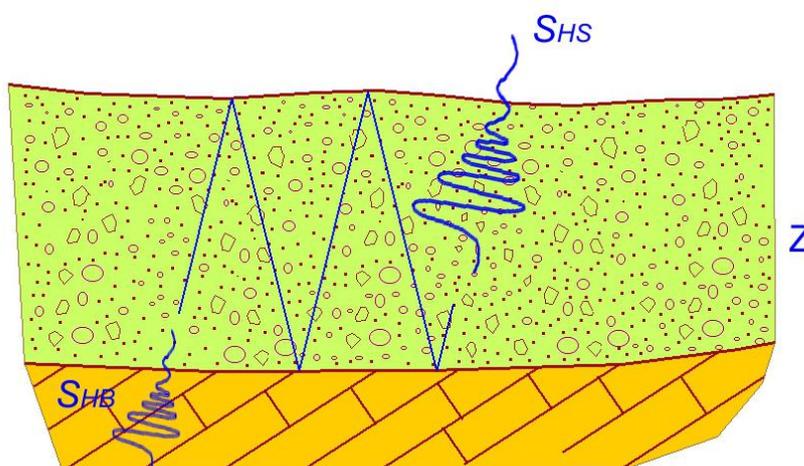


Figura N2 – Modello geologico di partenza nell'ipotesi di Nakamura (1989). S_{HS} : spettro dei microtremori alla superficie topografica; S_{HB} : spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico).

La conoscenza dell'effetto dell'onda di Rayleigh consente di rimuoverla dalla vibrazione e stimare la sola funzione di trasferimento delle onde di taglio.

La funzione di trasferimento (T_F), utilizzando le vibrazioni (microtremori), dell'ampiezza del moto delle onde di taglio che passano da un substrato rigido alla superficie attraversando un mezzo "soffice" si stima secondo la (1).

$$T_F = \frac{S_{HS}}{S_{HB}}; \quad (1)$$

S_{HS} rappresenta lo spettro dei microtremori alla superficie topografica e S_{HB} rappresenta lo spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico). Come abbiamo visto il microtremore può essere un insieme di onde di corpo (P ed S) e di onde superficiali (Rayleigh e Love) e queste ultime

possono essere largamente prevalenti. È quindi necessario sottrarre la componente delle onde superficiali dal termine S_{HS} per ottenere correttamente la funzione di trasferimento.

Nakamura assume che le onde di Rayleigh siano presenti nello spettro verticale alla superficie (S_{VS}) e non nello spettro verticale del base ground (S_{VB}), assumendo ancora che il tremore verticale non è amplificato dagli strati superficiali (più prossimi alla superficie) la quantità E_S rappresenta l'effetto dell'onda di Rayleigh sul tremore verticale.

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}}; \quad (2)$$

Se non ci sono onde di Rayleigh $E_S=1$ mentre E_S avrà valore più grande di 1 all'aumento dell'effetto delle onde di Rayleigh. Assumendo che l'effetto delle onde di Rayleigh è lo stesso sia per la componente orizzontale che per quella verticale T_F/E_S è sicuramente una più affidabile stima della funzione di trasferimento.

La nuova funzione di trasferimento è data dalla (3):

$$T_{FF} = \frac{T_F}{E_S} = \frac{R_S}{R_B}; \quad (3)$$

dove $R_S = S_{HS}/S_{VS}$ e $R_B = S_{HB}/S_{VB}$. R_S ed R_B si possono ottenere dividendo lo spettro orizzontale delle vibrazioni per lo spettro verticale delle stesse vibrazioni che corrispondono rispettivamente alle vibrazioni di un terremoto rispettivamente alla superficie ed al bedrock. R_B assume il valore di 1 per un intervallo relativamente ampio di frequenze. Nominalmente sul substrato rigido la propagazione è quasi in tutte le direzioni. Quindi:

$$R_B \approx 1 \rightarrow T_{FF} = R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}}; \quad (4)$$

questo significa che la funzione di trasferimento può essere stimata esclusivamente dalle vibrazioni misurate alla superficie. In pratica le vibrazioni verticali alla superficie incorporano le vibrazioni orizzontali sul substrato sostituendo quindi le seconde. La presenza dell'onda di Rayleigh tende a rendere nulla questa sostituzione, ma siccome R_S assume all'incirca il valore di 1 nell'intervallo di frequenza dove l'onda di Rayleigh prevale diventa trascurabile nella stima della funzione trasferimento.

