



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE VENETO



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

di secondo livello

Relazione Illustrativa

Regione Veneto
Comune di Paese (TV)

Regione del Veneto	Soggetto realizzatore	Settembre 2017
		

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 ZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE.....	4
2.2 TERREMOTI DI RIFERIMENTO.....	8
2.2 FAGLIE ATTIVE E CAPACI, E SORGENTI SISMOGENETICHE RESPONSABILI DI TERREMOTI.....	11
2.3 PRINCIPALI FAGLIE NELL'AREA IN STUDIO.....	16
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	17
3.1 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE.....	17
3.2 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE.....	18
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	20
4.1 PARAMETRI GEOTECNICI.....	20
4.2 PROVE GEOFISICHE.....	20
4.2.1 Indagine sismica mediante la tecnica dei microtremiti "ReMi".....	21
4.2.2 Indagine sismica mediante la tecnica "MASW"	22
4.2.3 Indagine sismica mediante la tecnica "HVSr" a stazione singola	24
4.2.4 Analisi delle risultanze.....	26
5. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE	39
6. MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO	53
6.1 INTRODUZIONE.....	53
6.2 FINALITÀ' DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	53
6.3 MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO E TERZO LIVELLO.....	54
6.4 ABACHI DI RIFERIMENTO.....	55
6.5 ELABORATI CARTOGRAFICI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO.....	58
7. CONCLUSIONE.....	66

1. INTRODUZIONE

Lo studio di Microzonazione Sismica di secondo livello è stato eseguito ai sensi della DGRV n. 1572/2013 *“Le Linee Guida di Microzonazione sismica vanno applicate agli studi di microzonazione sismica a corredo degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale (PAT, PI, e loro varianti)”*.

La DGRV n.1572 del 03.09.2013 *“Definizione di una metodologia teorica e sperimentale per l'analisi sismica locale a supporto della pianificazione. Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica. (DGR 71/2008, DGR 2877/2008, D.lgs. 163/2006 e abrogazione DGR n. 3308/08)”*, ha inserito il Comune di Castelvucco (v. allegato B) nell'elenco dei comuni del Veneto che devono applicare le linee guida per gli studi di microzonazione sismica.

La Microzonazione sismica del territorio è la valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di aree caratterizzate da comportamento sismico omogeneo, in quanto lo scuotimento sismico può provocare scuotimenti differenti in funzione alla morfologia superficiale e sepolta, e alla tipologia e spessori dei terreni di copertura del “bedrock” sismico. Di conseguenza si possono verificare danneggiamenti su fabbricati con le stesse caratteristiche strutturali, posti a poche decine di metri, e aventi caratteristiche geologico-sismiche differenti. In fase di pianificazione territoriale la Microzonazione sismica permette di:

- definire gli interventi ammissibili nelle varie aree e le priorità d'intervento;
- programmare le indagini e i livelli di approfondimento per salvaguardare strutture e infrastrutture esistenti da collasso in caso di sisma.

La **presente relazione è stata redatta ai sensi della DGRV 1572/2013**, che prevede quanto segue:

- **1° LIVELLO:** *si applica in sede di PAT e consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica ed identifica le parti del territorio comunale suscettibili di effetti sismici locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, liquefazione, rottura del terreno, ecc.;*
- **2° LIVELLO:** *si applica in sede di PI a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportano un incremento dei carichi urbanistici/insediativi e per il territorio compreso nel perimetro del centro abitato così come previsti dalla normativa vigente;*
- **3° LIVELLO:** *si applica in sede di PI per le scelte di trasformazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche, geomorfologiche e geotecniche. Si applica altresì alle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.*

Nell'allegato A della DGRV 1572/2013 si afferma che: *“...per l'elaborazione del primo e secondo livello di approfondimento è preferibile adottare una piattaforma GIS ed utilizzare gli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica promulgate dalla Commissione Tecnica Nazionale per la Microzonazione Sismica”*.

Per la stesura di questo lavoro, si è fatto riferimento perciò agli “Standard di

rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione sismica” vers. 4.0” della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica e alle linee guida della DGRV 1572/2013.

