



Studio Mastella
Geologia Geotecnica Idraulica Ambiente



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE VENETO



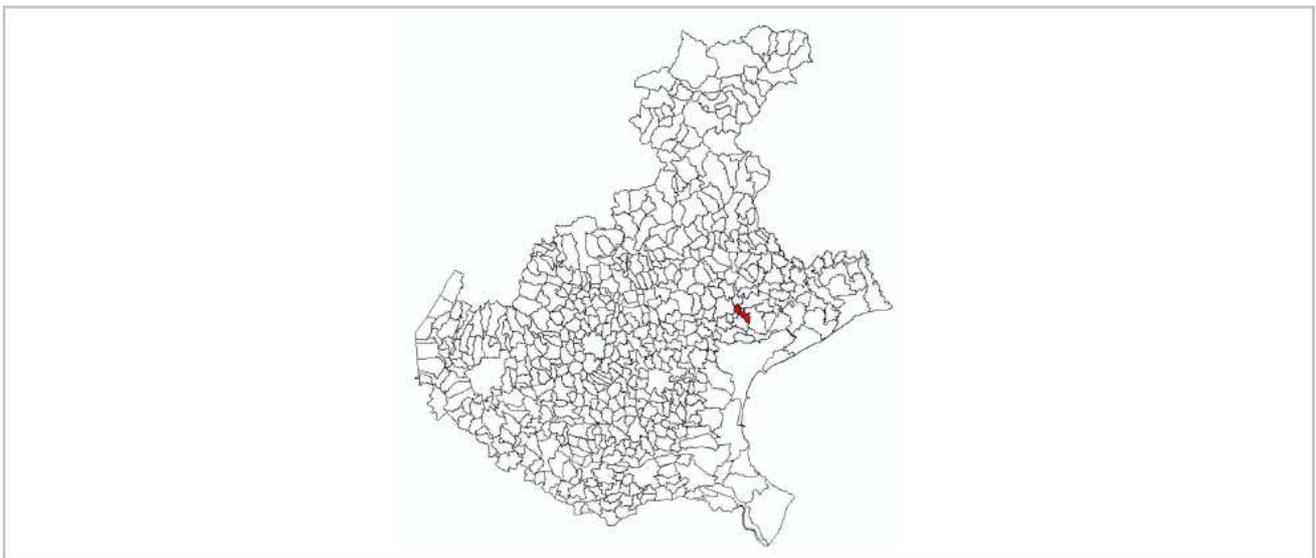
CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Veneto
Comune di Silea



Regione
Veneto

Soggetto realizzatore
Studio Mastella

Data
26/01/2020



Sommario

1. INTRODUZIONE	4
1.1 Riferimenti normativi	4
1.2 Modalità d'indagine	4
1.3 Finalità degli studi: pericolosità sismica e microzonazione sismica.....	5
1.4 Generalità sulla microzonazione sismica	6
1.1 Foto aeree.....	8
1.2 Elenco degli archivi consultati.....	8
1.3 Descrizione generale dell'area	8
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	10
2.1 Caratteristiche sismogeniche del comune	10
2.2 Sismicità storica.....	15
2.3 Faglie attive.....	21
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	22
3.1 Inquadramento topografico e geomorfologico.....	22
3.1.1 Forme artificiali	22
3.1.2 Elementi morfologici a valenza sismica	24
3.2 Inquadramento geologico	25
3.2.1 Depositi sciolti presenti nella Carta Geolitologica del PAT (Quaternario).....	26
Interpretazione delle litologie presenti nel PAT nello studio di Microzonazione Sismica .	27
3.2.2 Caratterizzazione geomeccanica dei litotipi.....	29
3.3 Tettonica.....	30
3.3.1 Inquadramento sismotettonico generale.....	30
3.4 Inquadramento idrogeologico.....	36
3.4.1 Aree PAI del Sile e della Pianura tra Piave e Livenza	36
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	39
4.1 Parametri geotecnici statici e dinamici ricavati da dati pregressi	39
4.2 Nuove indagini.....	39
4.2.1 Indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSr).....	39
4.2.2 Metodo MASW.....	44
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	50
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	52
6.1 Identificazione e rappresentati dei dati raccolti	52
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	56
8. ELABORATI CARTOGRAFICI	57
8.1 La Carta delle Indagini.....	57



8.2	La Carta geologico-tecnica	59
8.2.1	Unità litologiche	59
8.2.2	Elementi geologici e geomorfologici	60
8.2.3	Forme di superficie e sepolte	60
8.3	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica	61
8.3.1	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	62
8.3.2	Zone di attenzione per instabilità	64
8.3.3	Punti di misura di rumore ambientale	66
9.	PRESCRIZIONI URBANISTICHE A SEGUITO DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI I LIVELLO	67
9.1	Zone Suscettibili di Amplificazioni Locali	67
9.2	Zone Suscettibili di Instabilità	67
10.	BIBLIOGRAFIA	68



1. INTRODUZIONE

La presente relazione è un documento tecnico-scientifico che accompagna gli elaborati cartografici richiesti per lo studio di Microzonazione Sismica di primo livello del comune di Silea.

1.1 Riferimenti normativi

Lo studio viene redatto in conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907 in data 13 novembre 2010, istituito ai sensi dell'articolo 11 del D.L. n.39 in data 28.04.09 convertito, con modificazioni, dalla Legge 24.06.09, n.77 (L. 77/09, art. 11) e in conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007 in data 29 febbraio 2012.

Si sono seguite le seguenti direttive:

- Deliberazione della Giunta Regionale n. 1572 del 03 settembre 2013:
"Definizione di una metodologia teorica e sperimentale per l'analisi sismica locale a supporto della pianificazione. Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica. (D.G.R. 71/2008, D.G.R. 2877/2008 e D.lgs. 163/2006 e abrogazione D.G.R. n. 3308/08)";
- Deliberazione della Giunta Regionale n. 899 del 28 giugno 2019:
"Linee guida regionali per gli Studi di Microzonazione Sismica per gli strumenti urbanistici comunali. Chiarimenti e precisazioni sulle modalità applicative. Studi di Microzonazione Sismica Direttive per l'applicazione dei livelli di approfondimento".

1.2 Modalità d'indagine

Il lavoro è stato svolto con le seguenti fasi di lavoro:

- raccolta di dati bibliografici;
- esame della documentazione in materia elaborata negli ultimi anni a livello regionale;
- approfondimenti relativamente alle problematiche sismiche, alla sismicità di base ed alla valutazione della amplificazione sismica locale;
- sopralluoghi di controllo sul campo;
- elaborazione dei dati raccolti e stesura della presente relazione.

Nell'elaborare il presente studio si sono tenuti conto degli aspetti geomorfologici, geolitologici ed idrogeologici elaborati per la documentazione geologica del P.A.T.

La presente relazione risulta di corredo alle tavole qui di seguito indicate.

Tavola	Scala
Carta delle Indagini	1:10.000
Carta Geologico-tecnica	1:10.000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica	1:10.000



1.3 Finalità degli studi: pericolosità sismica e microzonazione sismica

E' fondamentale avvalersi degli studi di microzonazione sismica (MS) durante la fase di progettazione degli strumenti urbanistici al fine di determinare la riduzione del rischio sismico (RS), che può essere così definito:

$RS = \text{Pericolosità sismica} \times \text{Esposizione urbanistica} \times \text{Vulnerabilità dei centri urbani e delle opere.}$

Una MS completa deve quindi considerare anche la vulnerabilità dei centri urbani e delle opere. Non essendo ancora disponibile una procedura speditiva riconosciuta valida per la valutazione della vulnerabilità (le procedure finora attuate sono di dettaglio e quindi onerose sia in termini di costi e soprattutto di tempi) la MS in genere è limitata a valutazioni della pericolosità sismica locale nelle zone di esposizione urbanistica: centri abitati ove si realizza una concentrazione di popolazione, zone destinate ad atti produttive e commerciali, altre previsioni urbanistiche e lungo le reti infrastrutturali.

Devono essere forniti dei criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti di amplificazione sismica locale ed instabilità in caso di terremoto in maniera da orientare le scelte, nella fase di progettazione urbanistica, verso aree a minore pericolosità sismica e supportare qualsiasi altro intervento finalizzato alla riduzione del rischio sismico (es.: interventi di riqualificazione urbanistica, messa in sicurezza, ...).

La **pericolosità sismica** dipende essenzialmente da due elementi:

- Dalle caratteristiche sismiche dell'area, ossia dalla presenza e/o distanza dalle sorgenti sismiche attive, dall'energia e dal tipo dei terremoti nonché dalla frequenza degli eventi. Questi aspetti afferiscono alla "pericolosità sismica di base";
- Dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio di riferimento; infatti queste caratteristiche possono influenzare notevolmente le caratteristiche dell'evento sismico in superficie e costituire appunto gli elementi predisponenti al verificarsi dei fenomeni di amplificazione o di instabilità del suolo (cedimenti, frane, liquefazione). Questi aspetti afferiscono alla "pericolosità sismica locale".

Lo studio della "pericolosità di base" e della "pericolosità locale" tendono sostanzialmente al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- individuare delle aree ove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;
- stima quantitativa della risposta sismica locale indotta dai depositi superficiali e della morfologia del territorio: "Analisi della Risposta Sismica Locale" (RSL);
- suddivisione del territorio comunale in sottozone omogenee a cui attribuire lo stesso valore di pericolosità sismica locale: "Microzonazione Sismica" (MS).

I risultati di questi studi afferiscono al quadro conoscitivo e vengono successivamente applicati nella redazione degli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica; forniscono inoltre indicazioni per l'applicazione, in fase di progettazione, delle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 17/01/2018).



1.4 Generalità sulla microzonazione sismica

La microzonazione sismica, ovvero "la suddivisione dettagliata del territorio, in sottozone a diversa pericolosità sismica locale", tiene conto sia della sismicità di base (distanza dalle sorgenti sismogenetiche, energia, frequenza e tipo dei terremoti attesi), che dell'amplificazione locale legata alle caratteristiche topografiche, geomorfologiche, geolitologiche ed idrogeologiche dell'area di studio. Ha come finalità fondamentale quella di indirizzare la pianificazione urbanistica verso l'utilizzo edificatorio degli ambiti a minor rischio sismico. Si articola in più livelli di approfondimento, sinteticamente sono così descrivibili:

- primo livello: è lo studio propedeutico ai livelli successivi. Consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica ed identifica, nella carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, le parti del territorio comunale suscettibili di effetti locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rottura del terreno, ecc.

Consiste nelle seguenti azioni:

- raccolta dei dati esistenti e formulazione di una relazione che ricostruisce la sismicità storica dell'area, dei danni che i terremoti avvenuti hanno arrecato al territorio, delle possibili correlazioni con le principali strutture geologiche esistenti;
- elaborazione di una cartografia che, attraverso la rivisitazione dei contenuti geologici, geolitologici ed idrogeologici dello Studio Geologico per il P.R.G.C., individui gli elementi, in chiave sismologica, in grado di amplificare localmente la sismicità di base e/o di aumentare la pericolosità locale;
- elaborazione della cartografia di suddivisione del territorio in zone omogenee in prospettiva sismica;
- secondo livello: è lo studio di approfondimento locale; ha come obiettivo la redazione della Microzonazione Sismica e si applica a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per la quale si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente. Consiste nelle seguenti azioni:
 - caratterizzazione locale del terreno con la misura delle V_{seq} o V_{S30} , per le aree "stabili";
 - determinazione della profondità del bedrock in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo, alla definizione di profili di V_{seq} o V_{S30} e valutazione degli effetti morfologici, per le aree soggette ad amplificazione sismica; studio degli effetti di cui al punto precedente e degli ambiti di possibile instabilità;
- terzo livello: si applica in fase progettuale agli scenari suscettibili di instabilità, liquefazione, cedimenti. E' un approccio puntuale ai singoli fenomeni. Si applica:
 - per le scelte espansive di pianificazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche per previsioni ricadenti nelle aree classificate come:
 - P1b zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti,
 - P1c zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana,
 - P2a zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc...,
 - P2b zona con depositi granulari fini,
 - P2c zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici,
 - P4a Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi che presentino le



seguenti caratteristiche $h/l > 0,65 / \sqrt{Cv-l}$ dove h è la profondità della valle (massimo spessore del deposito), l la sua semiampiezza, Cv il rapporto fra la velocità Vs nel basamento sismico e quella media nei terreni di riempimento,

- P4b Zona di fondovalle stretta ($C > 0,25$) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale,
 - P1a movimenti franosi attivi. Sebbene l'urbanizzazione in queste aree sia vincolata da altre norme è possibile che si renda necessario uno studio di MS, ad esempio per riparazione di un'opera esistente (strada, edifici, centro abitato, ...),
 - P5b zona ove sono presenti o potenzialmente presenti ca sotterranee o sinkhole.
- Nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere con rilevante interesse pubblico. Per queste parti del territorio ove la pericolosità risulta elevata deve essere attentamente valutata la possibilità di non operare trasformazioni urbanistiche od incremento dei carichi urbanistici. I primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione urbanistica, mentre il terzo livello di approfondimento diviene obbligatorio per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da potenziali effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e quando con le risultanze del 2° livello si dimostra l'inadeguatezza delle procedure semplificate per la stima dell'amplificazione previste dalle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 17/01/2018). Nel caso di opere con rilevante interesse pubblico si procederà sempre fino a raggiungere il 3° livello di approfondimento che potranno essere suddivise con il 1° e 2° livello di MS nell'ambito del progetto preliminare ed il 3° livello di approfondimento nell'ambito del progetto definitivo.

La procedura proposta fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10 % in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

Il presente Studio di microzonazione sismica fa riferimento al primo dei livelli di approfondimento sopra descritti.



1.1 Foto aeree

Per effettuare il presente studio di micro zonazione sismica, sono stati consultati alcuni fotogrammi aerei appartenenti ai seguenti voli:

- 1945 IGM;
- 1947 IGM;
- 1954-55 GAI;
- 1960 IGM;
- 1982-88 reven Montagna Veneta;
- 1987-88 reven Centri Storici;
- 1991-92 reven Montagna Veneta;
- 2000 IGM Montegna Veneta;
- 2001 reven Belluno completamento;
- 2012 reven Agordo - volo alto;
- 2012 reven Agordo - volo basso.

Tali fotogrammi aerei sono consultabili all'indirizzo web:

http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree/

che si riferisce al Laboratorio di Cartografia e GIS dell'Università IUAV di Venezia.

1.2 Elenco degli archivi consultati

Per reperire i dati geologici e cartografici necessari alla redazione del presente studio, sono stati consultati i seguenti archivi multimediali:

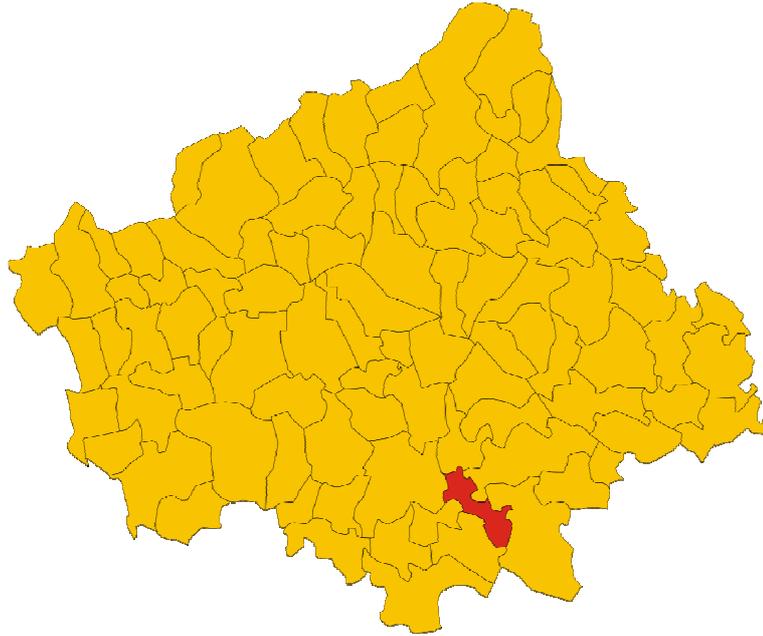
- <https://idt2.regione.veneto.it/idt/downloader/download> (per dati cartografici e geologici regionali);
- http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree/ (per la consultazione delle foto aeree);
- <http://sqi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/> catalogo nazionale delle faglie capaci – Progetto ITHACA;
- <http://cnt.rm.ingv.it> (Catalogo ISIDe per i terremoti recenti)
- <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/> (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015)

È stato inoltre consultato il PAT del comune di Silea per i dati geologici e sismici più recenti.

1.3 Descrizione generale dell'area

Il comune di Silea si colloca nella porzione nord-orientale della provincia di Treviso. Di seguito si riportano i principali dati altimetrici e di superficie.

Superficie	18,95 km ²
Quota media	8 m s.l.m.
Quota minima	2 m s.l.m.
Quota massima	14 m s.l.m.



Posizione del comune di Silea all'interno della Provincia di Treviso

Il territorio comunale di Silea si trova nella porzione meridionale della provincia di Treviso. Dal punto di vista geomorfologico, il territorio comunale è completamente pianeggiante. Le quote tendono a digradare gradualmente verso l'alveo del fiume Sile che scorre lungo il confine comunale occidentale.



Morfologia del comune di Silea



2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Caratteristiche sismogeniche del comune

Con delibera n° 67 del 3 dicembre 2003, pubblicata sul Bollettino Ufficiale Regionale del 13 gennaio 2004 n. 6, il Consiglio Regionale ha approvato il nuovo elenco dei comuni sismici del Veneto, allegato al predetto provvedimento.

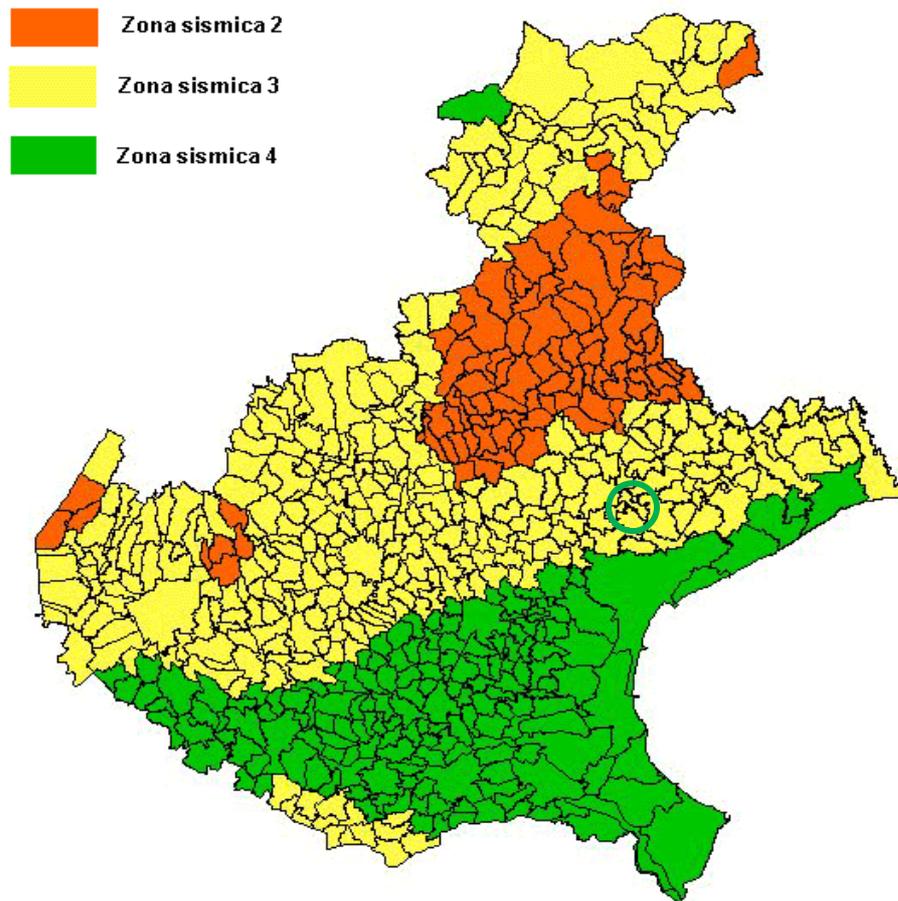
Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n° 3274, pubblicata sul Suppl. Ord. n° 72 della Gazzetta Ufficiale dell'8 maggio 2003 n° 1053274/03, sono state approvate nuove regole tecniche per le costruzioni antisismiche riguardanti i ponti, le fondazioni e gli edifici in genere. Tali regole tecniche innovano le modalità di calcolo attualmente in vigore in quanto viene abbandonato il metodo delle "tensioni ammissibili" in favore del criterio degli "stati limite".

Con D.G.R. 28 novembre 2003, n. 3645 sono state approvate le modalità per procedere alle verifiche tecniche a cura dei proprietari degli edifici a carattere strategico ed opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile e degli edifici ed opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, con priorità nella zona sismica 2.

Tale provvedimento regionale è stato adottato in ottemperanza al comma 4 dell'art. 2 della citata Ordinanza 3274/2003 che dispone siano le Regioni a provvedere, per quanto di competenza, ad elaborare, sulla base delle risorse finanziarie disponibili, il programma temporale delle verifiche, ad individuare le tipologie degli edifici e delle opere che presentano le caratteristiche di cui al comma 3 ed a fornire ai soggetti competenti le necessarie indicazioni per le relative verifiche tecniche, che dovranno stabilire il livello di adeguatezza di ciascuno di essi rispetto a quanto previsto dalle norme.

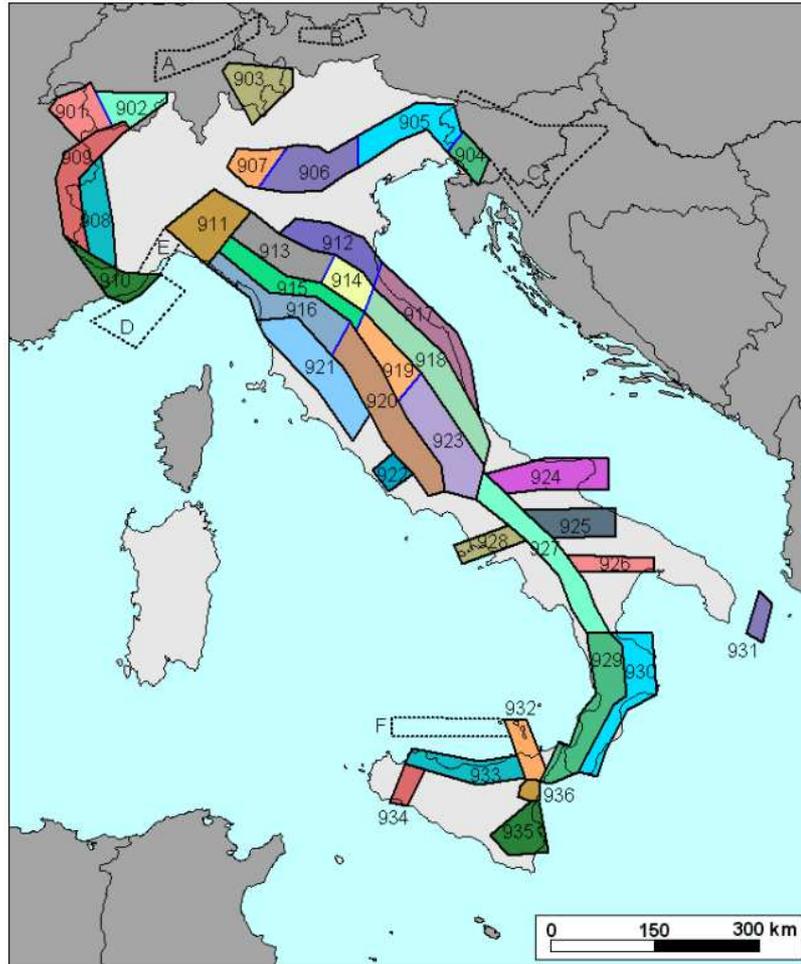
In ordine alla nuova classificazione ed alle nuove regole tecniche, sulla scorta di quanto dispone in merito l'Ordinanza e tenuto conto che la materia, già regolata nella Regione Veneto dalla legge 16.08.1984, n° 42, titolo VI, modificata dalla successiva L.R. 7 novembre 2003 n.27, nonché dalla legge 13 aprile 2001, n° 11, di recepimento delle disposizioni statali in materia di trasferimento di competenze alle regioni in attuazione al D.Lgs 31 marzo 1998 n. 112, si forniscono le disposizioni adottate che seguono cui sono invitati ad attenersi le Strutture regionali, gli enti dipendenti dalla Regione, le Province, i Comuni, le Comunità Montane, gli Enti pubblici.

Il comune di Silea è stato classificato dal punto di vista sismico in Zona 3 dalla DGR 245 del 2008 del Veneto, in applicazione del disposto dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 come si vede dall'immagine sottostante.