Secondo alcuni altri autori (Bard, 1998) il picco del rapporto H/V dipende dalla presenza di onde di Rayleigh, ma Nakamura (2000) afferma che questo dipende solo dalla similarità dell'andamento del rapporto H/V dei microtremori e dell'H/V del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh.

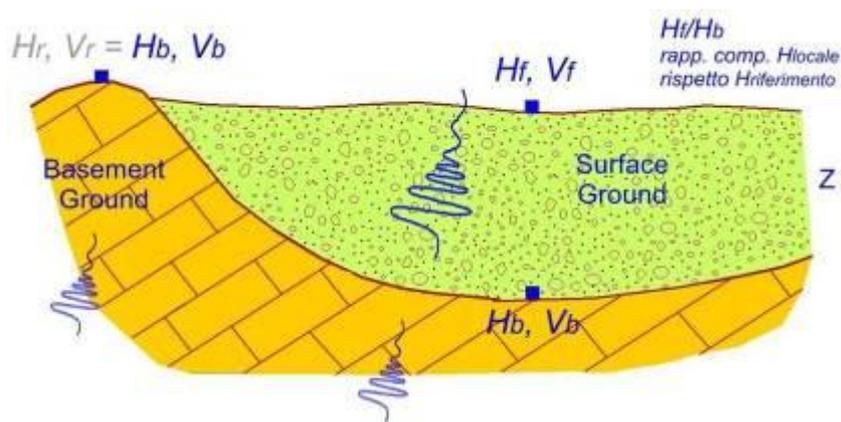


Figura N3 – Rappresentazione schematica di un profilo trasversale ad una valle alpina

Proviamo a spiegare meglio l'assunto di base immaginando di trovarci nelle condizioni della figura che può rappresentare una valle alpina. La vibrazione (microtremore) viene suddivisa in due parte in funzione del fatto che contenga l'onda superficiale (Rayleigh) ed altre onde. Gli spettri orizzontali e verticali sul fondovalle (H_f, V_f) possono essere scritti come segue:

$$\begin{aligned} H_f &= A_h \cdot H_b + H_{rayleigh}; \\ V_f &= A_v \cdot V_b + V_{rayleigh}; \end{aligned} \quad (5)$$

A_h ed A_v sono i fattori di amplificazione orizzontale e verticale di un'onda di corpo (P, S) incidente la superficie. H_b e V_b sono gli spettri orizzontali e verticali della vibrazione delle onde di corpo (P ed S) entro il substrato rigido. $H_{rayleigh}$ e $V_{rayleigh}$ sono invece gli spettri nella direzione orizzontale e verticale dell'onda di Rayleigh.

$$\begin{aligned} T_h &= \frac{H_f}{H_b}; \\ T_v &= \frac{V_f}{V_b}; \end{aligned} \quad (6)$$

T_h e T_v sono le amplificazioni (funzioni di trasferimento) della vibrazione orizzontale (onda S) e di quelle verticali (onda P) alla superficie della valle rispetto al fianco dove il substrato è affiorante. In generale la velocità dell'onda P è molto più elevata (anche di 3 volte) rispetto a quella dell'onda S, in questa situazione stratigrafica la componente verticale, nell'intervallo di frequenza dove la componente orizzontale viene fortemente amplificata, non viene amplificata ($A_v=1$). Se non c'è effetto dell'onda di Rayleigh $V_f=V_b$, se invece $V_f>V_b$ questo viene considerato come dovuto alle onde superficiali. Stimando quindi dell'effetto dell'onda di Rayleigh: $V_f/V_b=VI$ l'amplificazione orizzontale (T_h^*) può essere scritta come:

$$T_h^* = \frac{T_h}{T_v} = \frac{\frac{H_f}{V_f}}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{QTS}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{\left[A_h + \frac{H_{rayleigh}}{H_b} \right]}{\left[A_v + \frac{V_s}{V_b} \right]}, \quad (7)$$

dove la QTS (Quasi Transfer Function):

$$QTS = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_h \cdot H_b + H_{rayleigh}}{A_v \cdot V_b + V_{rayleigh}} = \frac{H_b}{V_b} \cdot \frac{\left[A_h + \frac{H_{rayleigh}}{H_b} \right]}{\left[A_v + \frac{V_{rayleigh}}{V_b} \right]}, \quad (8)$$