Gli elaborati cartografici realizzati, secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0, sono i seguenti:

➤ Microzonazione sismica di secondo/terzo livello

- Carta delle Indagini;
- Carta della pericolosità sismica locale;
- Carta delle frequenze fondamentali di vibrazione;
- Carta della Microzonazione sismica di secondo livello (Fa);
- Carta della Microzonazione sismica di secondo livello (Fv);

La presente relazione ottempera anche al DM 14.01.2008, e alla normativa tecnica del PAT.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Zonazione sismica del territorio nazionale

➤ Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

Con la nuova normativa sismica, per definire l'azione sismica di progetto, si deve valutare l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. In alternativa si può utilizzare la classificazione dei terreni presente nelle “Norme tecniche per le Costruzioni” (dm 14.01.2008), basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio V_s entro 30 metri di profondità. Un modello di riferimento per la descrizione del moto sismico sul piano di fondazione è costituito dallo spettro di risposta elastico, altro modello consiste nel descrivere il moto del suolo mediante accelerogrammi.

Lo spettro di risposta elastico è costituito da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita allo smorzamento convenzionale del 5% e considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore della accelerazione massima convenzionale del terreno fondale “ a_g ” che caratterizza il sito. Nella espressione dello spettro di risposta elastico, sia nella sua componente orizzontale che verticale, assume importanza non solo il parametro “ a_g ” ma anche “ S ”, quest’ultimo è il fattore che tiene conto della categoria del suolo di fondazione in funzione alla velocità delle onde di taglio V_s nei primi trenta metri di profondità, e della componente di amplificazione topografica del sito.

Con l’OPCM n. 3519 del 28.04.2006 e DGRV n.71/2008 si approva la “*Mappa di pericolosità sismica del territorio Nazionale*” espressa in termini di accelerazione massima al suolo (a_g max) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni) riferita ai suoli molto rigidi ($V_s > 800$ m/sec). Il valore di “ **a_g** ”, per il Comune di Paese, in zona “3”, riferita a suoli molto rigidi ($V_s > 800$ m/s) varia da 0,125g a 0.200g.