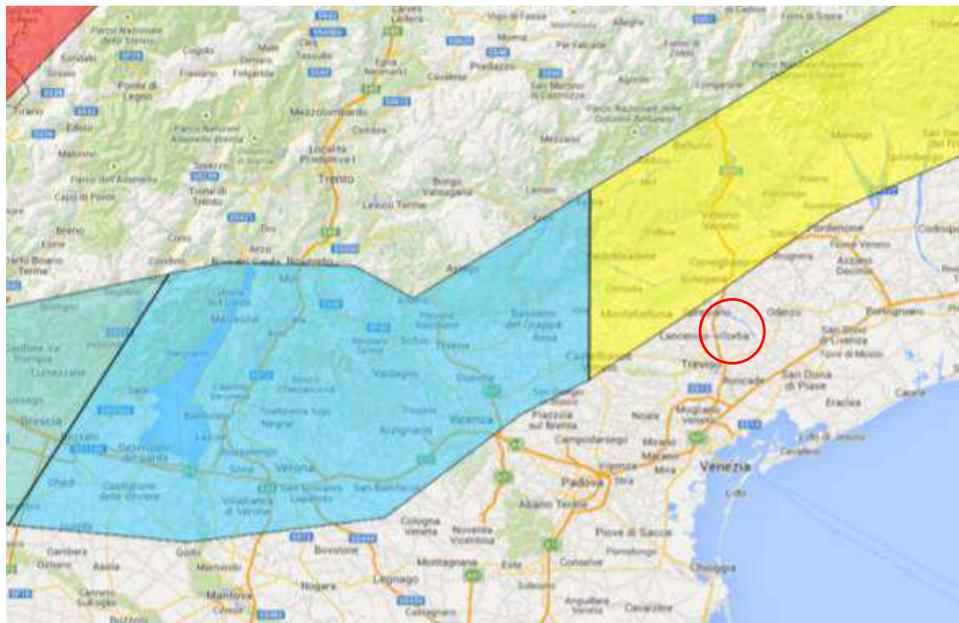


Zone sismiche del Veneto. Nel cerchio verde vi è Silea

Secondo la zonazione sismogenetica attualmente in vigore (ZS9), il Veneto centro-orientale ricade all'interno della zona 905 che comprende la fascia pedemontana e le prealpi del Veneto orientale (provincia di Treviso e Belluno) proseguendo a tutta la fascia prealpina e pedemontana del Friuli Venezia Giulia.



Zonazione sismogenetica ZS9



Localizzazione della Zona sismogenetica 905 in azzurro.

Il comune di Silea è individuata dal cerchio rosso



Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
901	18	15	2	4.0	8-12	8
902	34	25	2	3.8	8-12	10
903	23	19	2	4.5	8-12	9
904	13	9	1	3.4	5-8	7*
905	181	110	32	4.8	5-8	8*
906	41	34	13	4.7	5-8	8*
907	33	19	7	4.2	5-8	8*

Tabella riassuntiva sul numero di eventi sismici e relative magnitudo massima ZS9 n. 905 pari a 4,8

Secondo le Linee guida per la Microzonazione sismica - Par. 2.8 - (Bramerini et al., 2008), si assume come valore di magnitudo attesa quella massima della zona sismogenetica di appartenenza che per il territorio di Silea (zona n. 905) vale $M_{max} = 6,60$ con tempo di ritorno $T_r = 1000$ anni riferito al terremoto veronese di Belfiore-Zevio ($I_0 = 9-10$ MCS) avvenuto il giorno 3 gennaio dell'anno 1117.

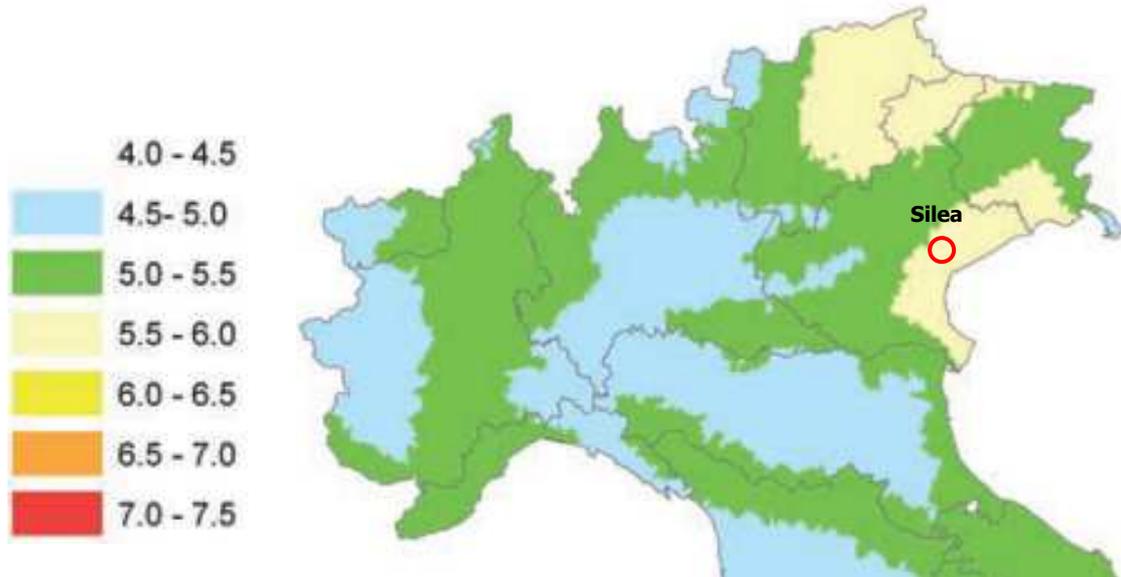
Tale terremoto è segnalato come tra i più forti eventi riportati nei cataloghi della sismicità storica italiana che ha colpito il Nord d'Italia. Secondo i cataloghi oggi disponibili (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>) la sua magnitudo è addirittura compresa tra 6,49 e 6,89.

Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Saoneto	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

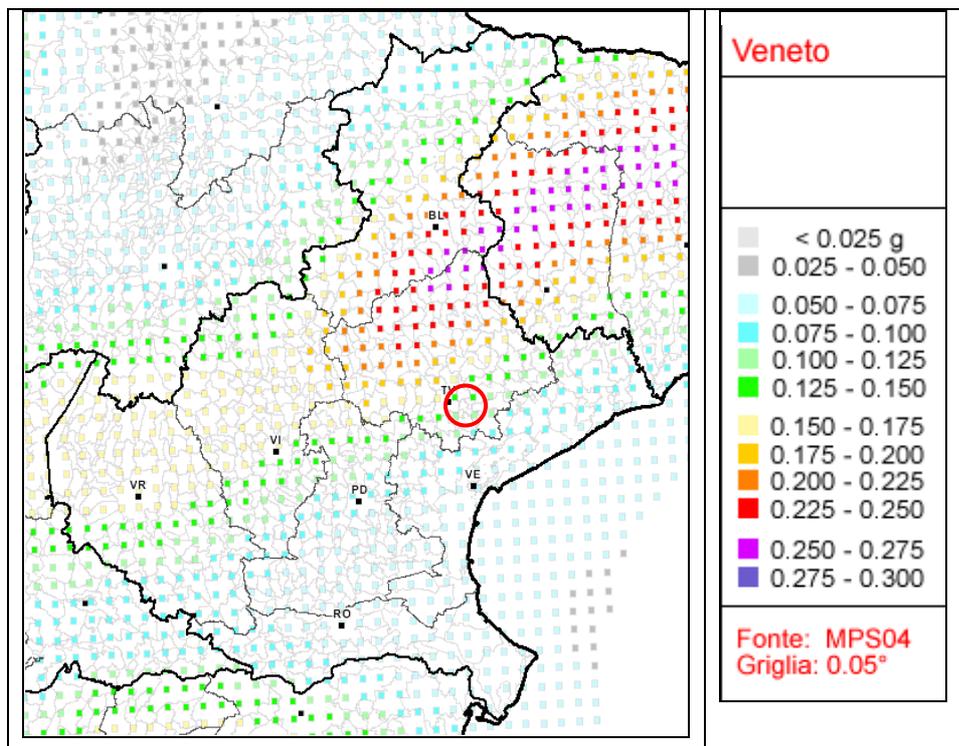
Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9

Dalle Linee guida per la Microzonazione sismica - Par. 2.8, vengono stabiliti i valori medi di magnitudo attesa per comune, con tempi di ritorno $T_r = 475$ anni, che per il territorio di Silea, assumono il valore $M = 5,5 \div 6,0$ (Spallarossa e Barani, 2007).

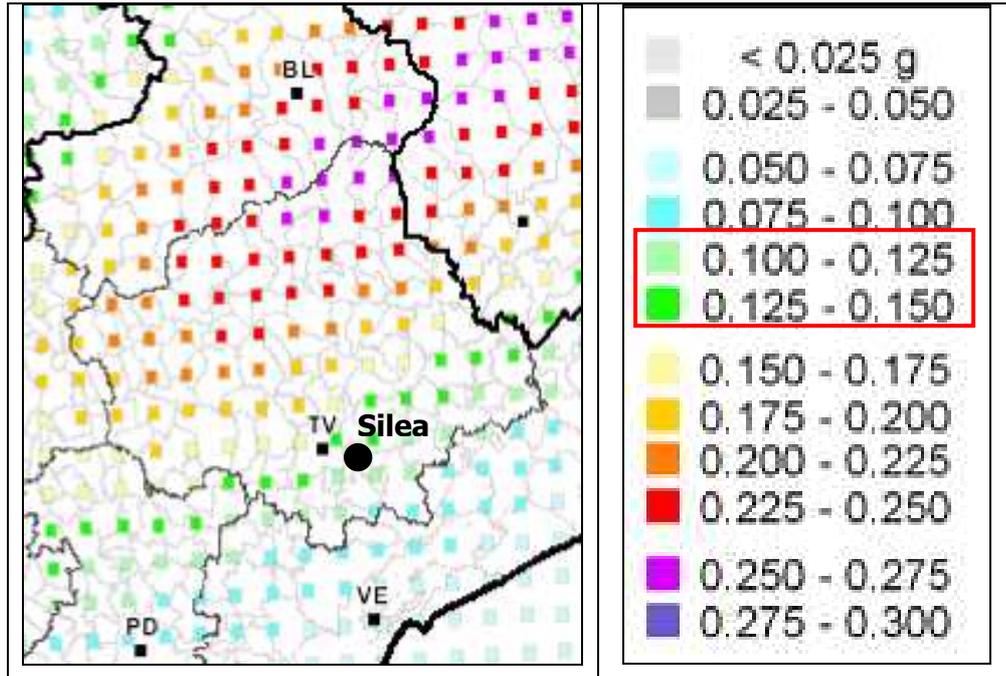


Valori medi di magnitudo ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità sismica con tempi di ritorno di 475 anni. Per il territorio di Silea si assume il valore $M = 5,5 \div 6,0$ con $Tr = 475$ anni

Nella mappa della pericolosità sismica allegata alla OPCM 3519/2006 qui di seguito riportata, per la zona in esame, risulta una **accelerazione massima al suolo compresa tra 0.100g e 0,150g** con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.



Carta di pericolosità sismica della regione Veneto espressa in termini di accelerazione massima del suolo (ag) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli di categoria A ($V_{s30} > 800$ m/s).

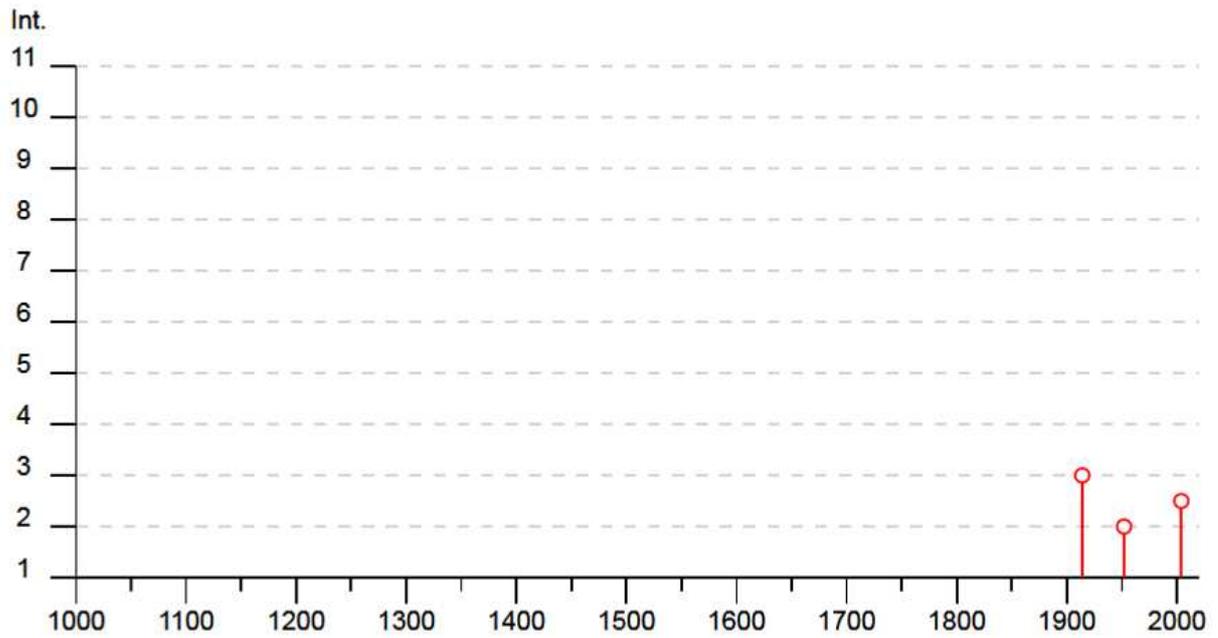


Carta di pericolosità sismica della provincia di Treviso espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli di categoria A ($V_s 30 > 800$ m/s). Nel riquadro i valori attesi di a_g per il territorio di Silea. **Per il territorio di Silea l'accelerazione orizzontale massima per i suoli di categoria A è compresa tra 0,100 g e 0,150 g**

2.2 Sismicità storica

2.2.1.1 Storia sismica di Silea

Effetti	In occasione del terremoto del:								
	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io
3	1914	10	27	09	22	Lucchesia	660	7	5.63
2	1952	01	18	01	36	Pordenonese	108	5	4.44
2-3	2004	07	12	13	04	Slovenia nord-occidentale	353	6	5.12

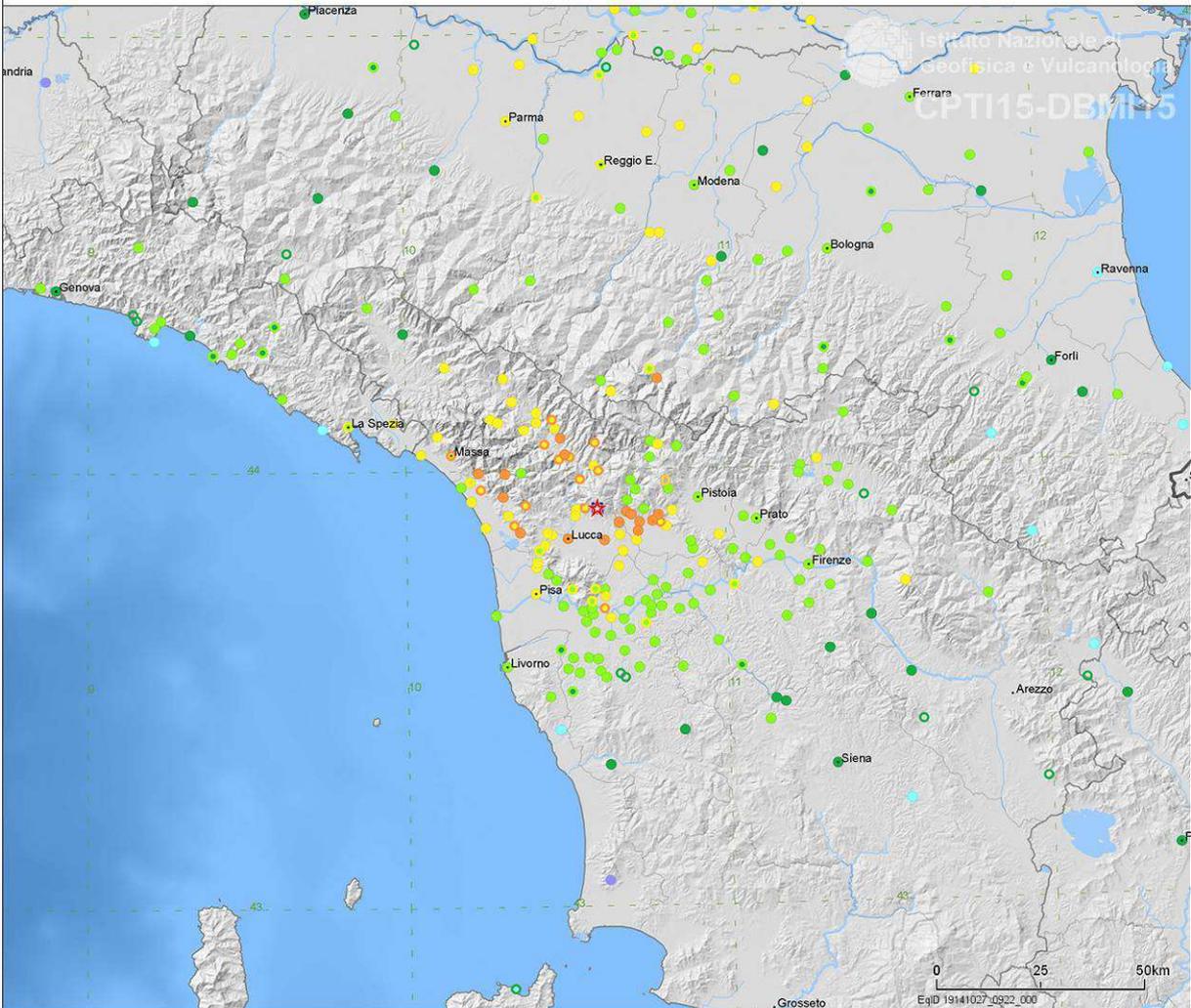


Nelle immagini successive vengono mostrate le intensità degli eventi sismici della tabella e la loro localizzazione.



27 October 1914 09:22:--, Lucchesia
MDP set by Meloni et al., 1988
NMDP 660 Imax 7

CPTI15 ★ 43.912, 10.598 Mw 5.63 ±0.08
macroseismic 43.912, 10.598 Mw 5.55 ±0.10
instrumental Mw 5.89 ±0.17



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

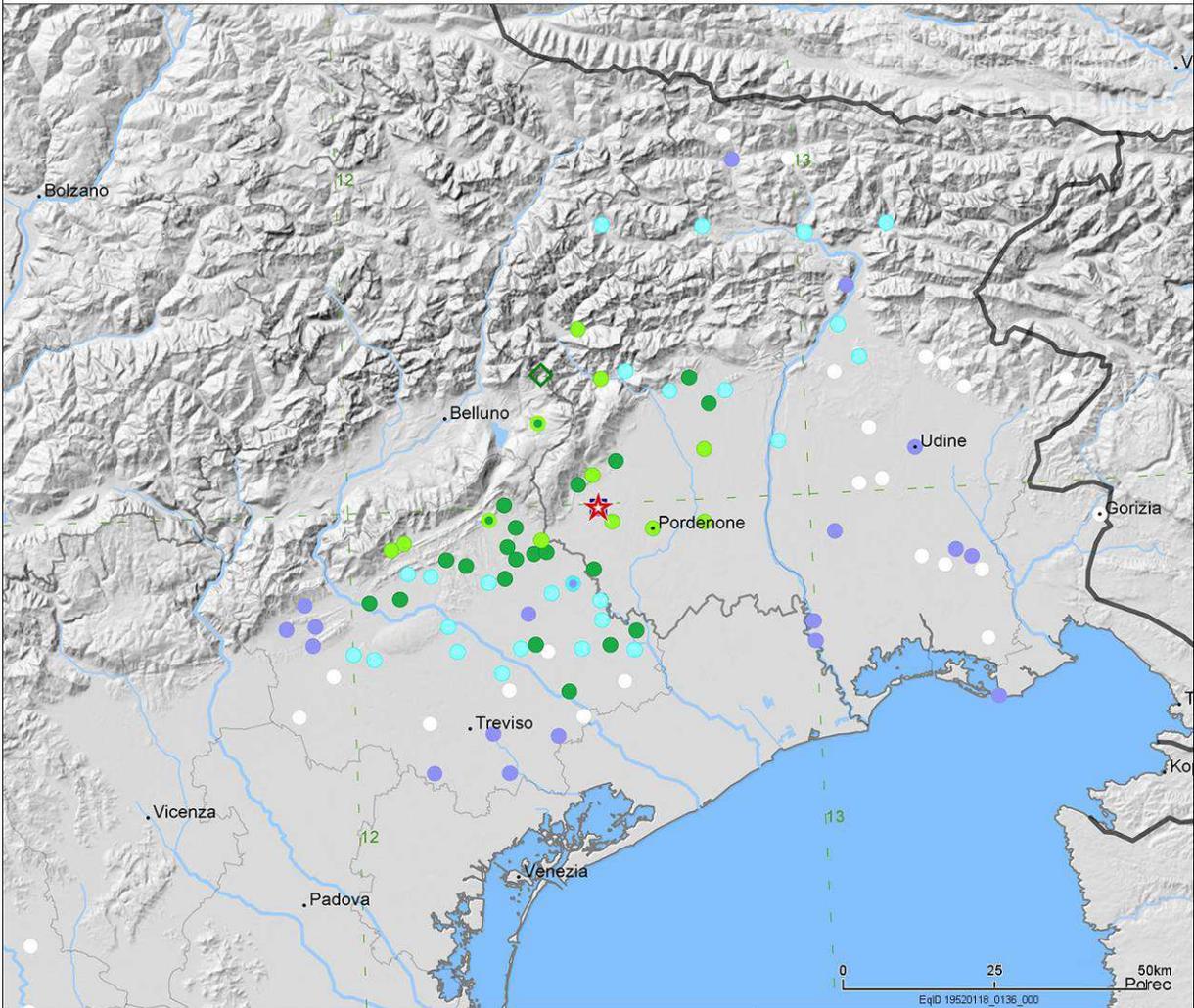
CPTI15-DBMI15





18 January 1952 01:36:-- , Pordenonese
MDP set by Iaccarino and Molin, 1978
NMDP 108 Imax 5

CPTI15 ★ 45.995, 12.542 Mw 4.44 ±0.12
macroseismic □ 45.995, 12.542 Mw 4.34 ±0.14
instrumental ◇ 46.200, 12.430 Mw 4.75 ±0.23



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

CPTI15-DBMI15

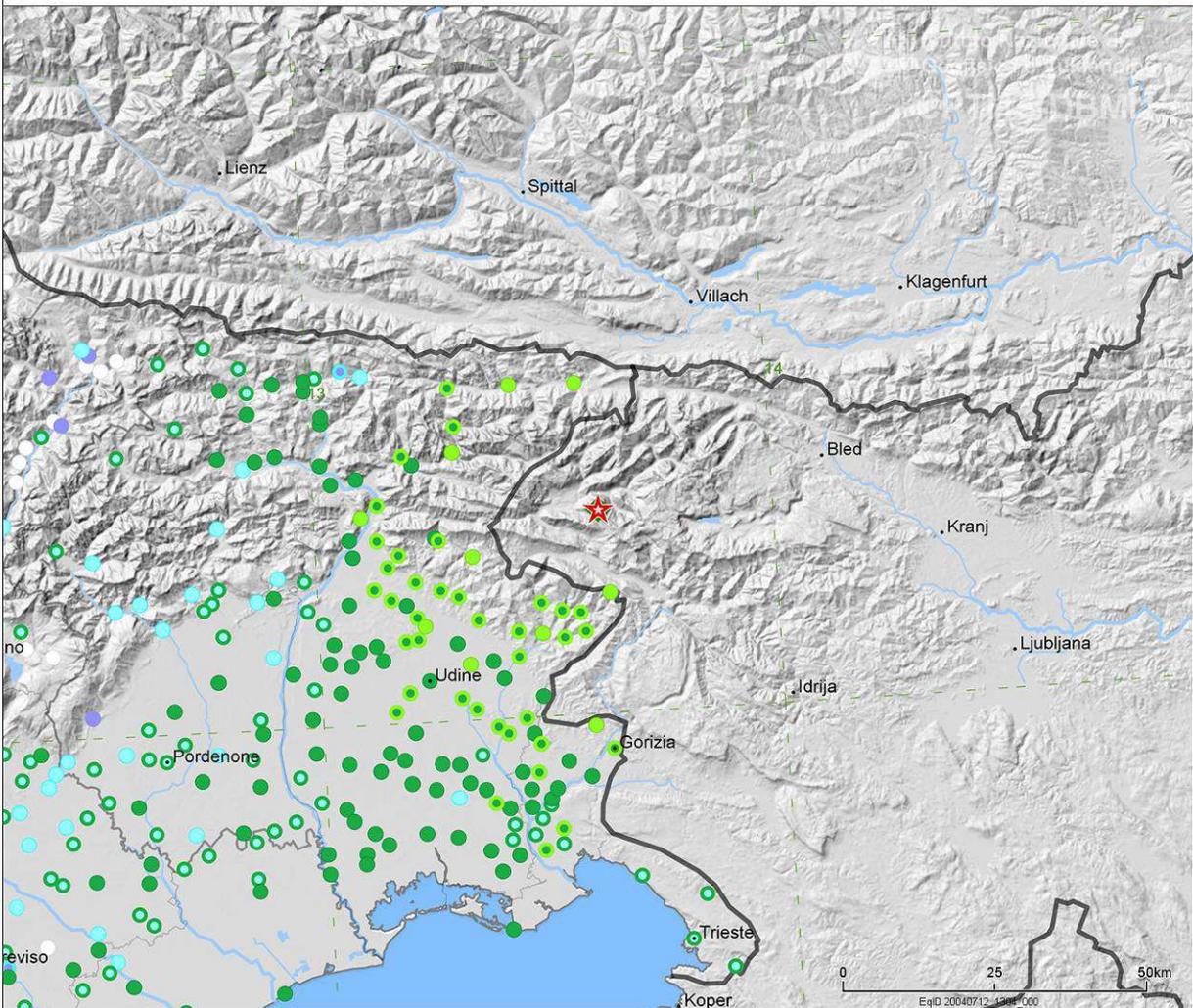




12 July 2004 13:04:06.00, Slovenia nord-occidentale
MDP set by Bollettino Macrosismico INGV, 2011
NMDP 353 Imax 5

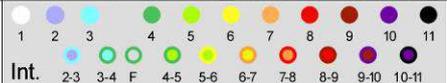
CPTI15
instrumental

★ 46.310, 13.620 Mw 5.12 ±0.07
◇ 46.310, 13.620 Mw 5.12 ±0.07



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

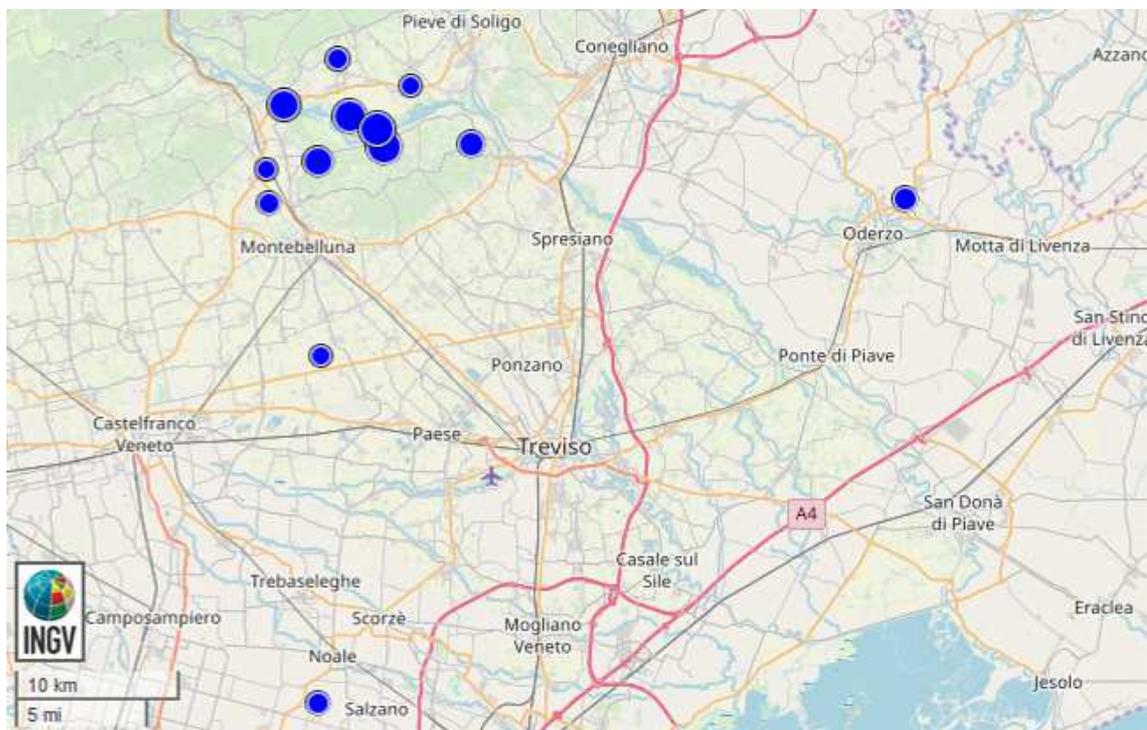
CPTI15-DBMI15





Dal catalogo ISIDe è stato inoltre possibile effettuare la ricerca degli eventi sismici con una Magnitudo compresa tra 3 e 10 che hanno interessato l'area entro un raggio di 30 km dal territorio di Silea dal 01/01/2000 ad oggi. Di seguito si riportano rispettivamente i dati di ciascun evento e la loro ubicazione planimetrica.