Nell'equazione (8), $H_b/V_b \cong 1$. $H_{rayleigh}/H_b$ e $V_{rayleigh}/V_b$ sono invece associate al percorso dell'energia delle onde di Rayleigh. Quando la quantità delle onde di Rayleigh è elevata il secondo termine diventa dominante e $QTS = H_{rayleigh}/V_{rayleigh}$ e la frequenza più bassa di picco di $H_{rayleigh}/V_{rayleigh}$ è quasi uguale alla frequenza F_0 più bassa di A_h . Intorno alla frequenza fondamentale F_0 l'amplificazione verticale $A_v=1$. La QTS evidenzia chiaramente un picco stabile alla frequenza fondamentale F_0 . Anche quando l'influenza dell'onda di superficie è significativa il termine $V_{rayleigh}$ diventa piccola (determinando la presenza di un picco nel diagramma $H_{rayleigh}/V_{rayleigh}$) nell'intervallo di frequenza intorno al picco determinato dalla riflessione multipla delle onde SH (vibrazione orizzontale). $QTS = A_h$ se le vibrazioni del substrato V_b sono molto più energetiche rispetto alle onde di Rayleigh.

Ecco che QTS rappresenta in prima approssimazione la frequenza fondamentale (di risonanza) determinata dalla riflessione multipla delle onde SH nello strato lento superficiale a prescindere dal grado di influenza delle onde di Rayleigh.

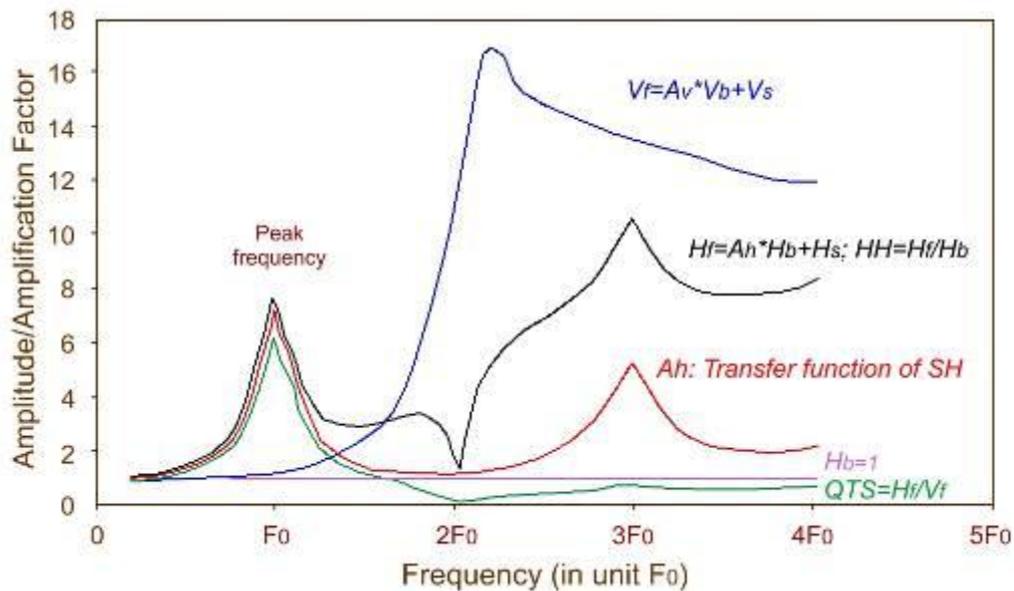


Figura N4 – Diagramma frequenza/amplificazione

Confrontando schematicamente le diverse componenti:

$V_f \rightarrow$ Componente _verticale _fondovalle;

$H_f \rightarrow$ Componente _orizzontale _fondovalle;

$H_b \rightarrow$ Componente _orizzontale _substrato;

$A_h \rightarrow$ FunzioneTrasferimento _mod oSH (teorica);

$QTS \rightarrow$ QuasiTransferFunction : $\left(\frac{H_f}{V_f} \right)$;

si possono fare alcune considerazioni. Dal momento che H_f contiene il contributo delle onde di Rayleigh H_f/H_b (che è uguale a H_f in quanto $H_b = 1$ essendo il valore di riferimento) è più grande rispetto alla funzione di trasferimento teorica (A_h) delle onde SH. Nel caso in cui vi sia grande influenza delle onde di Rayleigh QTS diventa minore di 1 (cresce il moto verticale V_f) in un ampio intervallo di frequenze più elevate comunque di quella fondamentale (o di risonanza) F_0 .

Le principali onde che costituiscono le vibrazioni (i microtremiti) sono onde di corpo (P ed S) oppure onde di Rayleigh o ancora, in funzione dell'ubicazione e delle condizioni al contorno, può essere una combinazione dei due tipi di onde. Se calcoliamo la QTS essa ci indica correttamente la frequenza fondamentale di risonanza (per effetto della riflessione multipla delle onde SH) ed il fattore di amplificazione.

12.3 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 Vs 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.

12.4 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