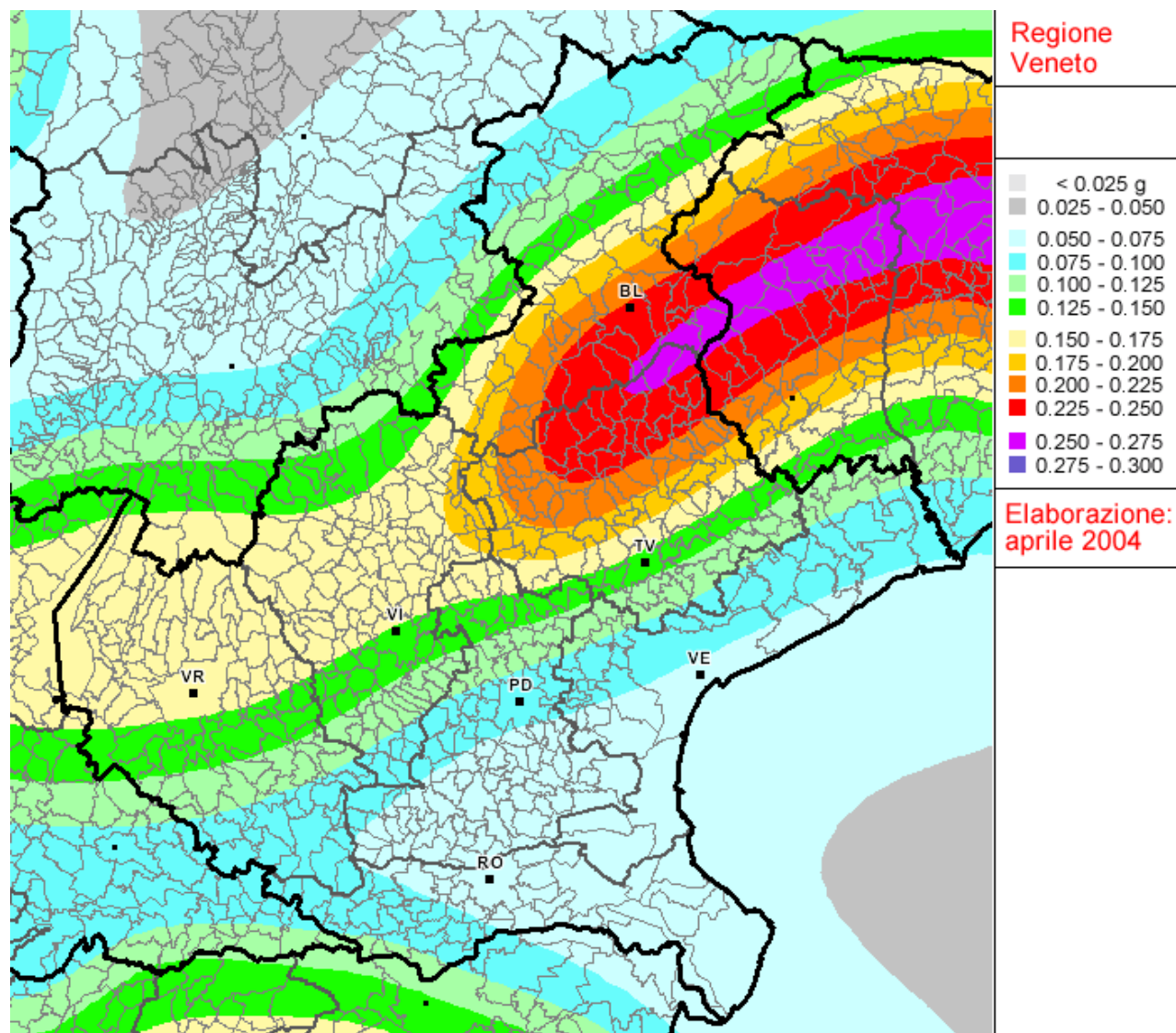


Fig. 1 - Mappa della pericolosità sismica della Regione del Veneto espressa in termini di accelerazione massima al suolo ($a_{g \max}$) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni) riferita ai suoli molto rigidi ($V_s > 800$ m/sec)