ID	Data	MI	Zona	Profondità (km)	Lat.	Long.
1	2017-01-29	ML 2.0	4 km SW Trevignano (TV)	11	45.72	12.06
2	2015-05-15	ML 2.2	3 km W Moriago della Battaglia (TV)	8	45.88	12.08
3	2015-05-15	Mw 3.3	3 km SW Moriago della Battaglia (TV)	12	45.85	12.08
4	2015-05-12	ML 3.5	4 km S Moriago della Battaglia (TV)	10	45.83	12.11
5	2011-09-13	ML 3.2	1 km SW Vidor (TV)	9	45.86	12.03
6	2011-09-13	ML 3.6	3 km S Moriago della Battaglia (TV)	2	45.84	12.11
7	2011-07-31	ML 2.1	2 km NE Caerano di San Marco (TV)	6	45.80	12.02
8	2011-07-31	ML 2.0	2 km W Crocetta del Montello (TV)	8	45.82	12.02
9	2010-06-23	ML 2.9	2 km E Crocetta del Montello (TV)	5	45.82	12.06
10	2008-10-08	ML 2.3	3 km SW Mansuè (TV)	5	45.80	12.52
11	2006-01-02	ML 2.1	3 km NE Santa Maria di Sala (VE)	11	45.53	12.06
12	2005-09-08	ML 2.0	1 km S Sernaglia della Battaglia (TV)	13	45.87	12.13
13	2001-03-19	Md 2.5	3 km W Nervesa della Battaglia (TV)	5	45.83	12.18



Eventi sismici prossimi all'area di Silea di magnitudo ≥ 2 tra il 2000 e oggi



2.3 Faglie attive

È stato consultato l'archivio del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults) per verificare la presenza di faglie capaci all'interno del territorio comunale. Non sono presenti faglie attive e capaci all'interno del territorio comunale.



3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento topografico e geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico l'agente determinante nella formazione del territorio del comune è stata l'azione delle acque correnti.

Processi di deposizione si sono alternati ad altri di trasporto erosione e risedimentazione attribuibili alla complessa rete idrografica locale. Tutto questo è cessato in epoca storica, infatti dall'osservazione macroscopica del territorio, quella condotta attraverso l'interpretazione di fotografie aeree e dalla cartografia storica, porta a ritenere che nell'area comunale non vi siano fenomeni geodinamici di rilievo in atto.

Nei tempi recenti il maggiore fattore morfodinamico è l'attività antropica con la sua incessante opera di trasformazione agraria, canalizzazione, escavazione ecc..

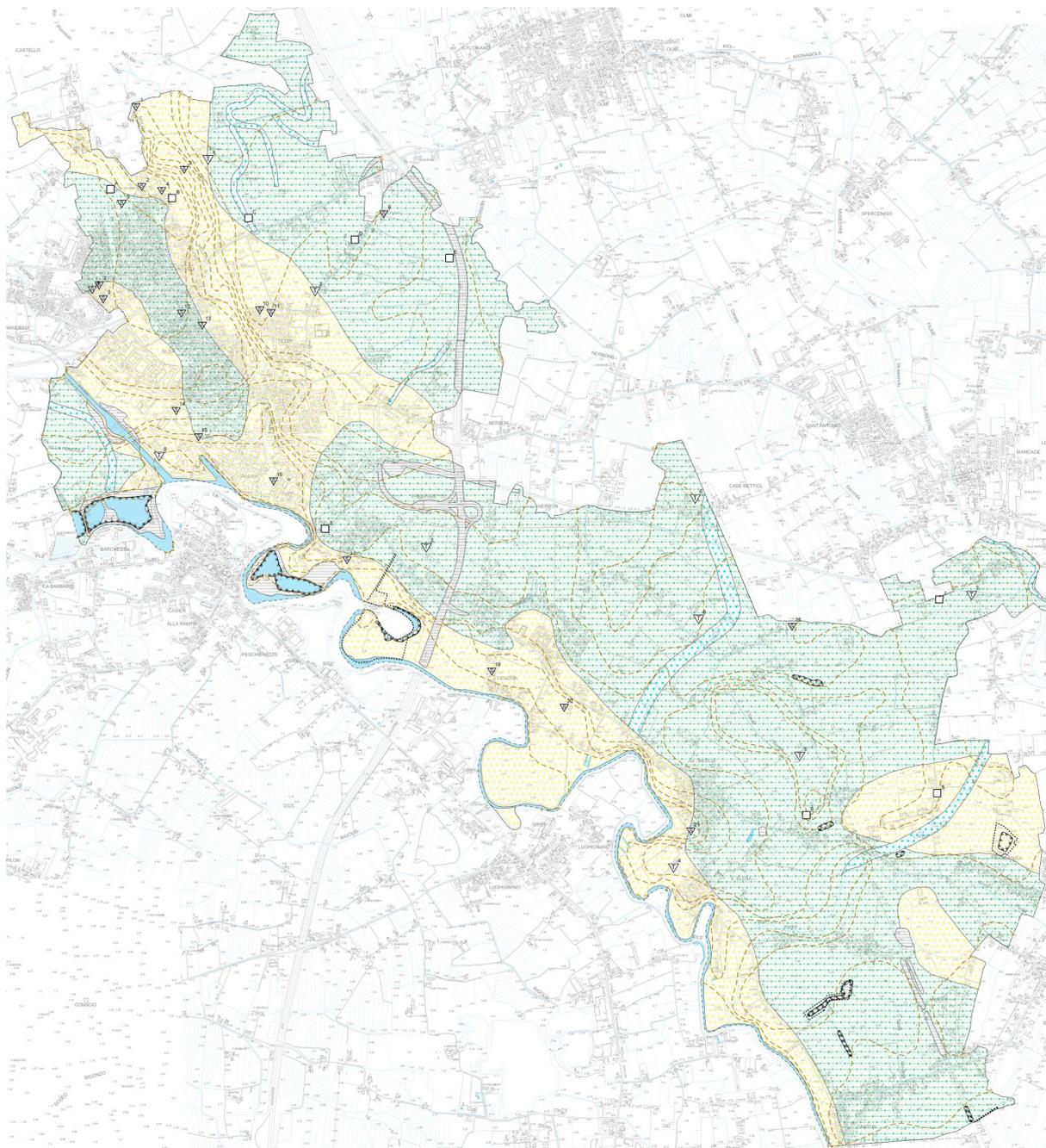
Le quote estreme naturali sono comprese tra i 14,5 m s.l.m. nel margine più a nord e la quota di circa 2 m s.l.m. nel estremità sud-orientale all'interno dell'alveo del Fiume Sile. L'inclinazione generale è verso S-SE con pendenze variabili tra l'1 e il 2 per mille (0,20% nelle porzioni settentrionali, sino a 0,17% nelle aree meridionali).

L'aspetto più rilevante dal punto di vista morfologico è la presenza dell'alveo del fiume Sile lungo tutto il confine occidentale del territorio comunale. Questo non presenta un alveo profondamente inciso e limitato da terrazzi, piuttosto presenta una generale depressione verso l'attuale alveo. Le quote quindi tendono a digradare progressivamente senza presentare importanti "salti" morfologici.

L'altro aspetto rilevante è la presenza di attività estrattive a cielo aperto che hanno determinato la presenza di alcune scarpate di cava e la presenza di accumuli di materiale rimaneggiato.

3.1.1 Forme artificiali

Nel territorio comunale esistono forme "artificiali" derivanti dall'intervento antropico. Si tratta di terrapieni per il rilevato autostradale che attraversa il territorio comunale. Inoltre sono presenti dei cumuli di materiali derivanti dall'attività di estrazione di materiali prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi in prossimità dell'alveo del fiume Sile, oggi dismesse ma non ripristinate.



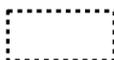
Carta Geomorfologica redatta per il PAT comunale

Legenda

M-ART-06



Orlo di scarpata di cava abbandonata o dismessa



Limite di concessione di cava (c0503101)

Legenda Carta Geomorfologica redatta per il PAT comunale



3.1.2 Elementi morfologici a valenza sismica

All'interno del territorio comunale di Silea non sono stati individuati elementi morfologici che possono avere valenza sismica in termini di effetti geometrici o topografici.



3.2 Inquadramento geologico

Il territorio del comune si colloca al passaggio tra la media e la bassa pianura veneta formata in tempi geologicamente recenti dall'accumulo di materiali di origine glaciale e fluvioglaciale trasportati dai fiumi Piave e Brenta in uscita dalle valli alpine che formarono grandi conoidi alluvionali legate le une alle altre. Le alluvioni depositate dal Piave corrispondono a terreni caratterizzati da granulometrie medio grossolane (sabbie e ghiaie). Tali apporti derivano dalle divagazioni del Piave, che in questa zona, si sono concluse quando il fiume si è spostato più ad est defluendo completamente attraverso il varco di Nervesa della Battaglia facendo di fatto migrare la conoide attiva e quindi il suo raggio d'azione verso est. Dopo il trasferimento del Piave le sabbie e le ghiaie vennero ricoperte dalle alluvioni del Brenta, le quali, non più ostacolate dal Piave, si espansero liberamente. Tale cambiamento si è riflesso sulla tessitura dei terreni depositati passando da granulometrie grossolane, a prevalenti limi e argille talora con sabbie. In sintesi si può dire che i terreni superficiali sono stati depositati dal Fiume Brenta, mentre quelli più profondi dal Fiume Piave. Attualmente i due tipi di terreni risultano affioranti grazie alla locale erosione dei terreni a tessiture fini da parte del Fiume Sile che ha portato alla luce i sottostanti livelli di terreni più grossolani. In genere i primi dieci metri di sottosuolo risultano costituiti da prevalenti tessiture da limoso-argillose, localmente caratterizzate da bancate di "caranto", a sabbiose. La formazione limoso-argillosa talora include livelli e lenti di sabbia, generalmente fine per lo più satura d'acqua. Questi depositi corrispondono alla fase deposizionale del Brenta nel periodo postglaciale. La complessa formazione appena descritta passa in modo piuttosto netto alla sottostante formazione ghiaiosa costituita da ghiaie da medie a medio-fini in matrice sabbioso-limosa. Tali ghiaie localmente includono lenti e livelli torbosi. Le ghiaie derivano dalla fase deposizionale precedente a quella del Brenta avvenuta nel periodo glaciale sino alle prime fasi del postglaciale da parte del Fiume Piave. La pianura ove si colloca l'ambito di Silea si è formata in epoca quaternaria.



3.2.1 Depositi sciolti presenti nella Carta Geolitologica del PAT (Quaternario)

I depositi quaternari sono stati suddivisi nelle seguenti aree con le relative tessiture dei depositi::

- pianura alluvionale indifferenziata costituita da depositi di divagazione ed esondazione delle aste fluviali recenti e dei grandi deflussi dell'idrografia post-glaciale; tessitura limo-argillosa prevalente con sporadiche lenti sabbiose sature e locali livelli ben consolidati ("caranto");
- fasce di deposito delle aste fluviali recenti e attuali; tessitura in prevalenza sabbiosa e subordinatamente ghiaiosa in scarsa matrice fine limo-argillosa;
- tracce di rami fluviali estinti ("paleo-alvei") costituiti da depositi a livelli limosi e sabbiosi variamente associati e lungo i quali perdura una condizione di drenaggio sub-superficiale;
- area di riporto o colmate.

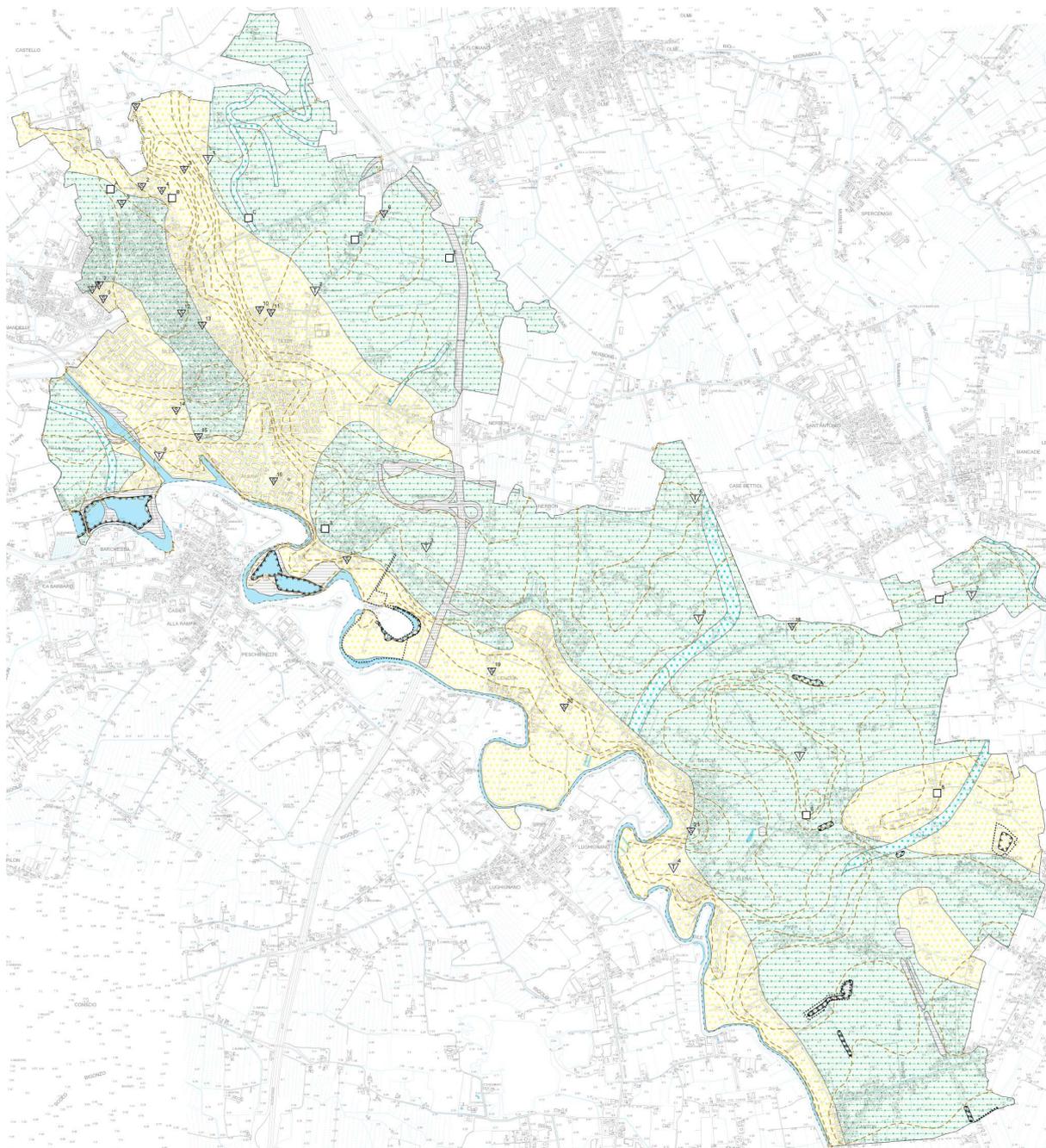
- 1. Depositi di divagazione ed esondazione delle aste fluviali recenti e dei grandi deflussi dell'idrografia post-glaciale; tessitura limo-argillosa prevalente con sporadiche lenti sabbiose sature e locali livelli ben consolidati ("caranto"):** sono terreni a tessitura prevalentemente limo-argillosa con sporadiche lenti sabbiose. Sono di origine fluviale e generati dalle alluvioni dei corsi fluviali. Localmente è presente il livello denominato "caranto", nome locale di un paleosuolo pleistocenico costituito da un'argilla limosa, limoso-sabbiosa estremamente compatta. È facilmente riconoscibile e si presenta come un sedimento molto duro e compatto, di colore variabile dal marrone chiaro al grigio chiaro, con striature color ocra. Si tratta di un sedimento continentale a granulometria molto fine di origine fluvio-glaciale che ha subito un processo di sovraconsolidazione per essiccamento in ambiente subaereo, contenente anche noduli calcarei derivanti dalla lisciviazione dei carbonati presenti ad opera delle acque piovane durante la sua genesi. Sono diffusamente presenti nel territorio comunale
- 2. Depositi delle aste fluviali recenti e attuali a tessitura in prevalenza sabbiosa e subordinatamente ghiaiosa in scarsa matrice fine limo-argillosa:** sono terreni prevalentemente sabbiosi con subordinate ghiaie in matrice fine limo-argillosa di origine fluviale o fluvioglaciale. Sono diffusamente presenti nel territorio comunale
- 3. Tracce di rami fluviali estinti ("paleo-alvei") costituiti da depositi a livelli limosi e sabbiosi variamente associati:** sono materiali prevalentemente sabbiosi e limosi presenti in corrispondenza di paleoalvei di corsi d'acqua estinti. Sono diffusamente presenti nel territorio comunale.
- 4. Area di riporto o colmate dell'attività estrattiva:** sono materiali di origine antropica utilizzati nella costruzione del rilevato autostradale che attraversa il territorio comunale. Inoltre sono rappresentati da materiali rimaneggiati derivanti dalle attività di estrazione nelle cave. Sono presenti come riempimenti o cumuli ai margini di queste.



Interpretazione delle litologie presenti nel PAT nello studio di Microzonazione Sismica

Qui di seguito vengono elencate le singole litologie cartografate nella carta geolitologica e geomorfologica del PAT con il relativo codice e la riclassificazione con i codici della Carta Geologica Tecnica redatta per il presente studio di Microzonazione Sismica:

CODIFICA PAT	DESCRIZIONE PAT	CODICE MS	DESCRIZIONE MS	CODICE AMBIENTE GENETICO/ DEPOSIZIONALE
L-ALL-04	Materiali sciolti di deposito recente ed attuale dell'alveo mobile e delle aree di esondazione recente	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo	es (Argine/barre/canali)
L-ALL-05	Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo argillosa	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre	pi (Piana inondabile)
L-ALL-06	Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente sabbiosa	SW	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose	es (Argine/barre/canali)
L-ART-01	Aree di riporto o colmata	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica	zz (altro)



Carta Litologica redatta per il PATcomunale

- | | | |
|----------|---|--|
| L-ALL-05 |  | PIANURA ALLUVIONALE INDIFFERENZIATA COSTITUITA DA DEPOSITI DI DIVAGAZIONE ED ESONDAZIONE DELLE ASTE FLUVIALI RECENTI E DEI GRANDI DEFLUSI DELL'IDROGRAFIA POST-GLACIALE; TESSITURA LIMO-ARGILLOSA PREVALENTE CON SPORADICHE LENTI SABBIOSE SATURE E LOCALI LIVELLI BEN CONSOLIDATI ("CARANTO") |
| L-ALL-06 |  | FASCE DI DEPOSITO DELLE ASTE FLUVIALI RECENTI E ATTUALI; TESSITURA IN PREVALENZA SABBIOSA E SUBORDINATEMENTE GHIAIOSA IN SCARSA MATRICE FINE LIMO-ARGILLOSA |
| L-ALL-04 |  | TRACCE DI RAMI FLUVIALI ESTINTI ("PALEO-ALVEI") COSTITUITI DA DEPOSITI A LIVELLI LIMOSI E SABBIOSI VARIAMENTE ASSOCIATI E LUNGO I QUALI PERDURA UNA CONDIZIONE DI DRENAGGIO SUB-SUPERFICIALE |
| L-ART-01 |  | AREA DI RIPORTO O DI COLMATA |



3.2.2 *Caratterizzazione geomeccanica dei litotipi*

Nel territorio comunale si è potuta verificare la presenza di differenti substrati con le caratteristiche geotecniche riportate nella tabella sottostante desunte da letteratura. E' importante ricordare poi come le litologie siano variabili in profondità, sia in senso verticale che orizzontale, e che i valori della tabella sono puramente indicativi.

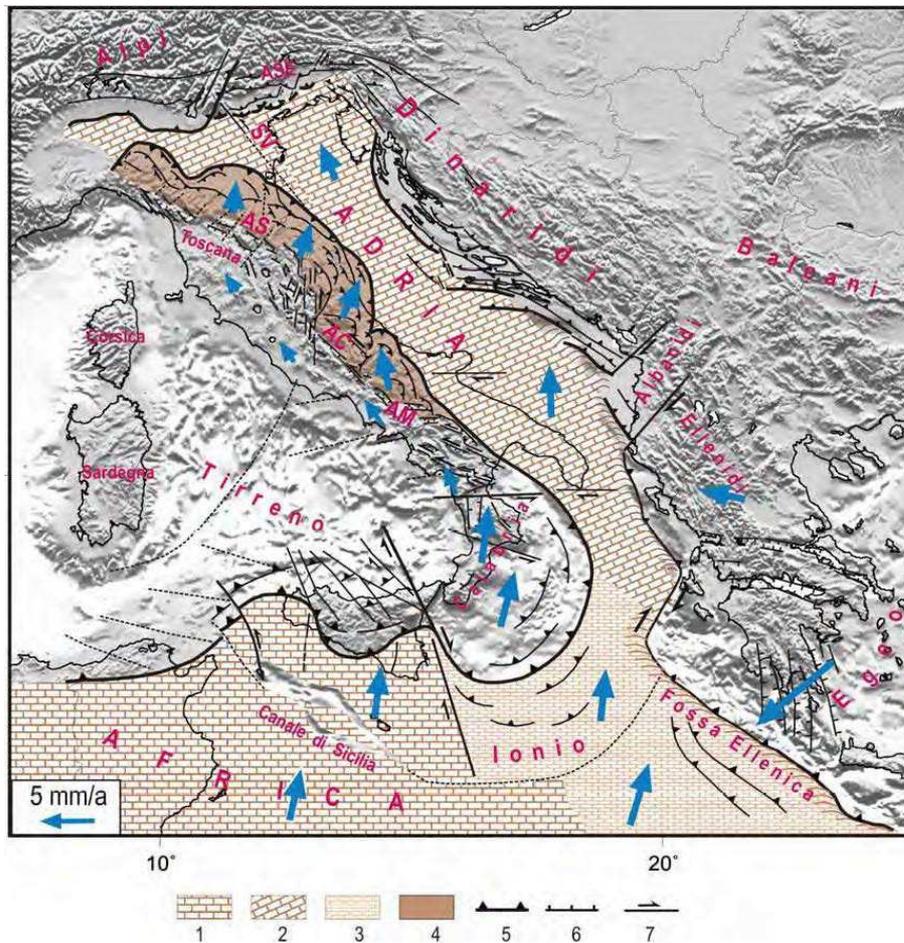
LITOLOGIA	VALORI ORIENTATIVI		
	Densità media l/m ³	Velocità onde sismiche Km/sec	Rigidità dello strato
Sedimenti sabbioso-ghiaiosi con poco limo	1,8	0.6	0.6
Sedimenti sabbioso argillosi con frazioni ghiaiose-sabbiose in lenti	1.7	0.25	0.4



3.3 Tettonica

3.3.1 Inquadramento sismotettonico generale

Dal punto di vista strutturale, il territorio di Silea si colloca a ridosso della grande unità litologica delle Alpi meridionali. Quest'ultima è stata interessata dal *rifting* giurassico con l'individuazione di una piattaforma carbonatica bordata dal bacino carnico, bacino bellunese, bacino di Tolmino e dal plateau carnico-giulio. La placca Adria, che tettonicamente rappresenta un promontorio della placca africana (Channell, 1996) collocata lungo la pianura padana veneta e lungo il mare Adriatico, interagisce attivamente con la placca europea determinando il corrugamento alpino e appenninico e, conseguentemente, lo stress tettonico attuale.



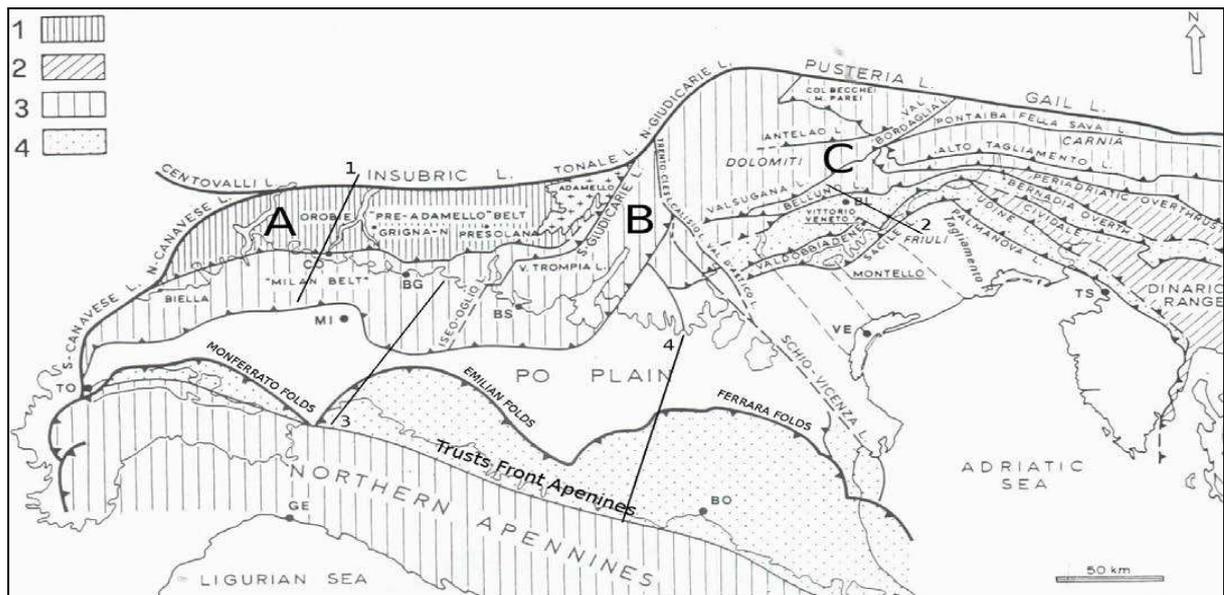
Schema tettonico della penisola italiana

Legenda: 1- Placca Africana con crosta continentale; 2- Microplacca Adria con crosta continentale; 3- Area di transizione tra Placca Africana e Microplacca Adria; 4- Catena Appenninica (AS: Appennino Settentrionale; AC: Appennino Centrale; AM: Appennino Meridionale); 5- Fronte della catena Appenninica; 6- Faglie normali; 7- Faglie trascorrenti (SV: Linea Schio-Vicenza); ASE: Alpi Meridionali Orientali. La lunghezza della freccia blu è proporzionale alla velocità di movimento della placca

L'Adria è costituita da crosta continentale che, nella porzione più settentrionale, è rappresentata dal substrato della pianura padana interagente con il fronte della catena appenninica a sud e con il sud-alpino a nord. La collisione continentale tra la parte più settentrionale della placca Adria e quella europea ha portato alla formazione della catena alpina. La conseguente subduzione verso sud della placca europea e il sovrascorrimento della



placca Adria (subduzione continentale, Bally et al., 1985) ha provocato la formazione di strutture di retro-trust. Un importante ruolo di svincolo cinematico della placca Adria settentrionale viene svolto dalla Linea Schio-Vicenza (Babbucci et al., 2002): una faglia trascorrente sinistra (Plio-Quaternaria) che mette le Alpi meridionali a contatto con quelle centro-occidentali. Il blocco veneto-friulano (figura seguente) è caratterizzato da strutture tettoniche con direzioni variabili (Doglioni et al., 1987; Castellarin et al., 1992; Pontron et al., 2000). Nella zona friulana centrale si ha il massimo delle deformazioni e del raccorciamento per l'estrema embricazione sud-vergente delle unità. L'assetto strutturale della pianura veneta, che rappresenta l'avampaese di due catene montuose perimetrali, è condizionato dall'interferenza tra le strutture del Sud-alpino a nord e il fronte della catena dinnarica a est (Merlini e al., 2002).



Schema strutturale della Pianura Padana (microplacca Adria) e delle aree adiacenti (mod. da: Castellarin et al., 1982)

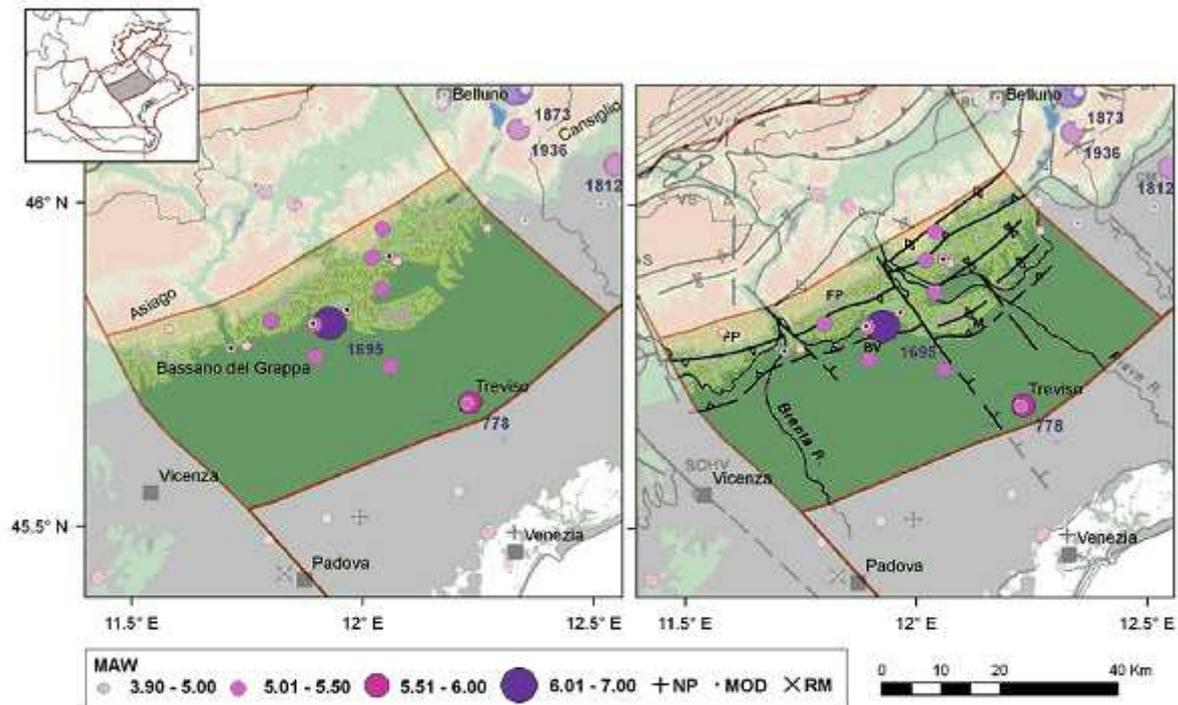
Legenda: Il Sud-alpino è tettonizzato in età neoalpina (Cretaceo-Paleocenica) (1) e in età Eocene inf. e medio (2). L'area Appenninica è coeva al settore più occidentale delle Alpi (3) di età Messiniana e Plio-Pleistocenica. L'area Appenninica e Veneto-Friulana (4), in forte accorciamento, è caratterizzata dalle strutture sepolte sotto i depositi di pianura. Il Sud-alpino è diviso in A) Blocco Lombardo, B) Blocco Trentino-Lessineo e C) Blocco Veneto-Friulano.

3.3.1.1 Il distretto della pedemontana sud

Questa regione comprende parte del fronte esterno Plio-Quaternario della Catena Sudalpina orientale, e si estende dall'altopiano di Asiago fino alla zona pedemontana del margine del Cansiglio. In questo settore è presente la Flessura Pedemontana, elemento dal quale prendono il nome sia questo distretto, sia il contiguo elemento (Pedemontana Nord) a NO; essi sono stati analizzati separatamente, privilegiando le interpretazioni che ritengono le strutture verso nord abbiano raggiunto una configurazione tettonica quasi definitiva (Zanferrari *et al.*, 1982), e individuano invece nella porzione meridionale le potenziali sorgenti di terremoti distruttivi (Galadini *et al.*, 2005; Burrato *et al.*, 2008, 2009; Poli *et al.*, 2008). Il distretto Pedemontana Sud si estende a SE alla zona di pianura, approssimativamente ad includere la fascia delle risorgive; lungo la catena, il sistema strutturale è troncato bruscamente ad ovest dagli allineamenti disposti NO-SE del Sistema Schio-Vicenza, verso est da elementi paleogeografici riconducibili alla strutturazione della Piattaforma Friulana (margine occidentale del massiccio del Cansiglio).



L'area è caratterizzata da pieghe e sovrascorrimenti ad andamento ENE-OSO, prevalentemente vergenti a S-SE (Poli *et al.*, 2008). La strutturazione della attuale fascia pedemontana, estesa dal Bassanese fino al fiume Tagliamento trae le sue origini nell'evento compressivo del Messiniano-Pliocene, ampiamente propagatosi all'interno della catena entro sistemi già strutturati (Castellarin *et al.*, 1998b). Tuttora l'area presenta un'attività tettonica rilevante, con una compressione attiva la cui velocità è stimata nell'ordine di qualche mm/a (D'Agostino *et al.*, 2005). Negli ultimi 15 anni circa, le ipotesi cilindriste, che identificano come potenzialmente sismogenici alcuni sovrascorrimenti subparalleli, sono state riviste alla luce di nuovi dati, e di più moderni criteri di segmentazione; oltre a ridurre il numero di potenziali faglie attive rispetto ai precedenti studi, le analisi geomorfologiche delle deformazioni quaternarie, in particolare, si sono dimostrate adatte per quantificare l'attività di sovrascorrimenti ciechi, o pieghe-faglie di crescita (Galadini *et al.*, 2005). La stretta di Quero e il rilievo del Montello sono gli elementi geologici e morfologici del distretto Pedemontana Sud attorno ai quali si sono maggiormente concentrati studi per il riconoscimento di faglie attive (p. es. Benedetti *et al.*, 2000; Ferrarese e Sauro, 2005; Anselmi *et al.*, 2007, 2011; Burrato *et al.*, 2009). Nonostante ciò, il potenziale sismico dell'area resta ancora piuttosto controverso, e si moltiplicano gli studi per comprendere la relativa assenza di sismicità su faglie ritenute capaci di generare forti terremoti. Per questo, si attendono i risultati di monitoraggi specifici, attualmente in corso per caratterizzare la deformazione geodetica e la microsismicità (p. es. Serpelloni e Cavaliere, 2010)



Mappa della sismicità storica del distretto Pedemontana Sud (PS); fonte dati CPTI04 criticamente rivisto (Molin *et al.*, 2008). Visualizzazione su DEM in scala cromatica (sn) e su DEM integrato con modello strutturale tratto da Castellarin *et al.* (1998b) (dx). In legenda: *Maw* indica la magnitudo equivalente a M_w riportata in CPTI Working Group (2004); i sovrassegni indicano eventi revisionati, rispettivamente come non parametrizzati 'NP', modificati 'MOD' o rimossi 'RM'.

*Historical seismicity in the Pedemontana Sud (PS) district: data taken from CPTI04 (CPTI Working Group, 2004), critically revised according to Molin et al. (2008). Epicentres location on DEM (left), integrated by the structural scheme from Castellarin et al. (1998b) (right). In the legend: pink symbols sized according to M_w given by *Maw* in the original catalogue; in black revised events, respectively 'NP' not parameterized, 'MOD' modified, 'RM' removed.*

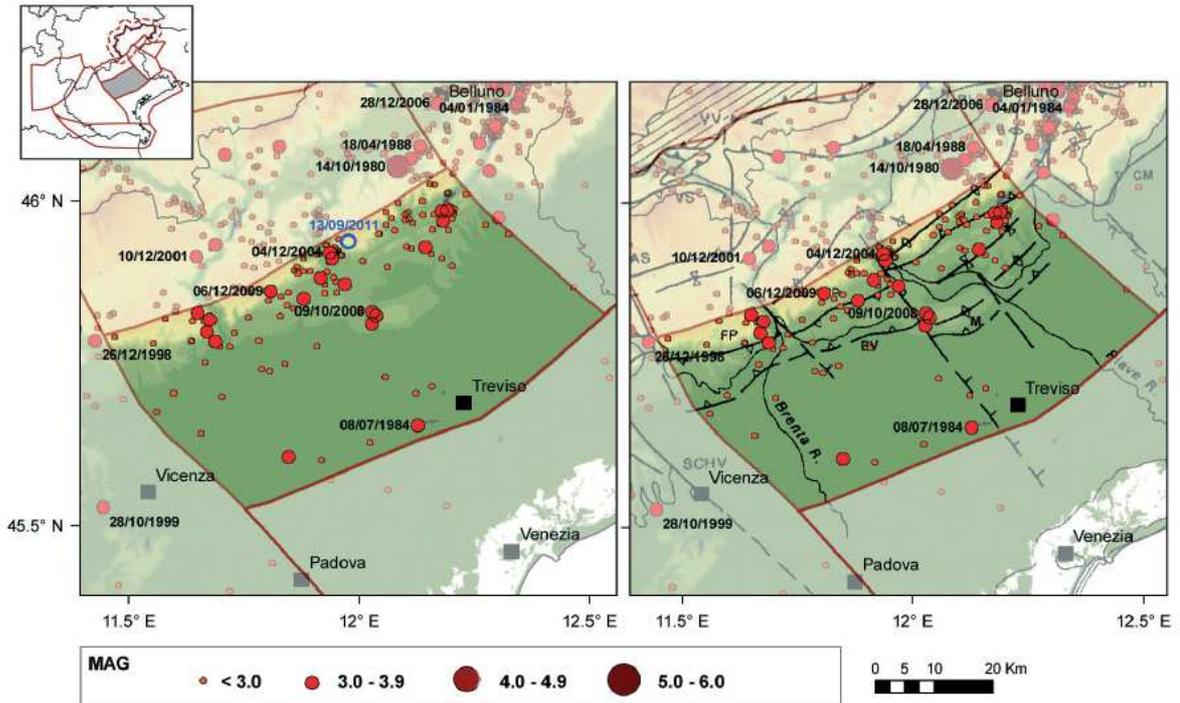
Il distretto Pedemontana Sud è una zona interessata storicamente da un evento distruttivo, e numerosi eventi che hanno superato la soglia del danno ($I_0=VI$ MCS), documentati in modo abbastanza affidabile sin dal XIII secolo. Risale al 25 febbraio 1695 l'evento più energetico



($I_0=IX-X$ MCS, $MW=6,61$), la cui magnitudo derivata da dati macrosismici è comparabile ai massimi eventi registrati nell'area friulana a seguito del terremoto del 1976. Localizzato nell'Asolano, l'evento ha raggiunto la soglia della distruzione coinvolgendo pesantemente l'area compresa tra Bassano del Grappa e Valdobbiadene. Le ipotesi genetiche relative a questo terremoto sono molto dibattute; il piano quotato è ben rappresentato nella direzione della pianura, ma nessuna informazione è riferita alle zone montuose. E' questo un tipico effetto della diversa accessibilità alle fonti documentarie contemporanee all'evento; il territorio della pedemontana risultava infatti controllato dall'amministrazione territoriale della Repubblica di Venezia, i cui confini all'epoca del terremoto passavano poco a nord della zona di Asolo, mentre il resto del territorio era sotto la giurisdizione dell'Impero Austro-Ungarico. Studi su fonti austriache sono in corso in questi ultimi anni, e porteranno presumibilmente ad un quadro del danneggiamento più documentato verso nord. Danni significativi dovuti ad eventi più antichi vengono invece attribuiti esclusivamente o prevalentemente alla città di Treviso (778, $I_0=VIII-IX$, $MW=5,84$; 1268, $I_0=VII-VIII$, $MW=5,37$); per questi eventi è oggi impossibile risolvere la vera localizzazione, data la scarsità di fonti storiografiche che documentano danni. Si è adottata una estensione meridionale del distretto fino al limite della bassa pianura proprio per includere questi eventi nella medesima sorgente sismogenica del 1695. Quattro eventi minori (25 febbraio 1756, 1857, 1897, e 1919) sono stati recentemente revisionati (Molin *et al.*, 2008) con modifiche lievi ai parametri di intensità e localizzazione. Negli ultimi due secoli, l'evento maggiore è stato quello del 12 giugno 1836, localizzato nell'area di Bassano, che ha raggiunto la soglia del danno significativo ($I_0=VII-VIII$ MCS, $MW=5,48$), e una serie di eventi dannosi, prevalentemente documentati nella seconda metà del XIX secolo. Da oltre un secolo, quindi, nell'area non si verificano eventi di energia significativa.

3.3.1.2 Sismicità strumentale

La sismicità registrata strumentalmente dal 1977 si presenta da bassa a moderata, con diversi eventi di magnitudo maggiore di 3, limite teorico della soglia di percezione, localizzati lungo la fascia esterna della catena alpina, nella zona della Flessura Pedemontana (FP) e del Montello (M). La magnitudo massima registrata nell'area fino al 2010 è $MD=3,3$. Il 13 settembre 2011, è avvenuto un evento di $ML=3,7$. Esso risulterebbe l'evento più energetico in epoca strumentale, nonostante effetti di stazione abbiano portato ad una possibile sovrastima della magnitudo di 2-3 decimi di grado. La complessità della sorgente, con diversi eventi succedutisi nell'arco di pochi minuti, è probabilmente responsabile dell'incertezza nel meccanismo focale, non ben vincolato sia utilizzando la tecnica dell'inversione del momento sismico, sia da polarità del primo impulso; elaborazioni di maggior dettaglio sono tuttora in corso. Altri eventi di $M>3,0$ sono avvenuti lungobil corso del Brenta nel 2002 (maggio, luglio e settembre) e nel 2006; il 6 dicembre 2009 sono stati registrati nella zona del Monte Grappa due eventi rispettivamente di MD 2,7 e 3,3. All'area del Montello sono invece riferiti gli eventi del 9 ottobre 2008 ($MD=3,3$) e del 23 giugno 2010 ($MD=3,23$).



Mapa della sismicità strumentale del distretto Pedemontana Sud (PS); fonte dati OGS (vedi Tabella 3.1). Visualizzazione su DEM in scala cromatica (sn) e su DEM integrato con modello strutturale tratto da Castellarin *et al.* (1998b) (dx). In blu nella mappa di sinistra è riportata la localizzazione dell'ultimo evento significativo, avvenuto nella zona di Valdobbiadene il 13 settembre 2011 ($M_L=3.7$).

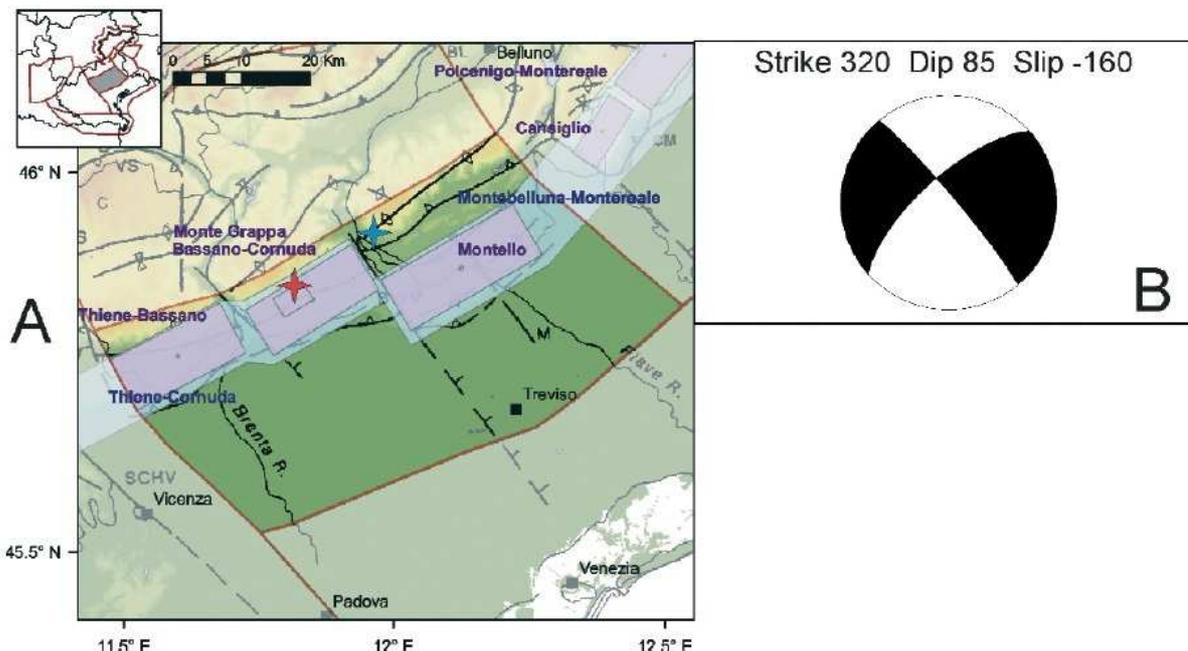
*Instrumental seismicity in the Pedemontana Sud (PS) district: data taken from OGS database (see Table 3.1), reported with their original magnitude values. Epicentres location on DEM (left), integrated by the structural scheme from Castellarin *et al.* (1998b) (right). The Valdobbiadene earthquake, occurred on September 13, 2011 ($M_L=3.7$) is added with a blue circle.*

3.3.1.3 Neotettonica, sorgenti attive

Dal punto di vista della neotettonica è in atto un processo di sollevamento causato da compressione con forte raccorciamento crostale che raggiunge valori massimi nel Friuli centrale. Le strutture neotettoniche più importanti sono rappresentate in primo luogo dai sovrascorrimenti orientati ENE-OSO e subordinatamente da *back-thrust* e faglie subverticali con componenti più o meno rilevanti di trascorrenza orientate NO-SE (Zanferrari *et al.*, 1982). Modelli cinematici del movimento della microplacca Adria, basati su misure geodetiche, stimano una convergenza in quest'area di 2-3 mm/a (Serpelloni *et al.*, 2005; Bechtold *et al.*, 2009). Sulla base di datazioni di terrazzi fluviali, Benedetti *et al.* (2000) attribuiscono un tasso costante di scorrimento di 1,8-2 mm/a alla sola faglia del Montello negli ultimi 300.000 anni; pur in presenza di ulteriori indicatori di movimento nell'area (ad es. Balestri *et al.*, 1988; Mozzi, 2005) tali stime sono dibattute, e hanno motivato la realizzazione di campagne di misure specifiche (Serpelloni e Cavaliere, 2010) i cui risultati non sono ancora disponibili. In questo distretto, DISS, versione 3.1.1 (Fig. 4.15A), identifica due sorgenti composite, denominate Thiene-Cornuda (ITCS007), che si estende dalla città di Schio a Cornuda, e Montebelluna-Montereale (ITCS060), dallo sbocco in pianura del fiume Piave, a quello del torrente Cellina. Entrambe le sorgenti composite rappresentano segmenti di sovrascorrimenti vergenti a S-SE, implicati nella sismogenesi degli eventi maggiori fino a profondità modeste (7-9 km) e frammentati da elementi trasversali. Alla prima sorgente composita appartengono le sorgenti individuali di Thiene-Bassano (ITIS127), che risulta quiescente in epoca storica, e la struttura Bassano-Cornuda (ITIS102), cui viene associato il terremoto di Asolo del 25 febbraio 1695, nonché la sorgente individuale di Monte Grappa (ITIS113). Quest'ultima viene interpretata come il *back-thrust* della più grande sorgente di Bassano-Cornuda, e ad essa è



associato il terremoto di Bassano del 1836, $MW=5,48$. *Strike-slip* appare invece il meccanismo dell'evento di $MD=3,3$ avvenuto il 6 dicembre 2009 nella medesima area. Procedendo verso est, della sorgente composita Montebelluna-Montereale fa parte la sorgente sismogenica individuale del Montello (ITIS101), collegata al sovrascorrimento Montello-Conegliano. Anche in questo caso, non vi sono indizi di forti terremoti storici associati. Sebbene le evidenze geomorfologiche e geologiche confermino l'attività recente dei fronti di deformazione del *thrust* Montello-Conegliano, non vi sono chiare informazioni che permettano di definire quanto la deformazione venga rilasciata attraverso eventi sismici, e quanto questo fenomeno avvenga in modo asismico (Galadini *et al.*, 2005). Sequenze di eventi di modesta magnitudo si sono verificate nell'area di Valdobbiadene anche recentemente fuori dalle porzioni mappate attive. Gli assi di massima compressione ricavabili dalle strutture geologiche del margine pedemontano risultano compatibili con una compressione orientata NO-SE (Burrato *et al.*, 2008). Dato il limitato numero di eventi strumentali dotati di meccanismi focali di buona qualità, non è stato finora possibile ottenere una zonizzazione degli assi di sforzo, da inversione delle sorgenti sismologiche, come realizzato invece per i vicini settori del Friuli e Garda (Bressan *et al.*, 2003; Viganò *et al.*, 2008; Bressan e Bragato, 2009).