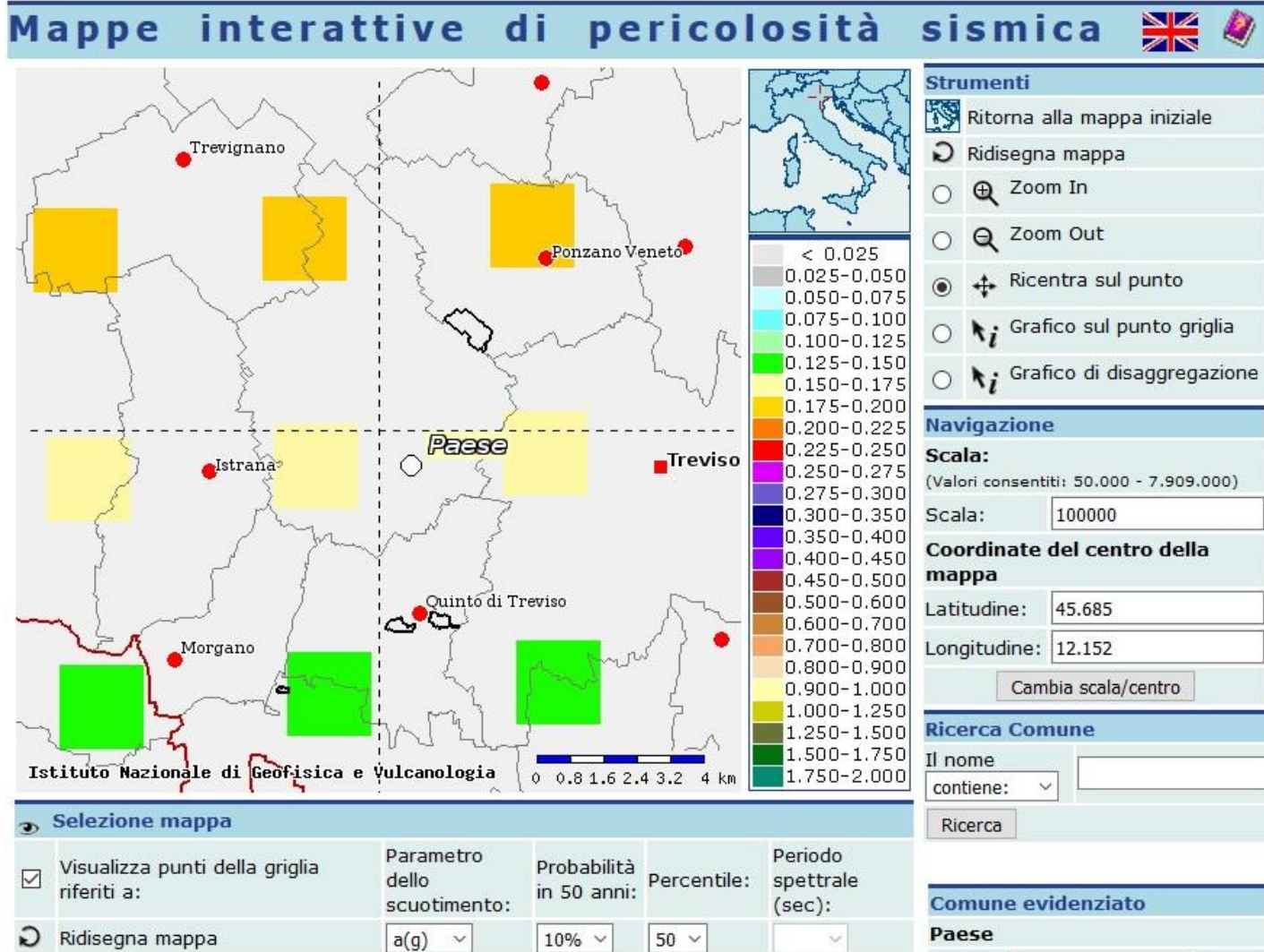


Fig. 2: Mappa della pericolosità sismica relativa al territorio comunale di Paese espressa in termini di accelerazione massima al suolo ($a_g \max$) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni) riferita ai suoli molto rigidi ($V_s > 800$ m/sec)

➤ Carta delle zone sismogenetiche ZS9

Oltre alla “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” è stata redatta la “*Carta delle zone sismo genetiche ZS9*”, che suddivide il territorio italiano in 36 zone, in base a un modello cinematico che sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di simulazioni. Le zone sismogenetiche sono state definite in base a uniformità dello stile deformativo e della congruenza cinematica con il modello deformativo.

In base alla cartografia ZS9 (v. fig. 3). Le aree del trevigiano settentrionale possono essere associate alle zone 905 e 906, caratterizzate da strutture a pieghe sud-vergenti del Sudalpino orientale e faglie inverse associate; la zona 905 include sorgenti sismogenetiche potenzialmente responsabili di terremoti con magnitudo $M > 6$, e racchiude un’area in cui la frequenza di eventi sismici (anche di magnitudo medio-alte) è nettamente superiore a quella delle zone adiacenti. La zona 905 comprende anche la sorgente del Montello (potenzialmente responsabile di terremoti con $M > 6$), che, in base ai dati attualmente disponibili, è definita come “silente” (cioè mancano, nei cataloghi disponibili, terremoti storici

con magnitudo prossima a quella massima attesa). La zona 906 interessa l'area che va da Bassano del Grappa fino a Verona.

Il potenziale sismico di tutta l'area compresa circa tra Thiene, Carmignano sul Brenta, Treviso, Oderzo e Revine, resta in ogni caso ancora piuttosto controverso, e si moltiplicano gli studi per comprendere la relativa assenza di sismicità su faglie ritenute capaci di generare forti terremoti. Sono attualmente in corso monitoraggi specifici per caratterizzare la deformazione geodetica e la microsismicità.

Tutte le zone sismo genetiche vengono considerate omogenee ai fini della probabilità di accadimento degli eventi sismici e in rapporto agli epicentri noti, ne consegue che non esiste l'effetto distanza. L'ICMS 2008 al paragrafo 2.8.2 stabilisce che può essere utilizzato, a favore della sicurezza, per alcune tipologie di verifiche (es. liquefazione), la magnitudo attesa massima della zona sismogenetica di appartenenza. Per le aree 905 e 906 la magnitudo massima attesa è $M_{wmax} = 6.60$.