Sorgenti sismogeniche per il distretto Pedemontana Sud (PS). A) DISS versione 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) su DEM e modello strutturale da Castellarin *et al.* (1998b); codici sorgente e legenda in Fig. 2.4; B) soluzione del meccanismo focale per l'evento del 6.12.2009 (stella rossa) da polarità del primo impulso, elaborata per questo studio. La stella azzurra indica l'epicentro dell'evento del 13 settembre 2011 il cui meccanismo è mal vincolato. *Seismogenic sources in the Pedemontana Sud (PS) district: A) DISS database, release 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) on DEM and structural model taken from Castellarin et al. (1998b); source codes and legend given in Fig. 2.4; B) the focal mechanism solution of the main event occurred during modern instrumental period (Cavaso del Tomba earthquake of December 6, 2009, $M_D=3.3$, located with a red star on the map) is given by first motion polarity, computed for this study. The blue star shows the location of the Valdobbiadene earthquake (September 13, 2011), still under study.*



3.4 Inquadramento idrogeologico

Il comune di Silea si trova nella zona di transizione tra il limite inferiore della linea delle risorgive e la bassa pianura veneta. Nel sottosuolo del comune è presente un acquifero costituito da una serie di falde presenti ove i materiali possiedono caratteristiche di permeabilità apprezzabili (sabbie e ghiaie). Tra di esse vi sono dei livelli argillosi e limosi, da quasi impermeabili ad impermeabili che separano i vari corpi idrici confinati. Come già osservato, molto veriegata risulta essere l'alternanza tra sabbie, ghiaie, limi e argille.

Le falde superficiali

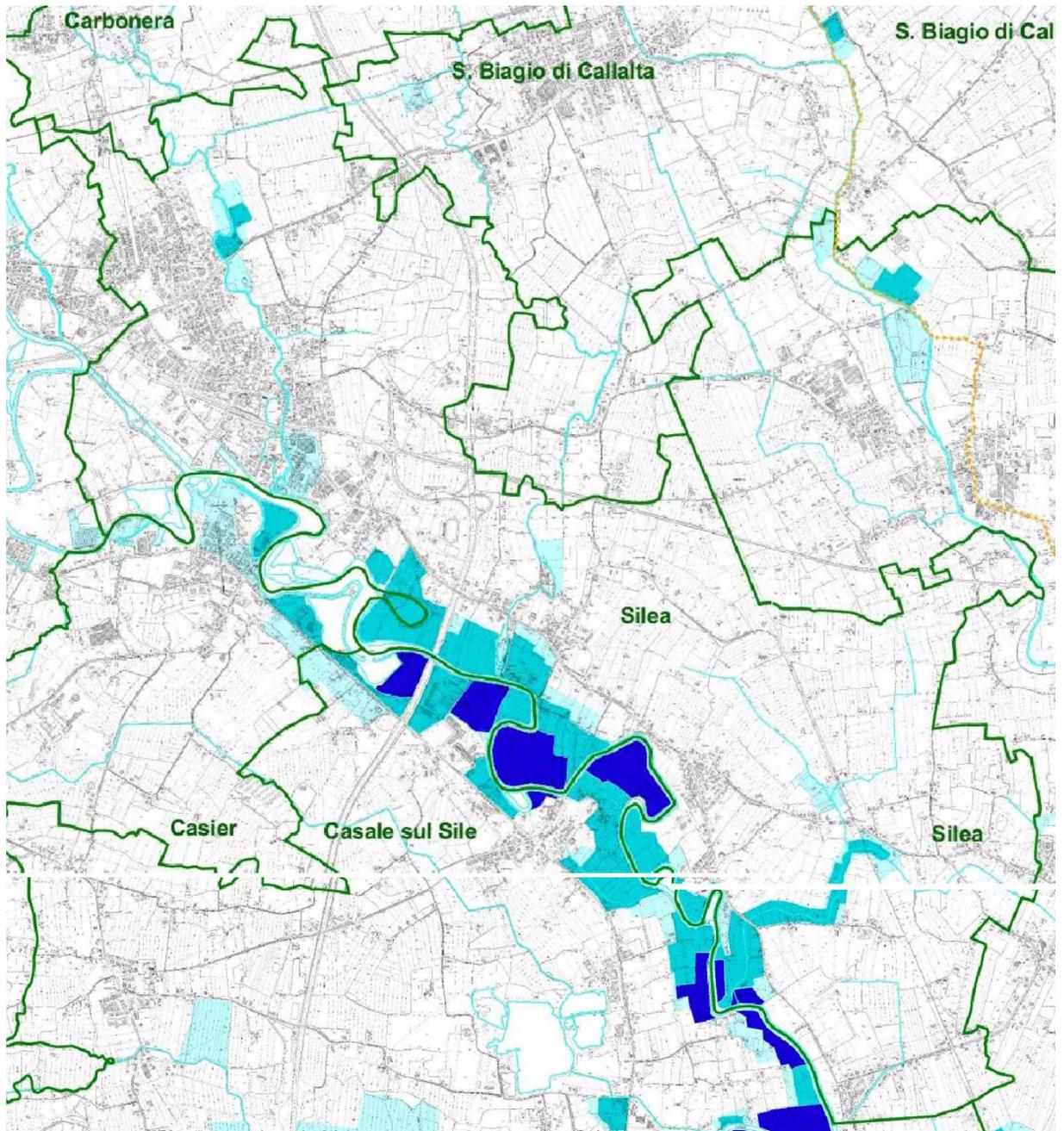
Nei primi metri del sottosuolo, all'interno delle lenti sabbiose, esistono dei corpi idrici parzialmente comunicanti. Questo complesso di falde superficiali appaiono in alcuni casi a pelo libero (principalmente nel settore settentrionale), mentre in buona parte del territorio meridionale del comune tali falde risultano confinate o semiconfinate con modesti livelli di risalienza. Per studiare le loro caratteristiche ed in particolare la superficie limite che anche se impropriamente sarà chiamata superficie freatica, sono stati individuati alcuni sondaggi geognostici caratterizzati dalla presenza del livello freaticometrico. Purtroppo la modesta entità dei punti di indagine non permette di produrre delle isofreatiche derivanti da interpolazione attendibili, per tale ragione si è deciso di riportare in cartografia le isofreatiche ricavate dal quadro conoscitivo del PTCP risultate in buon'accordo coerenti con le misurazioni da noi condotte. La profondità della falda rispetto al piano campagna risulta non di rado inferiore al metro con andamento sostanzialmente concorde a quello topografico. Dall'analisi della carta idrogeologica si osserva che la superficie freatica della prima falda ha deflusso con andamento da nord-ovest verso sud-est, paragonabile a quello morfologico.

Considerando l'andamento freaticometrico e le caratteristiche granulometriche superficiali, non sussistono nel suolo comunale importanti fenomeni di emersione della falda derivante da cause morfologico strutturali, tuttavia data la prossimità della prima falda al piano campagna, è possibile che in condizioni di intensa precipitazione meteorica la falda venga a giorno in particolare nelle Aree intercluse e a drenaggio difficoltoso.

3.4.1 Aree PAI del Sile e della Pianura tra Piave e Livenza

Il territorio comunale rientra nel Distretto idrografico delle Alpi Orientali. Nel territorio del Distretto delle Alpi Orientali il PAI è stato sviluppato nel tempo sulla base dei bacini idrografici definiti dalla normativa ex L.183/89, oggi integralmente recepita e sostituita dal Dlgs 152/2006 e s.m.i.; pertanto ad oggi il PAI è articolato in più strumenti che sono distinti e vigenti per i diversi bacini che costituiscono il territorio del Distretto. La legge 3 agosto 1998, n. 267 e successive modifiche ed integrazioni prevede che "le autorità di bacino di rilievo nazionale e interregionale e le regioni per i restanti bacini adottano, ove non si sia già provveduto, piani stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico che contengano in particolare l'individuazione delle aree a rischio idrogeologico e la perimetrazione delle aree da sottoporre a misure di salvaguardia nonché le misure medesime". Con D.C.R. n. 48 del 27/06/2007, il Consiglio Regionale del Veneto approva il Piano di Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Sile e della pianura tra Piave e Livenza.

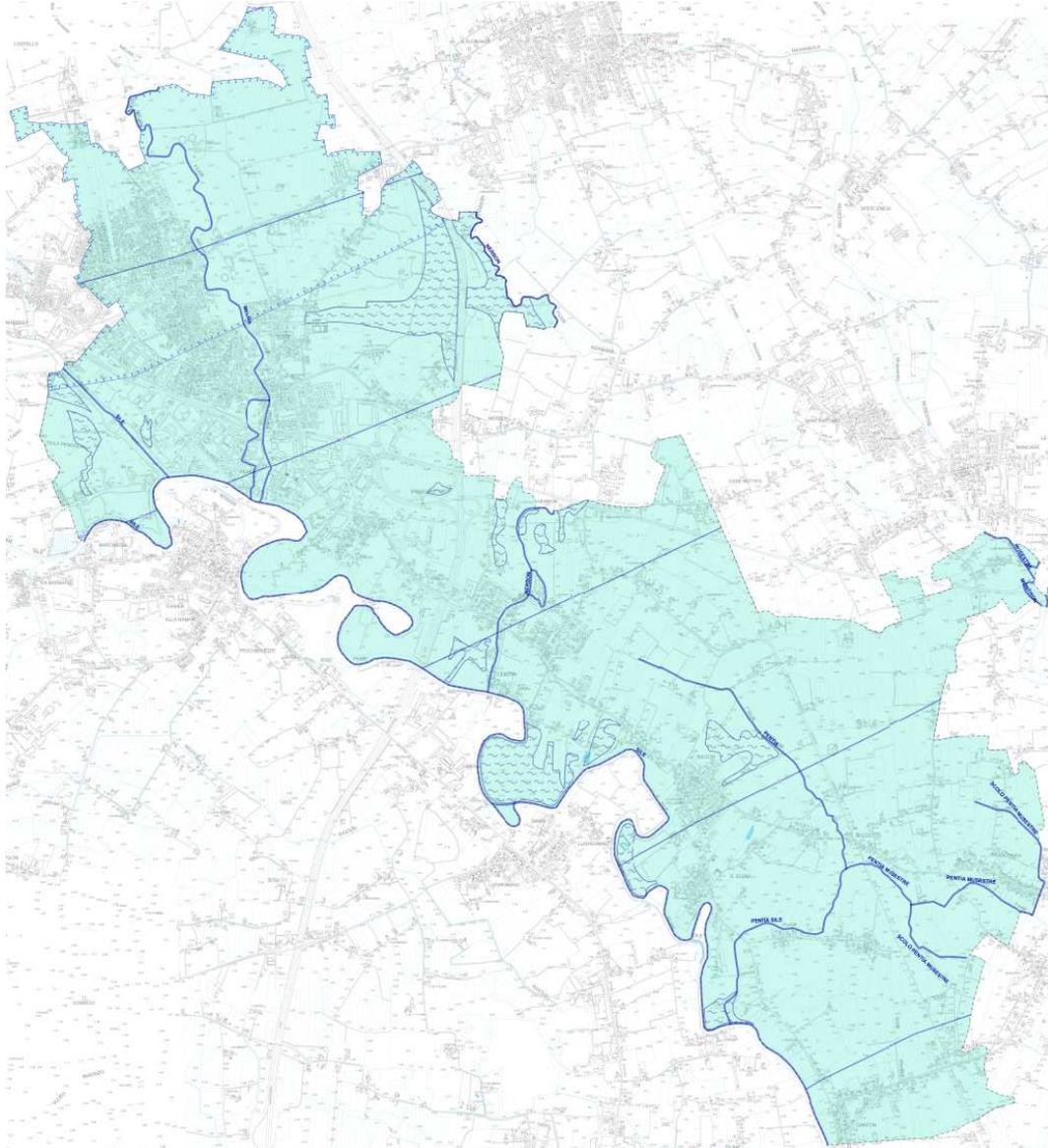
Il comune di Silea rientra all'interno di quest'ultimo. All'interno del territorio comunale sono presenti aree a pericolosità idraulica moderata, media ed elevata.



Stralcio con le aree a Pericolosità Idraulica del fiume Silea nel comune di Silea

Pericolosità idraulica

	Pericolosità elevata - $Tr = 50$ anni - $h > 1.00$ m
	Pericolosità media - $Tr = 50$ anni - $0 < h < 1.00$ m
	Pericolosità moderata - $Tr = 100$ anni - $h > 0$ m



Carta Idrogeologica redatta per il PAT comunale

Legenda

I-SOT-01a		Area con profondità della falda freatica compresa tra 0 e 2 m dal p.c.
I-SOT-03		Linea isofreatica e sua quota assoluta (PTCP)
I-SUP-18		Area interessata da risorgive
I-SUP-06		Risorgiva
I-SUP-15		Aree intercluse a drenaggio difficoltoso (presenza di depressioni topografiche, falda superficiale o elevato contenuto di termini limosi e argillosi nel substrato)
I-SUP-02		Idrografia principale

Legenda Carta Idrogeologica redatta per il PAT comunale



4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1 Parametri geotecnici statici e dinamici ricavati da dati pregressi

Non sono state rinvenute indagini geotecniche per il territorio comunale.

4.2 Nuove indagini

Per poter approfondire il livello di conoscenza del sottosuolo del comune di Silea è stata eseguita nel mese di Settembre 2019 una campagna di indagine sismica durante i quali sono state effettuate 18 indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSr) e 7 indagini di sismica attiva in array (MASW).

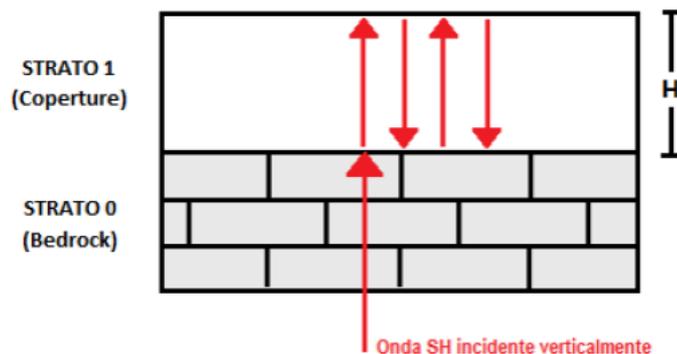
4.2.1 Indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSr)

In un sistema costituito da uno strato tenero (copertura) adagiato da un substrato rigido (bedrock) un'onda di volume SH incidente verticalmente dal basso tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, nuovamente al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti $\lambda = n \cdot 4H$. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza di detta onda sono descritte dalla legge:

$$f = n \frac{V_s}{4H}$$

$$n = 1, 3, 5, \dots$$

dove n indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.), V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato che risuona e H è lo spessore di detto strato (strato 1 in figura seguente). Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione, il solo modo visibile è il fondamentale.

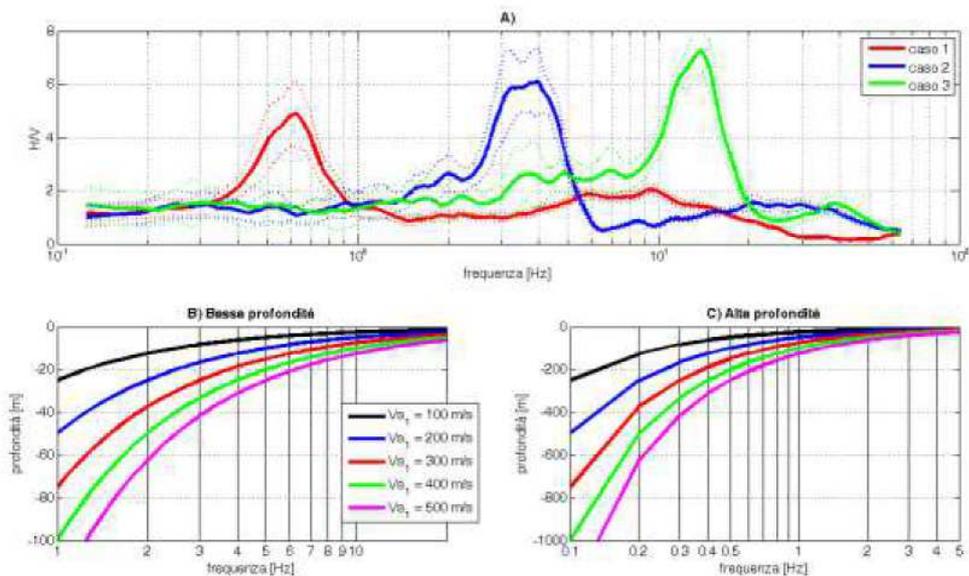


Intrappolamento e successive riflessioni di un'onda sismica SH incidente verticalmente dal basso in uno strato di coperture di spessore H sovrastanti un substrato rigido

La prova sismica a stazione singola viene di solito utilizzata per stimare queste frequenze di risonanza, ossia le frequenze alle quali viene amplificato il moto del terreno. La prova viene chiamata H/V (rapporto tra la componente spettrale orizzontale H e quella verticale V) fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). Essa si fonda su un segnale composto per la maggior parte da onde di superficie



(Rayleigh e Love) e sfrutta la proprietà per cui la componente spettrale verticale (Rayleigh) si 'annulla' in corrispondenza delle frequenze di risonanza dell'onda SH. Questo è il motivo per cui si osserva un massimo nella curva H/V in corrispondenza di queste frequenze. La tecnica H/V non ha bisogno però di un evento sismico per poter essere effettuata, in quanto il terreno è normalmente investito da un tremore ambientale continuo. Si può inoltre notare dall'equazione riportata sopra, che la tecnica H/V può fornire dati stratigrafici, in quanto conoscendo la V_s delle coperture, attraverso la f misurata si può risalire alla profondità dei riflettori sismici principali, oppure, noto lo spessore degli strati, se ne può stimare la V_s .



A) Esempio di bedrock sismico a diverse profondità che genera risonanze a diverse frequenze. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità, caso 2: bedrock a 20 m di profondità, caso 3: bedrock a 4 m di profondità; B) relazione V - f 0 - H alle medio-alte frequenze; C) relazione V - f 0 - H alle medio-basse frequenze.

La relazione tra frequenza di risonanza e spessore della copertura che risuona, per diversi tipi di sottosuolo, ossia per diverse V_s delle coperture, è data in Figura 53 (B e C). In A sono presentati invece tre esempi di curve H/V misurate rispettivamente su coperture con spessori dell'ordine di diverse centinaia di metri (caso 1, $f_0 = 0.6$ Hz), di qualche decina di metri (caso 2, $f_0 = 3.5$ Hz) e di pochi metri (caso 3, $f_0 = 14$ Hz).

Misure H/V effettuate su roccia sana che non amplifica daranno invece curve piatte con ampiezza circa 1 in tutto il dominio di interesse ingegneristico.

Poiché la tecnica H/V indica la frequenza di risonanza verticale locale, essa è sensibile alle variazioni stratigrafiche laterali, permettendo di discriminare geometrie 1D da geometrie 2D, entro i limiti di visibilità imposti dalla legge fisica $f = V$ (lunghezza d'onda x frequenza = velocità).

4.2.1.1 Strumentazione

Le misure di microtremore a stazione singola a scopo di microzonazione sismica si effettuano per mezzo di sismometri o tromometri (del tipo *ECHO TROMO HVSR3* nel presente studio) tricomponenti sufficientemente sensibili nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (0.1-20 Hz, corrispondenti alle frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle strutture). Per definirsi sufficientemente sensibile, lo strumento deve essere in grado di rilevare segnale anche nei punti più silenziosi della superficie terrestre. Di fatto non esistono modelli statisticamente affidabili che descrivono il minimo del rumore di fondo su roccia in



questa banda di frequenze poiché si tratta un intervallo di modesto interesse sismologico, che tradizionalmente si concentra su frequenze inferiori.

4.2.1.2 *Acquisizione*

La misura di microtremore a stazione singola deve avere una durata commisurata alla frequenza di indagine di interesse. Nella già citata ipotesi che una misura di interesse ingegneristico ricada nell'intervallo 0.1-20 Hz, segue che un campionamento adeguato deve durare 12-15 min, in modo da poter analizzare il segnale su finestre di almeno 30 s di lunghezza e da avere almeno 20-30 finestre su cui effettuare una media, considerando anche che qualcuna potrà dover essere rimossa per la presenza di disturbi che alterano lo spettro medio.

La frequenza di campionamento adeguata per questo tipo di prove non deve essere inferiore a 50 Hz, in modo da permettere una ricostruzione spettrale sino ad almeno 20 Hz. Lo strumento di misura va posto a diretto contatto col terreno e reso solidale con questo senza interfacce intermedie. La misura sismica passiva va effettuata direttamente su terreno naturale e quando questo non fosse possibile è necessario tener conto degli effetti indotti dai terreni artificiali rigidi in questo tipo di misure. L'orientamento strumentale secondo il Nord geografico, sebbene si tratti di una convenzione, è stato mantenuto in tutte le prove eseguite in questa campagna di acquisizione.

4.2.1.3 *Analisi dei dati*

Nel presente studio di Microzonazione Sismica è stato utilizzato il software Grilla (2015) Rel. 7.0 per l'elaborazione e l'analisi dei dati acquisiti attraverso il tromometro.

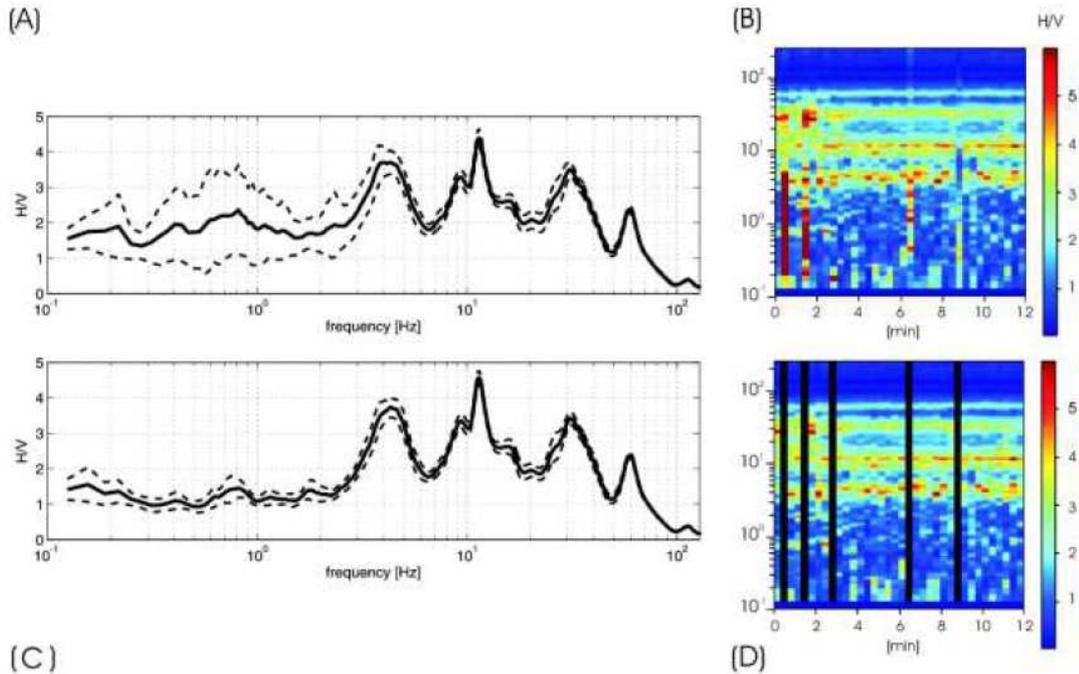
Le serie temporali registrate nelle tre componenti del moto vengono analizzate secondo procedure spettrali di vario tipo (FFT, wavelet, ecc.) fino alla produzione delle curve H/V, dove H è la media di due componenti spettrali orizzontali ortogonali. Si rimanda a SESAME (Site EffectS Assessment using Ambient Excitations, 2005) per uno dei possibili esempi di protocollo di analisi. Prima di qualsiasi interpretazione delle curve H/V sono indispensabili due accorgimenti:

1. la curva H/V deve essere statisticamente significativa, ossia essere caratterizzata da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato. Esistono diversi metodi per "pulire" una curva H/V. SESAME (2005) propone la rimozione nella serie temporale di quelle finestre caratterizzate da una deviazione del segnale (STA, media a breve termine) maggiore della media a lungo termine (LTA). Tuttavia le procedure che propongono la rimozione dei disturbi sulla base della serie temporale non appaiono le più indicate quando l'obiettivo è pulire una curva che è funzione della frequenza. La pulizia deve infatti essere rivolta alla ricerca di un rapporto H/V stabile e quindi alla rimozione delle sole finestre in cui questo rapporto risulti alterato, a parità di frequenza, tra i canali H e i canali V. Questo tipicamente avviene in presenza di segnali di natura impulsiva, che presentano cioè spettri bianchi. Un esempio di pulizia del segnale nel dominio delle frequenze è dato nella figura seguente;
2. le curve H/V non vanno mai osservate da sole ma sempre congiuntamente agli spettri delle singole componenti da cui derivano. Questo permette di discernere agevolmente i picchi di natura stratigrafica da quelli di natura antropica. In condizioni normali le componenti spettrali NS, EW e Z (verticale) hanno ampiezze simili. Alla frequenza di risonanza si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente

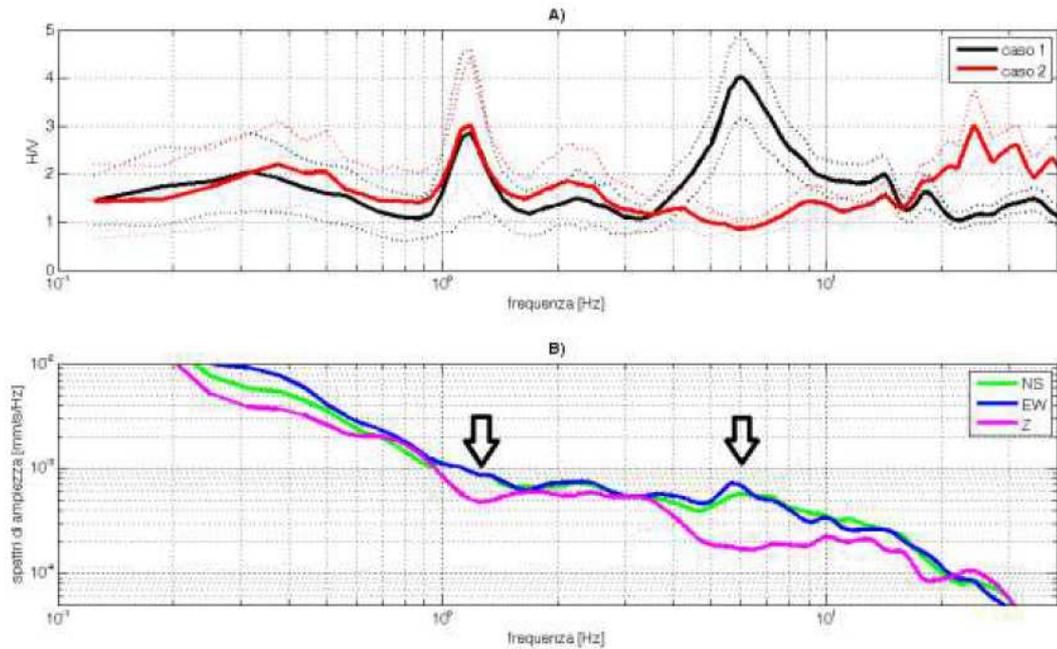


spettrale verticale che determina una forma "a occhio" o "a ogiva". Questa forma è indicativa di picchi H/V di origine stratigrafiche.

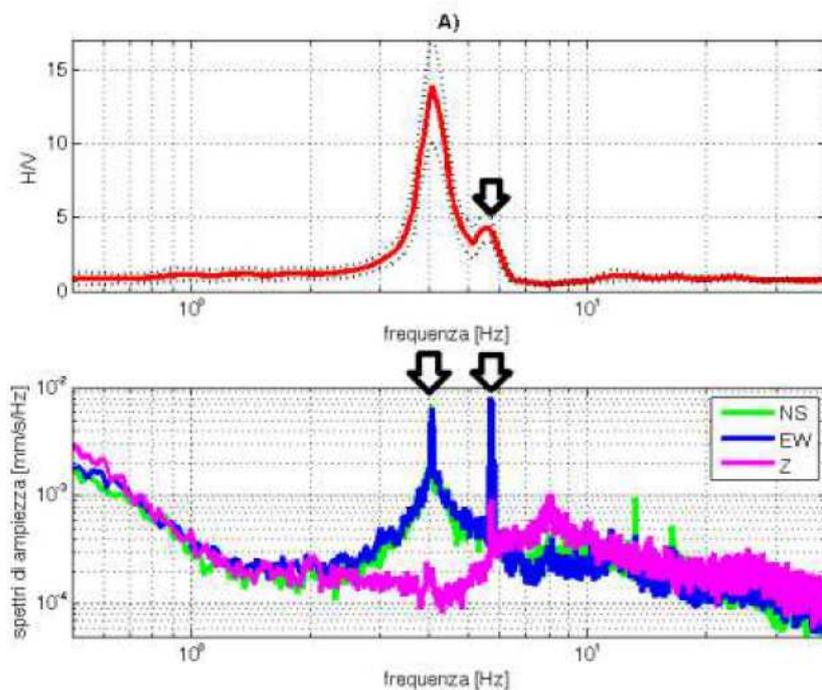
E' evidente però che in una misura di tremore entrano anche vibrazioni monofrequenziali (artefatti) indotte da macchinari o simili. Queste si traducono in picchi stretti (delta) ben definiti su tutte e tre le componenti spettrali e quando l'ampiezza sulle tre componenti non è simile, danno luogo a picchi o gole artefattuali nelle curve H/V. La differenza nei pattern spettrali tra il caso naturale e quello artefattuale rende agevole la distinzione dei picchi H/V stratigrafici da quelli antropici, in modo particolare lavorando su spettri poco lisciati.



Pulizia della curva H/V nel dominio delle frequenze. (A) curva H/V media e deviazione standard non pulita; (B) serie temporale degli H/V per ciascuna finestra di analisi della durata di 20 s (ordinata: frequenze, ascissa: tempi, colore: H/V); (C) curva H/V e deviazione standard dopo la rimozione dei disturbi; (D) serie temporale degli H/V per ciascuna finestra di analisi della durata di 20 s (ordinata: frequenze, ascissa: tempi, colore: H/V). Le bande nere verticali indicano le finestre rimosse perché caratterizzate da disturbi che alterano l'H/V medio



A) Esempi di curve H/V registrate a 40 m di distanza. Nella curva 1 emerge un picco a 6 Hz legato alla presenza di un livello di ghiaie a 12 m di profondità che è assente nella curva relativa al sito 2. Nel dominio delle medio-basse frequenze le curve sono statisticamente uguali. B) Spettri delle singole componenti del moto (NS, EW e Z) registrati nel sito 1. Le frecce evidenziano le forme "a ogiva" caratterizzate da un minimo locale della componente verticale che caratterizzano i picchi H/V di natura stratigrafica



Esempio di picco H/V stratigrafico (4 Hz) cui sono sovrapposti due artefatti (a 4 e 6 Hz) di origine antropica. La curva H/V è lisciata al 10% della frequenza centrale, gli spettri delle singole componenti non sono lisciati

Nel 2005 il progetto SESAME stabilì una serie di criteri per la valutazione della significatività statistica dei picchi H/V.



La prima parte di questi criteri, individuata la frequenza del picco H/V, verifica se la registrazione è stata effettuata per un periodo statisticamente significativo e se l'analisi è stata condotta secondo i principi base della statistica.

La seconda parte di questi analizza la geometria del picco e dice semplicemente se il picco ha una forma ben definita. Questa parte dei test SESAME va interpretata con cognizione di causa perché solo un contatto netto tra litotipi diversi dal punto di vista meccanico genera picchi netti. Al contrario, le transizioni graduali (per es. roccia fratturata su roccia sana, passaggi da limo-argilloso a sabbia-limosa, alternanze di lave con vario grado di alterazione ecc.) generano più spesso amplificazione in una banda larga di frequenze. In questo caso eventuali non superamenti dei criteri SESAME non significano che non ci siano risonanze importanti ma solo che non ci sono picchi singoli ben definiti. La seconda parte dei criteri SESAME (2005) risulta chiaramente non soddisfatta nei siti che non presentano amplificazione.

I criteri SESAME (2005) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2.

4.2.2 Metodo MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica geofisica di indagine non invasiva del sottosuolo basata sulla dispersione geometrica delle onde superficiali, in particolare delle onde Rayleigh. La dispersione delle onde Rayleigh è un fenomeno per cui differenti lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità (velocità di fase), campionando diversi strati in profondità; in un terreno eterogeneo verticalmente quindi, la velocità di propagazione delle onde Rayleigh risulta essere strettamente dipendente dalla frequenza. Le onde con frequenze elevate (basse lunghezze d'onda) si propagano nelle porzioni meno profonde, vicino al piano campagna, e danno informazioni relative alle proprietà meccaniche di quelle zone, mentre le componenti di bassa frequenza coinvolgono gli strati più profondi.

L'acquisizione dei dati inerenti alla dispersione delle onde superficiali viene effettuata per mezzo di diversi ricevitori (accelerometri o geofoni) posizionati in maniera adeguata sul piano campagna; una volta registrati i dati relativi alla propagazione delle onde nel sottosuolo, questi vengono analizzati ed elaborati attraverso complesse tecniche computazionali che permettono di ottenere l'informazione desiderata; le applicazioni principali del metodo MASW sono la ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio, la classificazione dei terreni di fondazione e la determinazione della profondità del substrato.

La procedura standard per la realizzazione di un'indagine basata sulla dispersione delle onde superficiali consiste in tre fasi; la prima è l'acquisizione dei dati di campagna, la seconda è l'elaborazione del segnale registrato per ricavare la curva di dispersione sperimentale ed infine la terza fase riguarda il processo d'inversione mirato a stimare le proprietà del sito investigato.

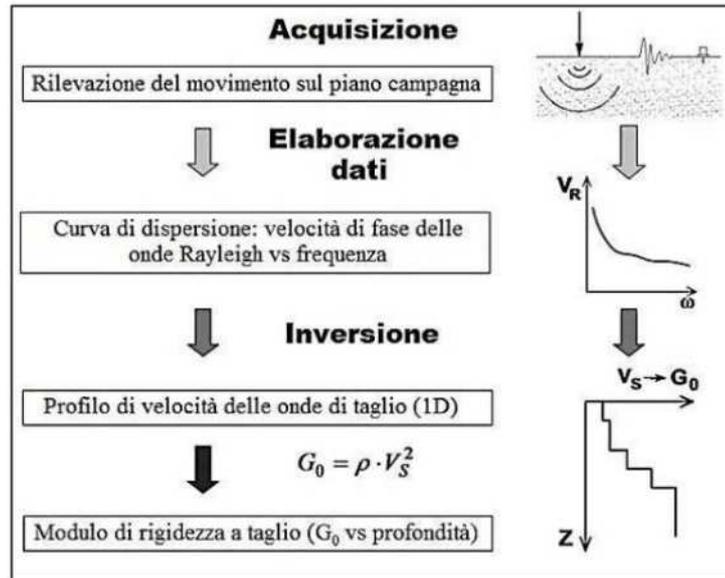


Diagramma di flusso relativo alle indagini basate sulla dispersione delle onde superficiali (da Foti, 2005).

La scelta dell'attrezzatura e della configurazione dei ricevitori, è strettamente connessa all'obiettivo dell'indagine che si vuole eseguire e alla tecnica che si utilizzerà per eseguire l'interpretazione dei dati elaborati; esistono infatti alcune indicazioni pratiche che risultano essere utili nella scelta dei parametri di acquisizione sia nel tempo che nello spazio: tra le principali si consiglia che la lunghezza dello stendimento debba essere almeno il doppio della profondità di investigazione desiderata, l'utilizzo di geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz per indagini geotecniche) spaziosi di una distanza compresa tra 1 e 5 metri e che la durata della registrazione sia sufficiente per acquisire l'intero treno d'onde.

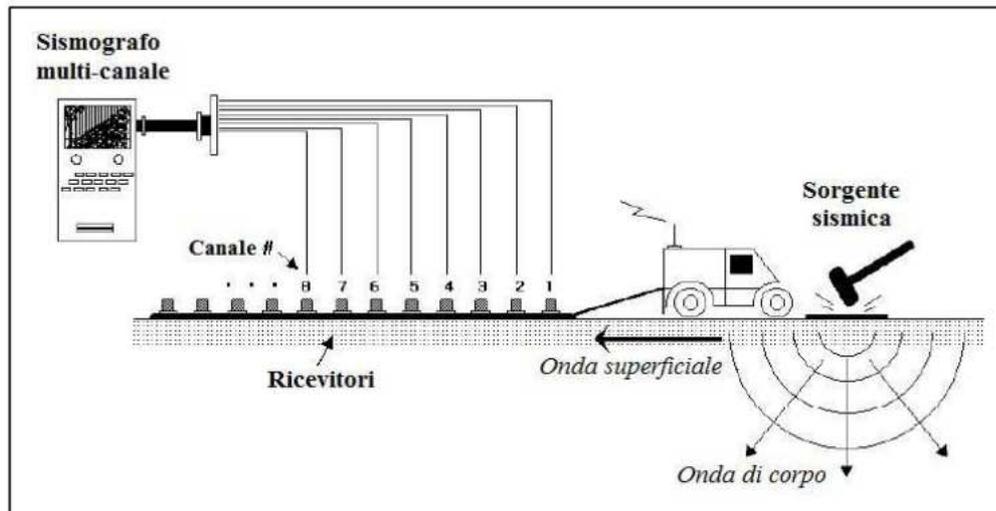
È importante ricordare che le onde Rayleigh viaggiano in una zona spessa circa una lunghezza d'onda dal piano campagna e sono informative delle caratteristiche di questa porzione di terreno; inoltre la relazione tra frequenza, lunghezza d'onda e velocità di fase comporta che l'intervallo di frequenza di interesse sia strettamente connesso ai materiali che devono essere investigati (es. in terreni soffici, una penetrazione profonda richiede componenti di bassa frequenza).

Generalmente i segnali vengono acquisiti nel dominio spazio-tempo in modo tale da poter essere reinterpretati con differenti tecniche d'elaborazione; l'informazione relativa alla propagazione delle onde superficiali è contenuta nei segnali e, come detto precedentemente, può essere estratta attraverso differenti tecniche computazionali.

4.2.2.1 Strumentazione

Nell'esecuzione di un'indagine sismica basata sulla dispersione delle onde superficiali, sono indispensabili i seguenti strumenti:

- ricevitori singoli o multipli;
- un dispositivo di acquisizione dei segnali sismici (sismografo);
- una sorgente di onde sismiche (nel caso di metodi attivi).



Configurazione schematica della strumentazione utilizzata per eseguire un'indagine MASW (da Park et al., 2001).

Il metodo MASW utilizza un numero multiplo di ricevitori disposti generalmente in maniera lineare e spazati di una stessa distanza; ciascun ricevitore è collegato inoltre ad un unico dispositivo di registrazione. Il tipo di ricevitori e la loro interdistanza sono scelti solitamente in relazione con la profondità d'investigazione che si vuole raggiungere; ad esempio se si vogliono avere informazioni su strati profondi, è necessario utilizzare geofoni a bassa frequenza. Nella pratica comune si usano geofoni a 4,5 Hz che possono essere maneggiati con più facilità e che sono meno costosi rispetto ai geofoni a minor frequenza.

Il dispositivo di acquisizione può essere di diversi tipi; la sua funzione principale è digitalizzare e registrare i segnali elettrici analogici generati dai ricevitori.

Nei metodi attivi l'onda viene generata da una sorgente di onde sismiche; diversi tipi di sorgenti sismiche possono essere utilizzate a seconda del range di frequenza di interesse per l'applicazione: ad esempio facendo uso di semplici mazze si ottengono segnali ad alta frequenza (7-200 Hz) mentre aumentando la massa che genera le onde si possono avere segnali a bassa frequenza (2-40 Hz). Le sorgenti pesanti sono quindi necessarie per investigare gli strati più profondi mentre quelle più leggere sono utili per caratterizzare le porzioni più superficiali del sottosuolo.

Lo stendimento dei ricevitori utilizzato nel metodo MASW è composto da geofoni multipli collocati lungo una linea rettilinea e la sorgente è posta ad uno dei due capi dell'array.

Un'operazione molto importante da eseguire è la scelta dei parametri di campionamento sia nel tempo che nello spazio; i parametri di campionamento nel tempo vengono impostati direttamente sul dispositivo di acquisizione, mentre quelli nello spazio sono determinati dalla geometria dello stendimento e sono soggetti ad alcune restrizioni dovute ad esempio al numero di ricevitori disponibili e all'estensione del sito. Nella pratica comune si utilizza un'interdistanza costante tra i geofoni, questo perché i processi successivi di elaborazione dei dati risultano essere più semplici. È importante ricordare che una spaziatura elevata tra i ricevitori permette di rilevare ampie lunghezze d'onda e di caratterizzare quindi gli strati più profondi; allo stesso tempo però, l'attenuazione delle componenti ad alta frequenza, provoca la perdita delle informazioni contenute in queste frequenze e la conseguente diminuzione della risoluzione nella parti superficiali del terreno. Per quanto riguarda invece la scelta dei parametri di acquisizione nel tempo, essa è in relazione con il range di frequenza di interesse dell'operatore (es. 5-100 Hz per applicazioni ingegneristiche); un passo di campionamento di

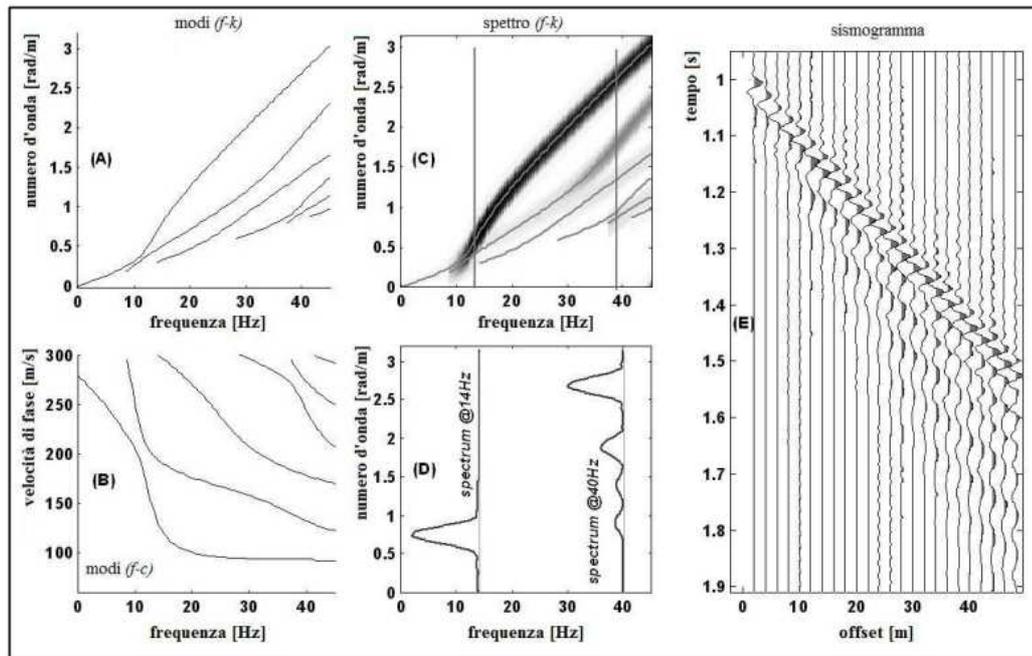


2 ms (corrispondente ad una frequenza di Nyquist di 250 Hz) è solitamente sufficiente per le analisi basate sulla dispersione delle onde superficiali poiché la risoluzione nel dominio del tempo non è molto rilevante. La lunghezza totale del segnale nel tempo è in relazione all'intervallo di frequenza del segnale trasformato nel dominio della frequenza, quindi è importante avere una finestra di acquisizione di almeno 1 s (frequenza di risoluzione di 1 Hz); in ogni caso è necessario che l'intero evento venga registrato.

4.2.2.2 *Elaborazione dati*

La fase successiva all'acquisizione dei dati di campagna riguarda tutti processi relativi alla loro elaborazione. I dati vengono dunque trattati attraverso diverse procedure che permettono di stimare la cosiddetta curva di dispersione sperimentale, ovvero la relazione tra la velocità di fase e la frequenza. Tali procedure ricorrono ad una varietà di strumenti per l'analisi del segnale basati principalmente sulla trasformata di Fourier. Facendo uso dell'analisi di Fourier infatti, è possibile separare le differenti componenti della frequenza di un segnale, le quali vengono successivamente utilizzate per stimare la velocità di fase attraverso diversi approcci in relazione alle caratteristiche dell'indagine svolta e al numero di ricevitori.

I metodi di elaborazione dei dati basati sulla trasformata di Fourier sono i più utilizzati e consistono nella trasformazione dei dati sperimentali dal dominio spazio-tempo a domini differenti, nei quali la curva di dispersione viene agevolmente ricavata dai massimi spettrali. Ad esempio applicando una doppia trasformata di Fourier ai dati di campo, la curva di dispersione può essere identificata come i massimi nel grafico frequenza-velocità di fase (f-c). L'equazione che sta alla base del metodo MASW è l'equazione del movimento relativa ad un mezzo lateralmente omogeneo, assumendo un campo di deformazione piano e imponendo le condizioni al contorno relative alle onde in un semispazio con una superficie libera; dopo aver imposto la condizione di continuità dello sforzo e della deformazione alle interfacce degli strati, il risultato che si ottiene è un problema lineare differenziale di autovalori. Tale problema presenta una soluzione non nulla solamente per determinati valori del numero d'onda; questa soluzione, relativa ad un sistema stratificato, si trova stabilendo una relazione particolare tra la frequenza e il numero d'onda: l'equazione che ne risulta è conosciuta come la funzione secolare di Rayleigh. Per una determinata frequenza, può esistere una soluzione solamente per specifici valori del numero d'onda: nei sistemi verticalmente eterogenei questo fatto si traduce in una funzione polidroma della frequenza che rappresenta le curve modali. Sebbene ad una singola frequenza, gli autovalori implicano una serie di soluzioni discrete possibili, ciascuna con un massimo di energia concentrato in corrispondenza di uno specifico numero d'onda, la dispersione produce comunque dei lobi nel grafico f-k. Una volta stimati i numeri d'onda per ciascuna frequenza, questi valori vengono utilizzati per costruire la curva di dispersione sapendo che la velocità di fase è pari al rapporto tra la frequenza e il numero d'onda.



Schema della procedura comunemente adottata per ricostruire una curva di dispersione. I grafici (A) e (B) rappresentano le curve modali rispettivamente in $f-k$ e in $f-c$ mentre il grafico (C) mostra lo spettro $f-k$ nel quale il primo modo di propagazione è dominante. Il riquadro (D) evidenzia i lobi prodotti dalla dispersione nel dominio $f-k$ mentre il grafico (E) è il sismogramma di partenza (da Strobbia et al., 2004).

Nella pratica comune, per procedere con l'elaborazione dei dati, si assume che la maggior parte dell'energia sia associata al modo fondamentale di propagazione delle onde di Rayleigh.

Nel presente studio di Microzonazione Sismica l'acquisizione dei dati di campagna per quanto riguarda le indagini MASW è stata eseguita tramite un array lineare totalmente digitale (modello ECHO 24/2002 Seismic Unit), costituito da 12 geofoni da 4,5 Hz. Ogni geofono è collegato, tramite un cavo sismico a 12 take-outs ciascuno spaziato a 5 metri con connettore "cannon" NK27, al sismografo, presso il quale la curva di dispersione frequenza-velocità di fase ($f-c$) viene ricostruita mediante il software "Easy MASW"; la sorgente sismica utilizzata è una mazza di 6 kg (sorgente impulsiva) posta ad una distanza di 2 metri dal primo ricevitore mentre i parametri di campionamento del segnale sono un tempo di campionamento di 0.000131 s e una finestra di acquisizione di 1 secondo. Dopo aver ricostruito la curva di dispersione sperimentale si è proceduto all'individuazione dei massimi della velocità di fase ad intervalli di frequenza regolari (picking); in queste indagini si è deciso di eseguire l'operazione di picking solamente per le frequenze superiori ai 5-6 Hz per il semplice motivo che una mazzata non riesce a generare frequenze al di sotto dei 5-6 Hz. Eliminando i dati relativi alle frequenze inferiori a 5 Hz, si diminuisce il margine di errore del modello finale aumentandone l'affidabilità. I valori individuati durante la fase di picking, sono delle coppie frequenza-velocità di fase che verranno utilizzate nel processo d'inversione finale.

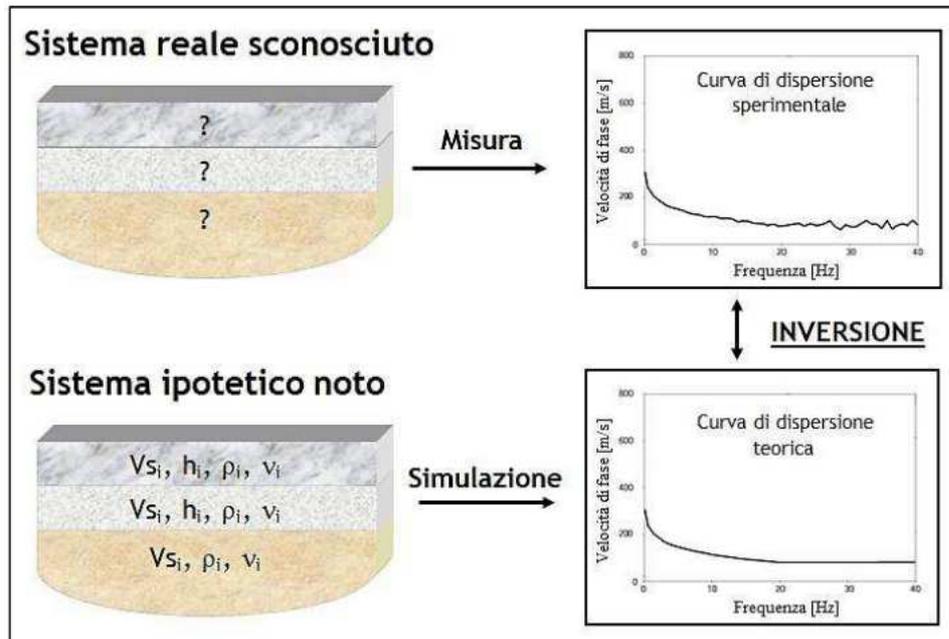
4.2.2.3 Inversione

Il processo d'inversione dei dati sperimentali è l'ultimo dei passaggi da svolgere e fornisce il profilo della velocità delle onde di taglio derivante dalle caratteristiche di dispersione osservate dai dati sperimentali.

Il processo d'inversione per il trattamento dei dati MASW condotto in questo studio è stato realizzato mediante l'utilizzo del programma "Easy MASW".



Durante l'inversione il primo passaggio è correlare i parametri che derivano dalle analisi con ECHO TROMO HVSR3 e quindi fittare i dati M.A.S.W. con le curve H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Successivamente il programma risolve il sistema di equazioni di tutti gli strati inseriti nel modello ipotetico e restituisce per ciascuno strato, la velocità delle onde di taglio calcolata, in modo tale da ricostruire il profilo della velocità delle onde di taglio del sito investigato.



Schema riassuntivo del metodo MASW eseguito nel presente lavoro.

Le indagini MASW eseguite nel presente lavoro hanno permesso di caratterizzare con un buon grado di dettaglio i primi 10 metri di sottosuolo dal punto di vista sismico, fornendo inoltre informazioni utili nell'elaborazione e nell'interpretazione di alcune misure HVSR effettuate in siti che richiedevano ulteriori approfondimenti geologici.



5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Grazie ai dati raccolti attraverso i sopralluoghi e alle indagini effettuate ex novo si è potuto ricostruire un primo modello geologico del sottosuolo.

Tale modello è rappresentato da due sezioni litologiche che sono contenute nella Carta Geologico-tecnica. Le forme dei depositi sono state ipotizzate in base ai dati geofisici acquisiti e in base alle dinamiche delle singole morfologie dei depositi presenti nel territorio in oggetto. Per aumentare il dettaglio delle sezioni e mostrare la forma dei depositi si è scelto di esagerare la dimensione verticale, aumentandola rispetto l'orizzontale nelle sezioni A-A' e B-B'.

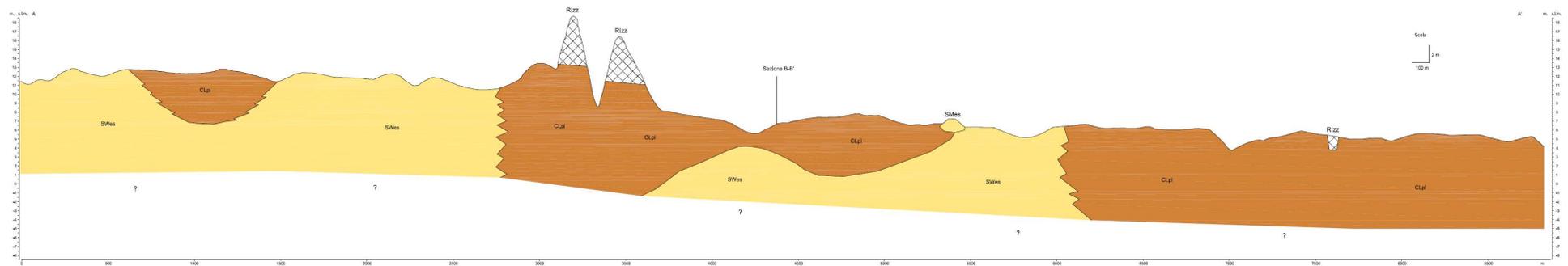
Riguardo il sottosuolo di Silea si possono fare le seguenti considerazioni:

Il territorio del comune si colloca al passaggio tra la media e la bassa pianura veneta formata in tempi geologicamente recenti dall'accumulo di materiali di origine glaciale e fluvioglaciale trasportati dai fiumi Piave e Brenta in uscita dalle valli alpine che formarono grandi conoidi alluvionali legate le une alle altre. Le alluvioni depositate dal Piave corrispondono a terreni caratterizzati da granulometrie medio grossolane (sabbie e ghiaie). Tali apporti derivano dalle divagazioni del Piave, che in questa zona, si sono concluse quando il fiume si è spostato più ad est defluendo completamente attraverso il varco di Nervesa della Battaglia facendo di fatto migrare la conoide attiva e quindi il suo raggio d'azione verso est. Dopo il trasferimento del Piave le sabbie e le ghiaie vennero ricoperte dalle alluvioni del Brenta, le quali, non più ostacolate dal Piave, si espansero liberamente. Tale cambiamento si è riflesso sulla tessitura dei terreni depositati passando da granulometrie grossolane, a prevalenti limi e argille talora con sabbie. Di conseguenza i terreni più superficiali sono stati depositati dal Fiume Brenta, mentre quelli più profondi dal Fiume Piave. In corrispondenza dell'alveo del fiume Sile affiorano terreni a tessitura da sabbiosa a localmente ghiaiosa, grazie all'azione erosiva del fiume stesso che ha operato in affioramento terreni verosimilmente appartenenti al conoide del fiume Piave. Nel territorio sono presenti altre aree dove affiorano terreni analoghi, probabilmente a causa di divagazioni del fiume Sile.

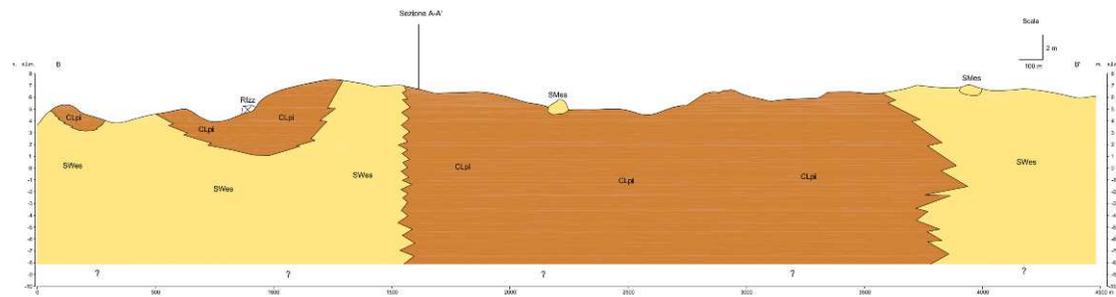
I terreni prevalentemente limoso-argillosi sono stati depositati in epoca quaternaria, dovuti a fenomeni alluvionali del fiume Sile e di altri corsi d'acqua minori dei quali oggi restano i paleoalvei di natura limo-sabbiosa.

Sono inoltre presenti depositi di origine antropica derivanti dall'attività estrattiva in corrispondenza dell'alveo del Sile. Sono poi presenti terrapieni artificiali in materiale anidro in corrispondenza dei rilevati autostradali.

Non sono presenti tuttavia forme morfologiche rilevanti dal punto di vista sismico e nemmeno faglie.



Sezione A-A'



Sezione B-B'



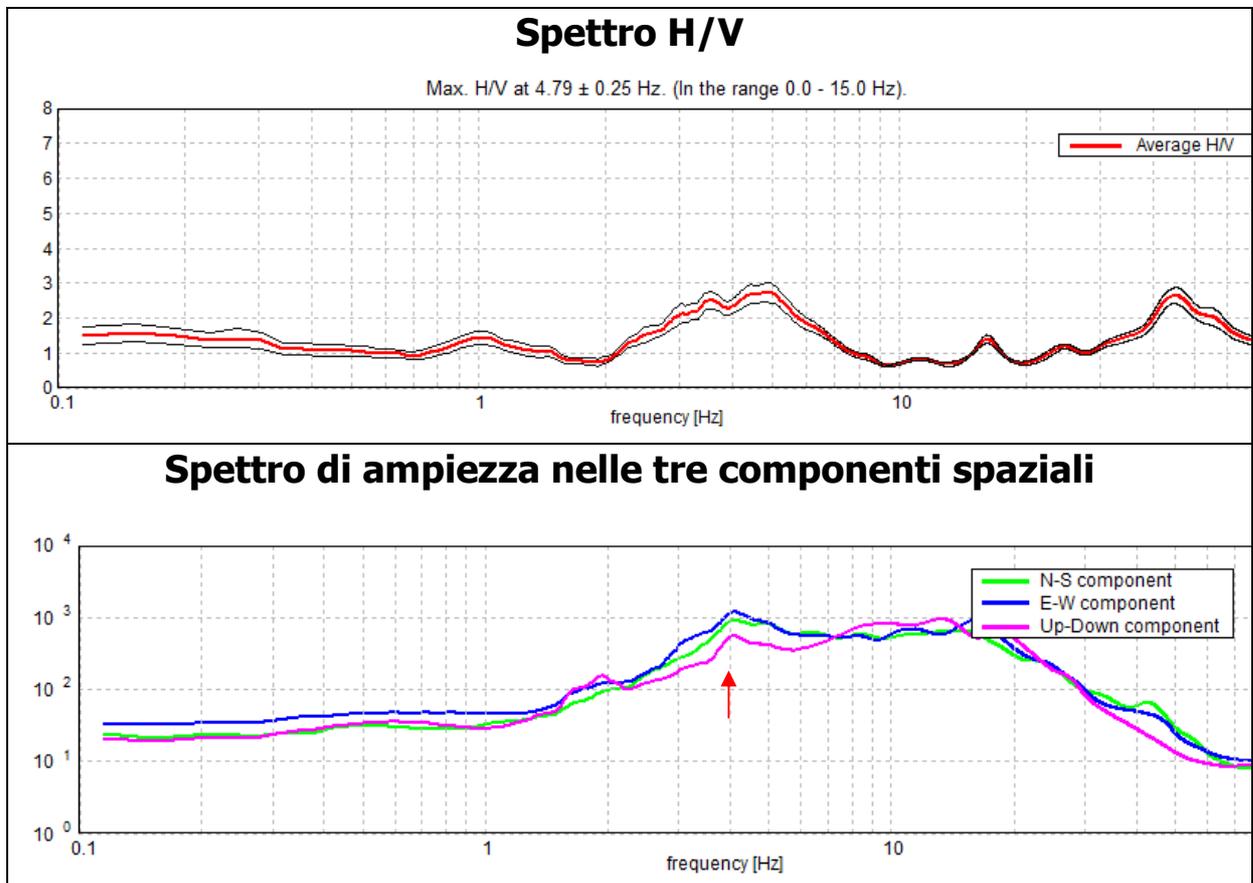
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

6.1 Identificazione e rappresentati dei dati raccolti

I dati geologici, idrogeologici e geomorfologici emergono da rilevamenti di dettaglio effettuati nel territorio comunale e da indagini precedenti fornite dagli archivi comunali. Tali dati rappresentano la componente geologica più superficiale del territorio che deve essere sviluppata in maniera più dettagliata nei livelli di microzonazione successivi.

In alcune indagini HVSR si sono riscontrati alcuni problemi legati a particolari situazioni geologiche o a disturbi ambientali che hanno perturbato la buona riuscita dell'indagine o ne hanno resa difficoltosa l'analisi:

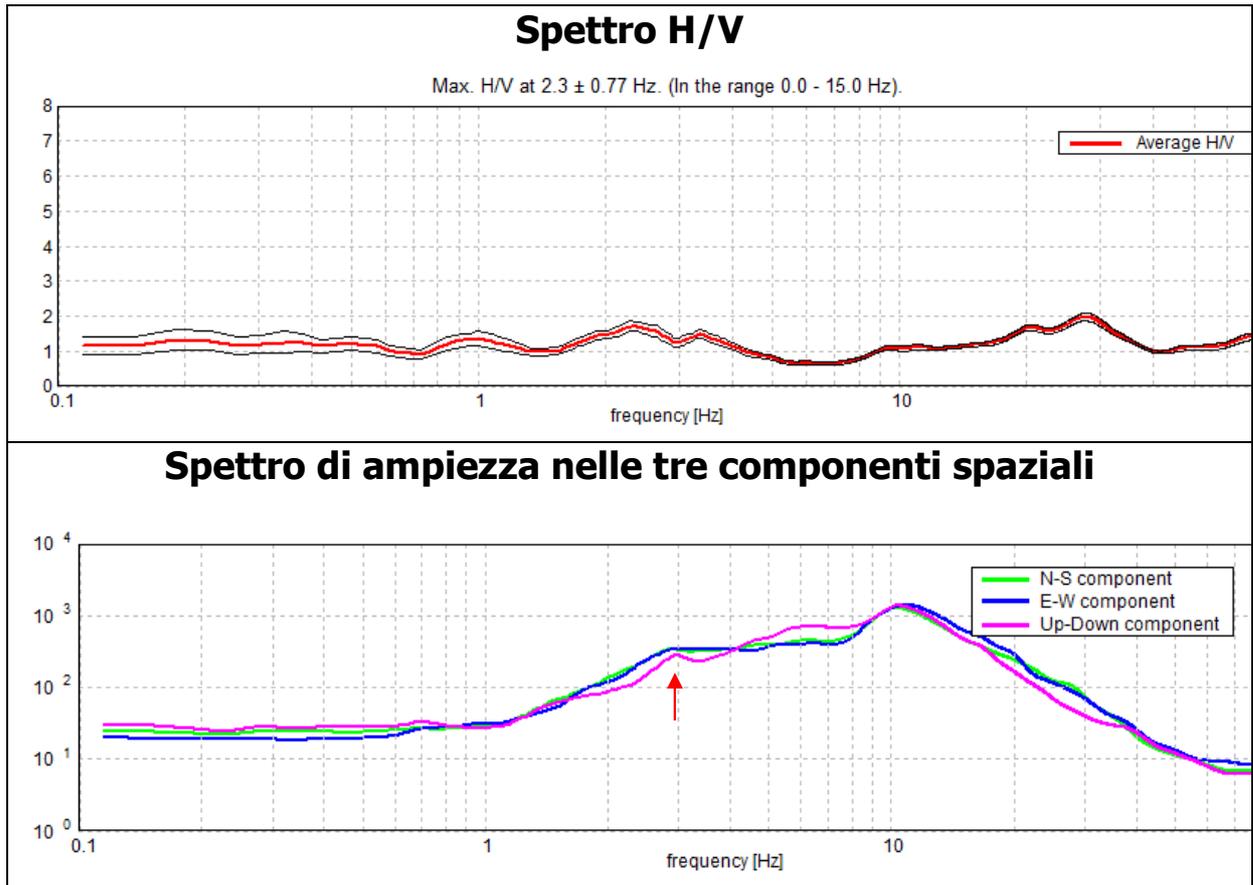
SI03



Come si può notare dallo spettro di ampiezza nelle tre componenti spaziali è presente un rumore di origine antropica (freccia rossa) che modifica parzialmente il picco di origine stratigrafica tra i 3 e 6 Hz.

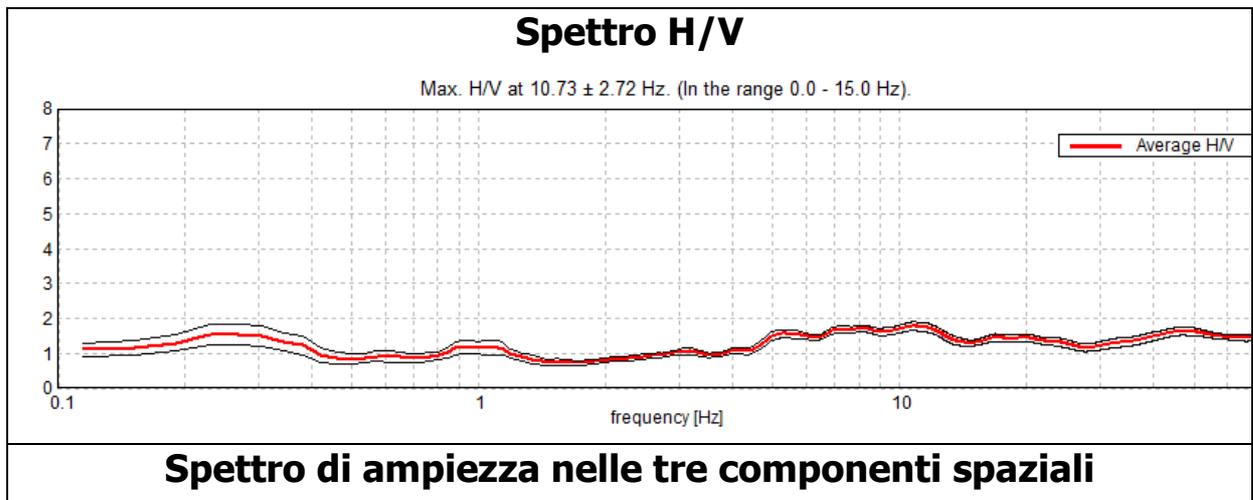


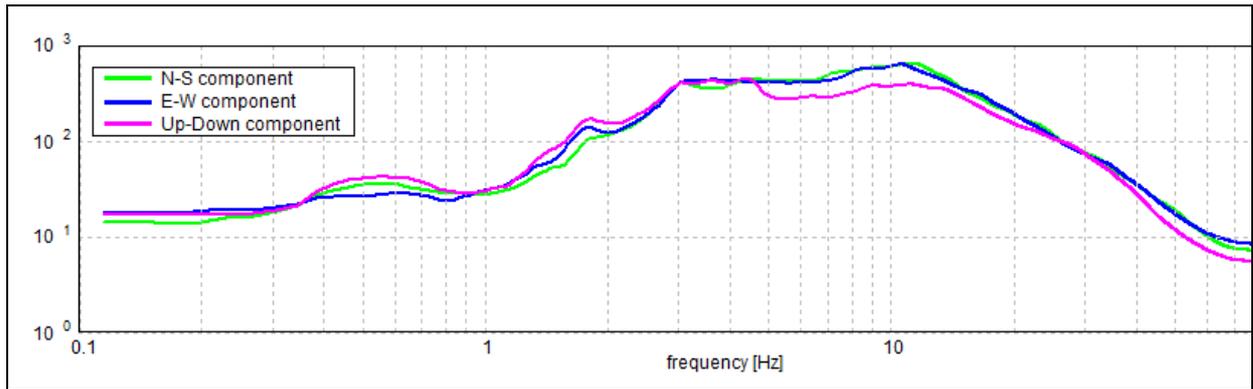
SI04



Come si può notare dallo spettro di ampiezza nelle tre componenti spaziali è presente un disturbo (freccia rossa) che modifica parzialmente il picco di origine stratigrafica tra i 1 e 3 Hz.

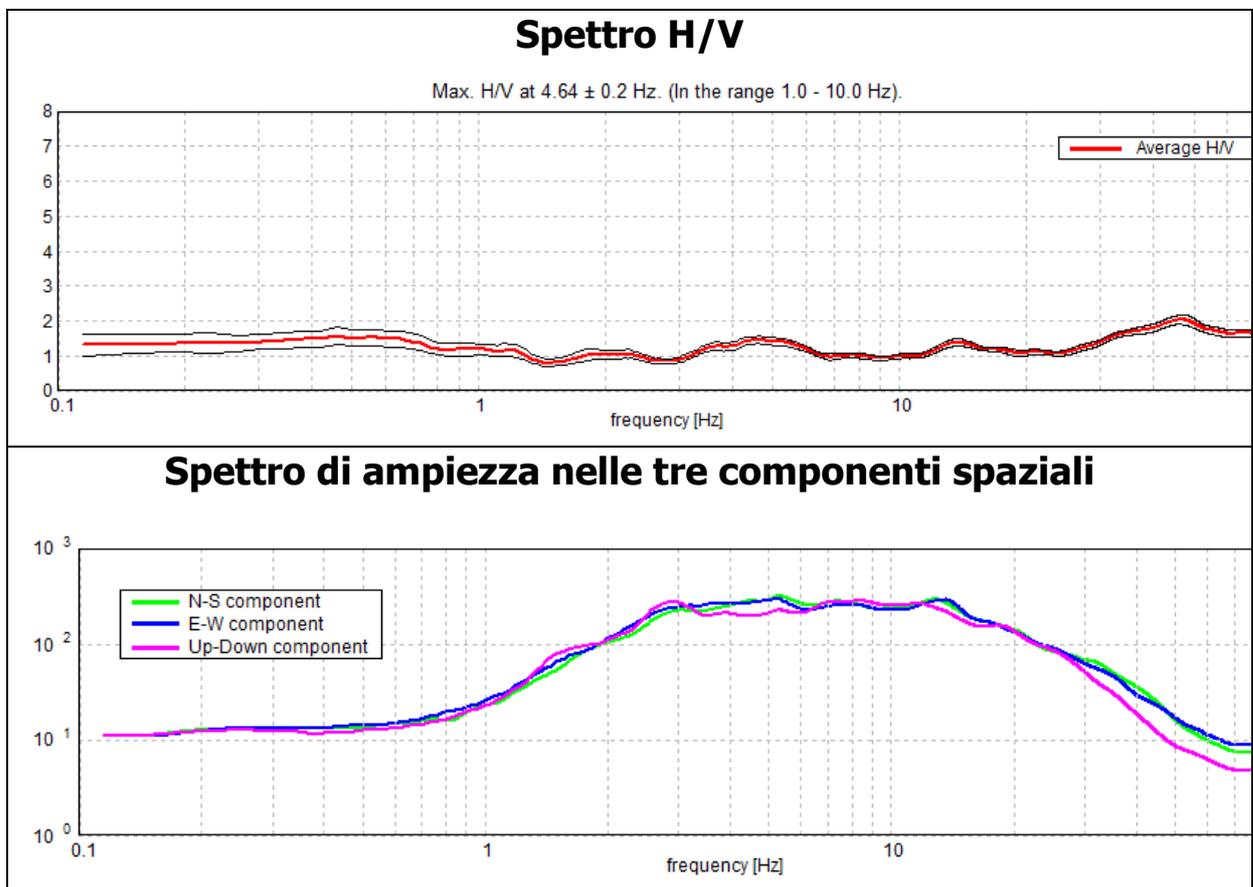
SI18





Come si può notare dallo spettro H/V le ampiezze dei picchi sono ridotte, con conseguente difficoltà nell'individuare l'eventuale picco di origine stratigrafica.

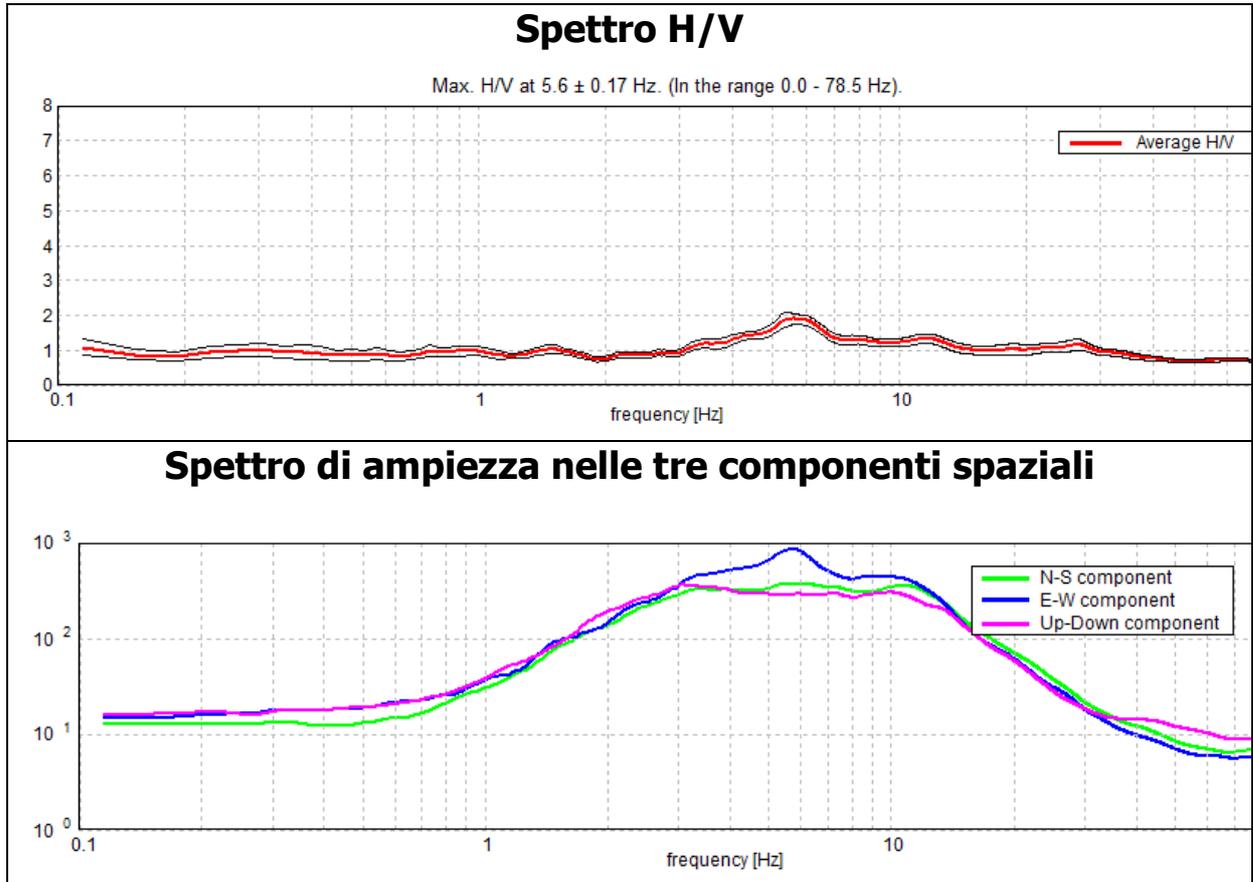
SI20



Come si può notare dallo spettro H/V le ampiezze dei picchi sono ridotte, con conseguente difficoltà nell'individuare l'eventuale picco di origine stratigrafica.



SI25



Come si può notare dallo spettro H/V le ampiezze dei picchi sono ridotte, con conseguente difficoltà nell'individuare l'eventuale picco di origine stratigrafica.



7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Di seguito verranno illustrate la modalità di elaborazione dei dati geologici, idrogeologici e geomorfologici utilizzati per effettuare la zonazione di primo livello del Comune di Silea:

Zone suscettibili di amplificazione locale, cioè una riclassificazione delle litologie presenti in chiave sismica e in generale:

- Zona 1: Alluvioni sabbiose con subordinate ghiaie in matrice limo-sabbiosa attuali e recenti: si tratta di depositi alluvionali delle fasce di deposito delle aste fluviali recenti e attuali a tessitura in prevalenza sabbiosa e subordinatamente ghiaiosa in scarsa matrice fine limo-argillosa. Sono diffusamente presenti nel territorio comunale in particolare lungo il corso del fiume Sile. Gli spessori di tali depositi sono superiori ai 10 metri. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico;
- Zona 2: Alluvioni limose e sabbiose dei paleoalvei: si tratta di materiali prevalentemente sabbiosi e limosi presenti in corrispondenza di paleoalvei di corsi d'acqua estinti. Sono diffusamente presenti nel territorio comunale. Gli spessori di tali depositi sono superiori ai 10 metri. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico;
- Zona 3: Rilevati stradali antropici: si tratta nello specifico di rilevati di materiale di origine antropica utilizzati per la realizzazione del tratto autostradale e dei relativi svincoli che interessano il territorio comunale. Questi sono fondati sulle litologie "CLpi" e "Swes" ed hanno spessori variabili da pochi decimetri fino alcuni metri. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico;
- Zona 4: Alluvioni limo-argillose con subordinate lenti sabbiose e livelli di "caranto": si tratta di depositi a tessitura limo-argillosa prevalente con sporadiche lenti sabbiose sature e locali livelli sovraconsolidati di paleosuoli comunemente denominati "caranto" di divagazione ed esondazione delle aste fluviali recenti e dei grandi deflussi dell'idrografia post-glaciale della Pianura alluvionale indifferenziata. Gli spessori di tali depositi sono superiori ai 10 metri. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico;
- Zona 5: Depositi antropici rimaneggiati derivanti dalle attività estrattive: Si tratta di materiale rimaneggiato derivante dall'attività estrattiva di cava che ha interessato le litologie "CLpi" e "Swes". Questi sono rappresentati sia da riempimenti di depressioni che cumuli adiacenti alle cave. Questi ultimi sono poggiati al di sopra delle stesse litologie "CLpi" e "Swes" ed hanno spessori variabili da pochi decimetri fino qualche metro. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.



8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Per la produzione delle seguenti cartografie sono stati selezionati ed analizzati i dati geologici, geomorfologici e idrogeologici derivanti dalle cartografie del PAT e studi posteriori ad esso, oltre che ulteriori informazioni prodotte tratte in seguito. Sono state inoltre effettuate alcune indagini sismiche passive a stazione singola (HVSr).

8.1 La Carta delle Indagini

Il primo elaborato della microzonazione sismica di I livello ha lo scopo di raccogliere le indagini (sia pregresse che realizzate ex novo), in modo da avere alcuni dati di partenza da cui elaborare e delimitare le diverse zone stabili, suscettibili di amplificazioni locali o suscettibili di instabilità.

Nella Carta delle Indagini sono state segnalate le diverse indagini geologico-tecniche e geofisiche effettuate all'interno del Comune di Silea.

Queste indagini sono state inoltre codificate come dettato dagli Standard di Rappresentazione Informatica ver.4.1 all'interno di sei tipologie di tabelle (estratte dai relativi DB):

- Sito_puntuale: per ogni punto sulla carta esiste una tabella con la sua localizzazione geografica e la data in cui è stata eseguita la prova;
- Indagini_puntuali: Per ogni indagine puntuale vengono descritte la tipologia delle indagini e la profondità totale indagata;
- Parametri_puntuali: per ogni singolo strato geotecnico di ogni singola indagine vengono descritte le caratteristiche litologiche, il parametro geotecnico o il parametro geofisico acquisito e lo spessore di tale strato;
- Sito_lineare: per ogni sito lineare sulla carta esiste una tabella con la localizzazione geografica dei suoi vertici e la data in cui è stata eseguita la prova;
- Indagini_lineari: Per ogni indagine lineare vengono descritte la tipologia dell'indagine;
- Parametri_lineari: per ogni singolo strato geotecnico di ogni singola indagine vengono descritte le caratteristiche litologiche, il parametro geotecnico o il parametro geofisico acquisito e lo spessore di tale strato.

Nella carta sono presenti:

- Trincea o pozzetto esplorativo;
- Indagini di microtremori a stazione singola HVSr (indagini ex novo);
- MASW (indagini ex novo).



Legenda



Trincea o pozzetto esplorativo



Stazione microtremore a stazione singola



MASW

Carta delle Indagini (2020)



8.2 La Carta geologico-tecnica

Il secondo elaborato di questo studio di microzonazione contiene i dati geologici e geomorfologici utilizzati per produrre la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica. Tutti gli elementi presenti in questa carta sono stati codificati in base agli Standard di Rappresentazione Informatica ver.4.1.

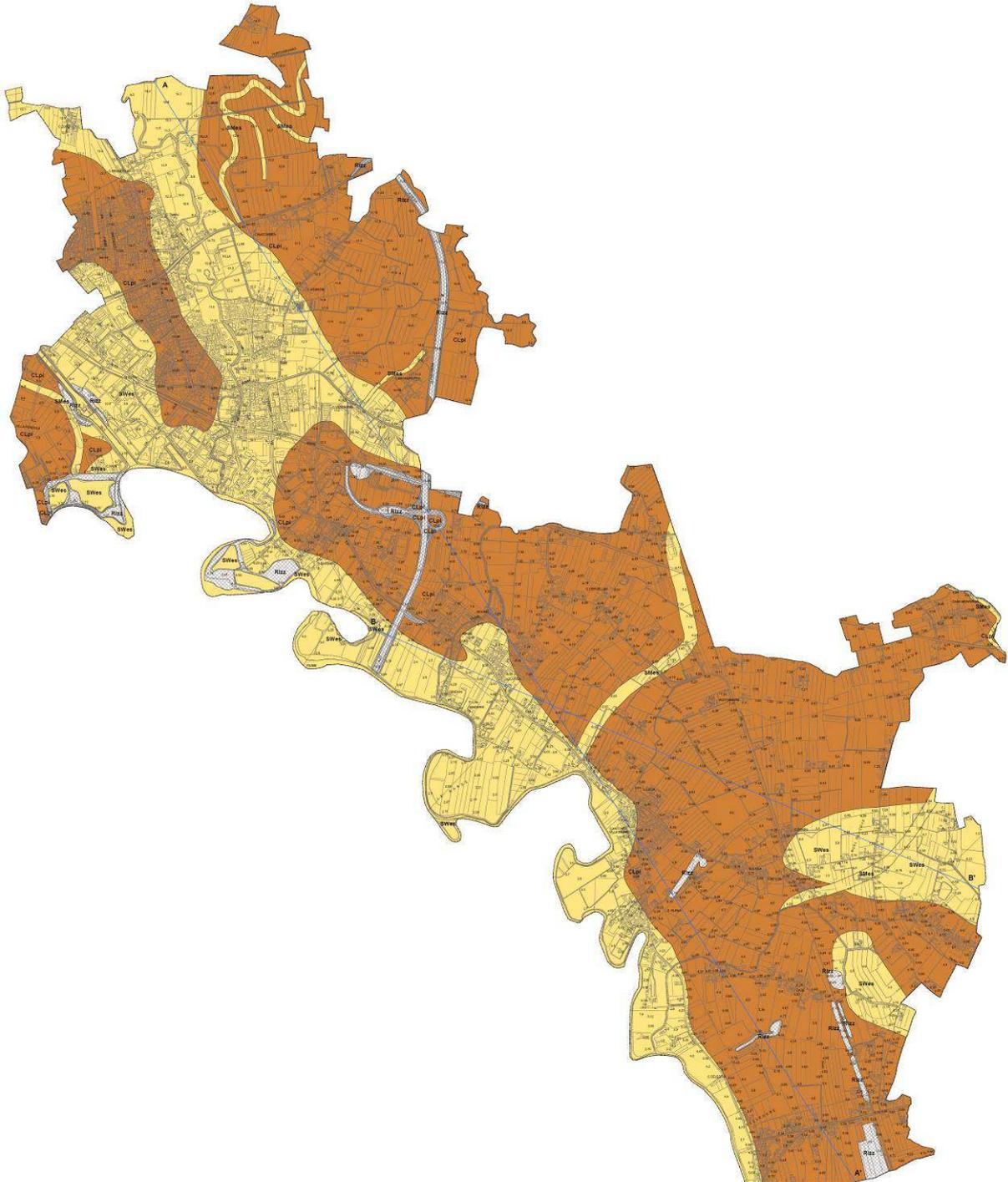
8.2.1 Unità litologiche

Le unità litologiche presenti in carta sono state create riclassificando le unità litologiche presenti nel PAT previa approfondita verifica e si suddividono in:

Terreni di copertura

	SWes	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
	SMes	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
	CLpi	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	RIzz	Terreni contenenti resti di attività antropica

Litologia	Genesi
SW . Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia: si tratta di terreni prevalentemente sabbiosi con subordinate ghiaie in matrice fine limo-argillosa di origine fluviale o fluvioglaciale	es (Argine/barre/canali)
SM . Sabbie limose, miscela di sabbia e limo: si tratta di materiali prevalentemente sabbiosi e limosi presenti in corrispondenza di paleovalvei di corsi d'acqua estinti	es (Argine/barre/canali)
CL . Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre: si tratta di materiali a tessitura prevalentemente limo-argillosa con sporadiche lenti sabbiose. Sono di origine fluviale e generati dalle alluvioni dei corsi fluviali. Localmente è presente il livello denominato "caranto", nome locale di un paleosuolo pleistocenico costituito da un'argilla limosa, limoso-sabbiosa estremamente compatta.	pi (Piana inondabile)
RI . Terreni contenenti resti di attività antropica: si tratta di terrapieni stradali o materiali rimaneggiati derivanti dalle attività di estrazione nelle cave.	zz (altro)



Carta geologico-tecnica (2020)

8.2.2 Elementi geologici e geomorfologici

— Traccia della sezione geologica rappresentativa del sottosuolo

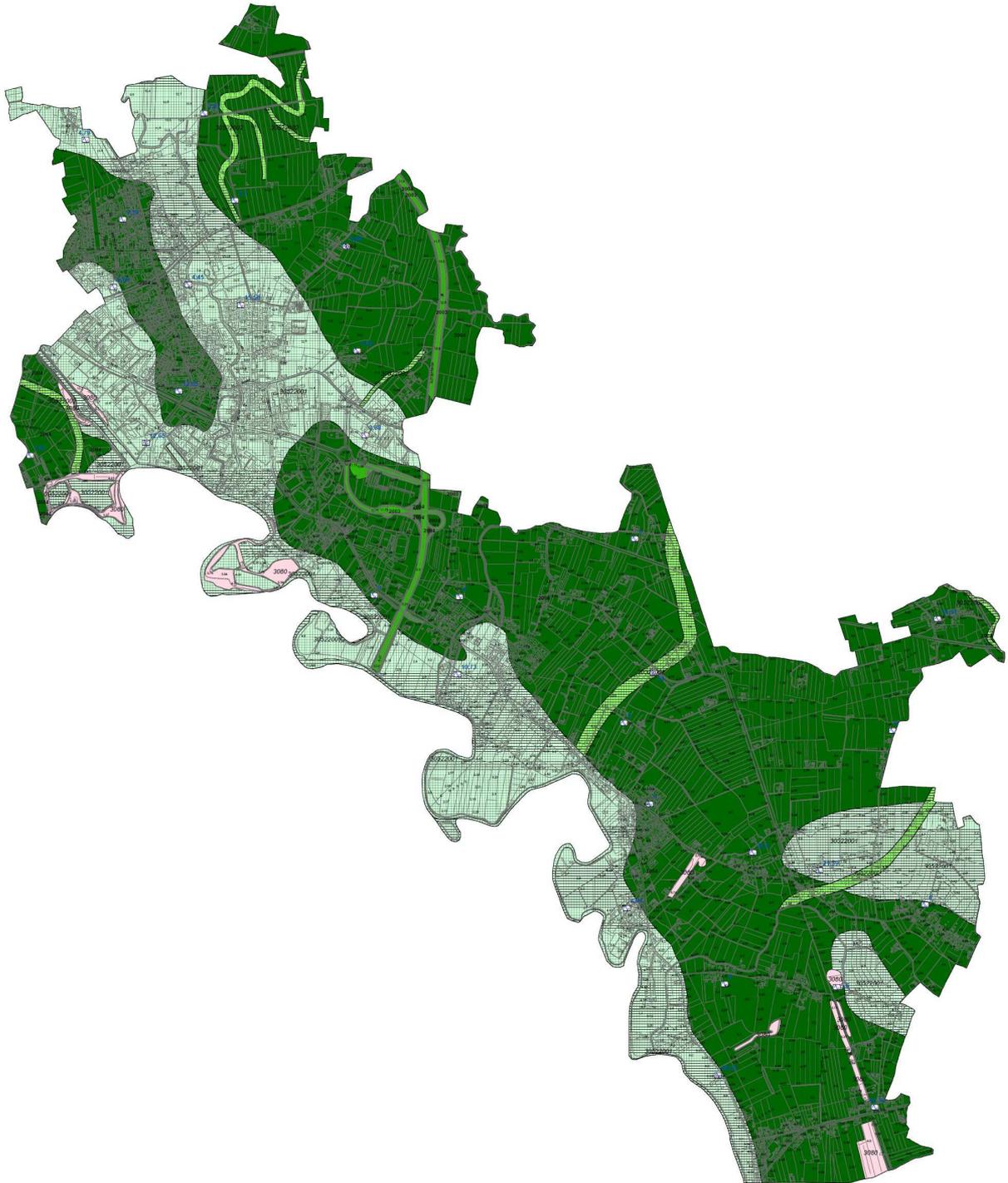
All'interno della Carta Geologica Tecnica sono tracciate 2 sezioni (A-A'; B-B') che permettono di ricostruire il modello di sottosuolo di Silea.

8.2.3 Forme di superficie e sepolte

Nel territorio comunale non sono presenti elementi che possono avere valenza sismica.



8.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica



Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (2020)

Il terzo elaborato previsto per il primo livello è la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS). La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche e della valutazione dei dati litostratigrafici (si sottolinea che si tratta di dati pregressi, già disponibili per l'area) e sismici (analisi dei picchi delle prove HVSR) è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, liquefazioni...).



Le informazioni utilizzabili, oltre alla cartografia di base disponibile, sono state:

- Carta delle Indagini redatta per questo studio;
- Carta geologico-tecnica prodotta per questo studio;
- Carte geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del PAT.

Questa carta identifica le geometrie di microzone potenzialmente caratterizzate da specifici effetti sismici. Non è previsto l'utilizzo di un input sismico, né la quantificazione numerica dei diversi effetti. Si è scelto di circoscrivere l'area in cui studiare le microzone nelle zone su cui sussistono centri abitati o nelle quali l'amministrazione comunale ha previsto edificazioni.

Le microzone della carta sono classificate in due categorie:

- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale (le zone da 1 a 5 sono state definite in base alle diverse componenti litologiche in quanto come suddetto queste variazioni possono creare effetti di amplificazioni);
- **zone suscettibili di instabilità**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). I tipi di instabilità individuate sono **zone di attenzione per liquefazione**.

Nella Carta delle MOPS sono inoltre contenuti alcuni elementi morfologici ritenuti significativi e i punti di misura di rumore ambientale (già contenuti nella Carta delle Indagini come Stazione microtremore a stazione singola).

Tutti gli elementi presenti in questa carta sono stati codificati in base agli Standard di Rappresentazione Informatica ver.4.1.

Con la cartografia prodotta sarà possibile:

- la programmazione di indagini di approfondimento, sulla base delle diverse tipologie di effetti attesi;
- l'individuazione delle aree per le quali sono necessari ulteriori livelli di approfondimento.

8.3.1 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

In tali aree sono attese amplificazioni locali del moto sismico a causa dell'assetto litostratigrafico e morfologico delle aree stesse. Valutando tali criteri di amplificazione è stato possibile suddividere le aree suscettibili ad amplificazioni locali in 5 zone differenti, qui di seguito descritte.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

2003

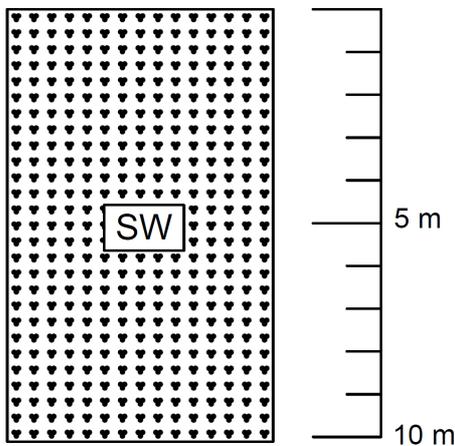
Zona 3 - Rilevati stradali antropici

2004

Zona 4 - Alluvioni limo-argillose con subordinate lenti sabbiose e livelli di "caranto"



8.3.1.1 Zona 1 – Alluvioni sabbiose con subordinate ghiaie in matrice limo-sabbiosa attuali e recenti

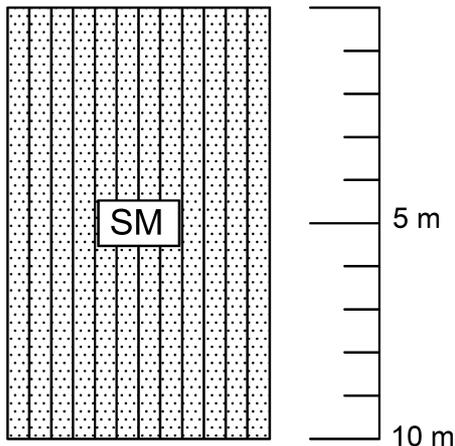


Si tratta di depositi alluvionali delle fasce di deposito delle aste fluviali recenti e attuali a tessitura in prevalenza sabbiosa e subordinatamente ghiaiosa in scarsa matrice fine limo-argillosa.

Sono diffusamente presenti nel territorio comunale in particolare lungo il corso del fiume Sile.

Gli spessori di tali depositi sono superiori ai 10 metri. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

8.3.1.2 Zona 2 – Alluvioni limose e sabbiose dei paleoalvei

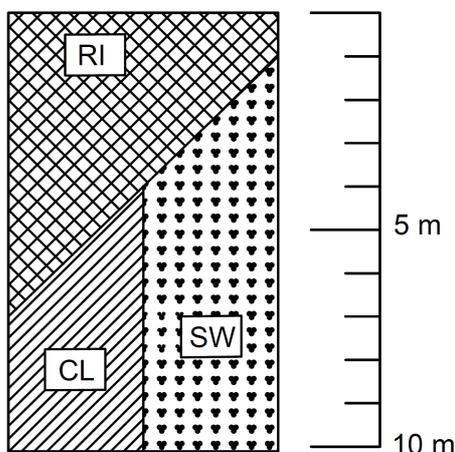


Si tratta di materiali prevalentemente sabbiosi e limosi presenti in corrispondenza di paleoalvei di corsi d'acqua estinti.

Sono diffusamente presenti nel territorio comunale.

Gli spessori di tali depositi sono superiori ai 10 metri. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

8.3.1.3 Zona 3 – Rilevati stradali antropici



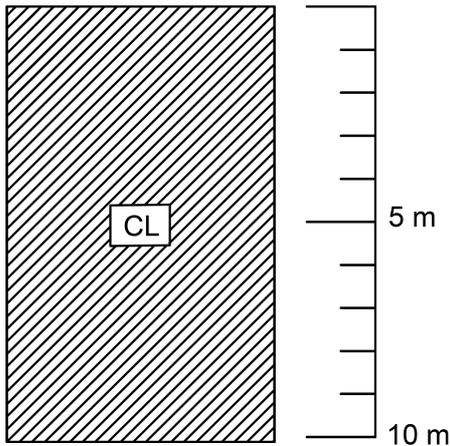
Si tratta nello specifico di rilevati di materiale di origine antropica utilizzati per la realizzazione del tratto autostradale e dei relativi svincoli che interessano il territorio comunale.

Questi sono fondati sulle litologie "CLpi" e "Swes" ed hanno spessori variabili da pochi decimetri fino alcuni metri.

In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.



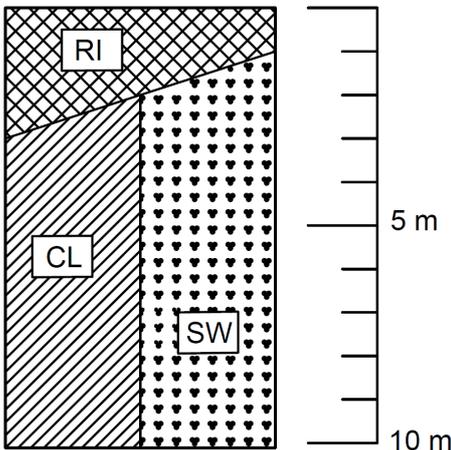
8.3.1.4 Zona 4– Alluvioni limo-argillose con subordinate lenti sabbiose e livelli di "caranto"



Si tratta di depositi a tessitura limo-argillosa prevalente con sporadiche lenti sabbiose saturate e locali livelli sovraconsolidati di paleosuoli comunemente denominati "caranto" di divagazione ed esondazione delle aste fluviali recenti e dei grandi deflussi dell'idrografia post-glaciale della Pianura alluvionale indifferenziata.

Gli spessori di tali depositi sono superiori ai 10 metri. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

8.3.1.5 Zona 5– Depositi antropici rimaneggiati derivanti dalle attività estrattive



Si tratta di materiale rimaneggiato derivante dall'attività estrattiva di cava che ha interessato le litologie "CLpi" e "Swes". Questi sono rappresentati sia da riempimenti di depressioni che cumuli adiacenti alle cave. Questi ultimi sono poggiati al di sopra delle stesse litologie "CLpi" e "Swes" ed hanno spessori variabili da pochi decimetri fino qualche metro.

In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

8.3.2 Zone di attenzione per instabilità

8.3.2.1 Zone di attenzione per liquefazione



ZAlq – Zona di attenzione per liquefazione –

Zona 1 – Alluvioni sabbiose con subordinate ghiaie in matrice limo-sabbiosa attuali e recenti



ZAlq – Zona di attenzione per liquefazione – Zona 2 – Alluvioni limose e sabbiose dei paleoalvei

La liquefazione è un fenomeno che interessa i depositi sabbiosi e limo-sabbiosi saturi per effetto di un rapido e significativo aumento della pressione interstiziale. In tali condizioni i terreni prevalentemente sabbiosi non cementati attingono valori nulli o estremamente modesti della resistenza al taglio trasformandosi di fatto in un liquido pesante. L'aumento della pressione interstiziale può essere indotto da fenomeni di filtrazione o da un forte evento sismico. Per condurre a liquefazione un terreno suscettibile alla liquefazione è necessaria l'occorrenza di un forte sisma (Magnitudo superiore a 5). In termini di accelerazione di picco su roccia, i fenomeni di liquefazione completa si hanno solitamente per terremoti con $a > 0,1g$. Le zone 1 e 2 hanno potenzialmente le caratteristiche granulometriche e le condizioni di falda tali per poter sviluppare potenzialmente il fenomeno di liquefazione.



8.3.2.2 *Zone di attenzione per cedimenti differenziali*



ZAcD – Zona di Attenzione per cedimenti differenziali/crollo/cavità sotterranee/sinkhole

Si tratta di aree dove sono presenti accumuli derivanti dalle attività estrattive di cava. Esiste la possibilità di cedimenti differenziali.



8.3.3 Punti di misura di rumore ambientale



Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f_0

Nella Carta delle MOPS sono stati inseriti anche i punti di misura ambientale, ovvero i punti delle indagini HVSR effettuate per questo Studio. In carta sono presenti anche le frequenze di picco misurate in ciascun punto.



9. PRESCRIZIONI URBANISTICHE A SEGUITO DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI I LIVELLO

A seguito dei risultati illustrati in tale studio e nelle Carte ad esso allegate emergono alcune problematiche di tipo sismico che necessitano di un approfondimento, in modo da poter diminuire la vulnerabilità sismica delle future edificazioni prevenendo tali problematiche.

Di seguito vengono date alcune prescrizioni sulle Zone suscettibili di amplificazioni locali, sulle Zone suscettibili d'instabilità e su alcuni elementi morfologici presenti nella Carta della Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica:

9.1 Zone Suscettibili di Amplificazioni Locali

In tali Zone interessate da probabili effetti di amplificazione di tipo morfologico e/o topografico sono necessari **approfondimenti di II livello di Microzonazione Sismica in sede di PI e/o PUA** per stimare i valori di amplificazione attraverso la quantificazione dei fattori FA (fattore di amplificazione a bassi periodi) e FV (fattore di amplificazione a alti periodi) come indicato negli ICMS (2008).

In tutte le microzone (1÷5) evidenziate nella carta delle MOPS è necessario valutare, per mezzo di metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), l'entità delle amplificazioni di tipo topografico e di tipo litostratigrafico. Gli approfondimenti dovranno derivare da opportune indagini geofisiche attive/passive da ubicare preferibilmente negli ambiti interessati da previsioni urbanistiche.

9.2 Zone Suscettibili di Instabilità

Per le zone di instabilità per liquefazione sarebbe opportuno un **approfondimento di III livello in sede di PI/PUA**, nel quale verranno effettuate:

1. indagini geotecniche in situ e prove di laboratorio necessarie a valutare la granulometria e la profondità dei terreni, la loro reale estensione e le loro condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche;
2. analisi di risposta sismica locale;
3. analisi del potenziale di liquefazione I_L come indicato negli ICMS (2008).

Per tutte le zone suscettibili di instabilità, nel III livello di Microzonazione Sismica deve essere indicato se si tratta di Zone di Suscettibilità (ZS) o Zone di Rispetto (ZR) come indicato negli ICMS (2008) e negli Standard di rappresentazione e Archiviazione Informatica.

Per quanto riguarda le zone di attenzione per cedimenti differenziali presenti nella Carta delle MOPS, si renderebbe necessario in caso di variazione di destinazione d'uso di tali aree **valutare l'entità delle amplificazioni di tipo stratigrafico e gli eventuali cedimenti attraverso il II livello di Microzonazione sismica** dove verranno effettuate modellazioni numeriche ed opportune indagini sismiche per stimarne l'effetto di amplificazione.



10. BIBLIOGRAFIA

Distretti sismici del Veneto - M. SUGAN E L. PERUZZA. Centro Ricerche Sismologiche, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Cussignacco (UD) e Sgonico (TS) (Received: September 2, 2011; accepted: December 28, 2011)

<https://idt2.regione.veneto.it/idt/downloader/download> (per dati cartografici e geologici regionali);

http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree/ (per la consultazione delle foto aeree);

<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/> catalogo nazionale delle faglie capaci – Progetto ITHACA);

<http://cnt.rm.ingv.it> (Catalogo ISIDe per i terremoti recenti)

<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/> (Database Macrosismico Italiano)

http://pai.adbve.it/index_PAI4B.html (PAI dei fiumi Brenta-Bacchiglione)

Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome (13.11.2008).

Standard di rappresentazione e Archiviazione Informatica – Specifiche tecniche per la redazione degli elaborati cartografici della microzonazione sismica – Versione 4.1; Commissione tecnica per la microzonazione sismica.