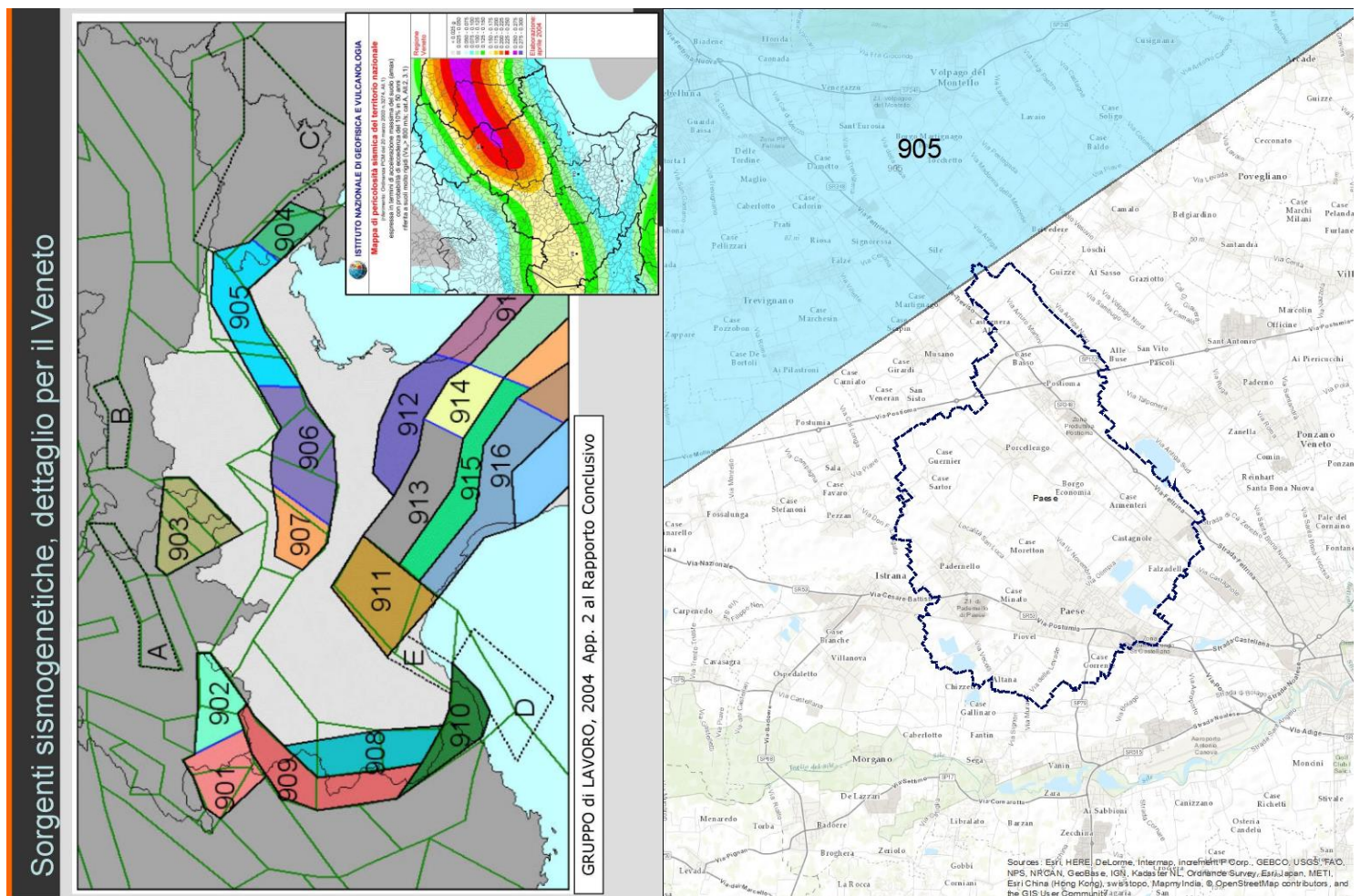


Fig. 3: Zonazione sismogenetica ZS9 del Veneto, con evidenziata parte della zona 905, in prossimità del Comune di Paese

2.2 Terremoti di riferimento

Nel 2004 è stato aggiornato il Catalogo Parametrico dei Terremoti (CPTI04 – catalogo dei terremoti dal 217 a.C. al 2002) da parte di INGV; dall'analisi di questo catalogo possiamo rilevare che i terremoti aventi epicentro entro un raggio di circa 30 km dal centro abitato di Spresiano e con magnitudo $M_{aw} \geq 5$ sono i seguenti:

- anno 778 in Treviso con $M_{aw}=5.84$;
- anno 1268 nel Trevigiano con $M_{aw}=5.37$;
- anno 1284 nel Veneziano con $M_{aw}=5.18$;
- anno 1695 nell'Asolano con $M_{aw}=6.61$;
- anno 1756 in Treviso con $M_{aw}=5.03$;
- anno 1836 nel Bassanese con $M_{aw}=5.48$;
- anno 1860 nel Valdobbiadense con $M_{aw}=5.17$;
- anno 1861 nella zona di Castelfranco V.to con $M_{aw}=5.03$;
- anno 1887 nell'Asolano con $M_{aw}=5.17$;
- anno 1900 nel Valdobbiadense con $M_{aw}=5.22$.

La legenda della Tab. 1 è la seguente:

- **N** numero progressivo dei terremoti presenti nel catalogo CPTI04;
- **Tr** tipi di informazione che è alla base dei parametri;
- **Tempo origine (Anno, Me, Gi, Or, Mi, Se)** data in cui è avvenuto il sisma;
- **AE** denominazione dell'area dei massimi effetti;
- **Rt** codice dell'elaborato di riferimento;
- **Np** numero dei punti di intensità;
- **I_{max}** intensità massima;
- **I_o** intensità epicentrale
- **Lat, Long** coordinate in gradi sessadecimali del luogo dell'epicentro;
- **Magnitudo** sono state indicate tre alternative di magnitudo: *M_{aw}* con errore *D_{aw}* e tipologia di stima *TW*, *M_{as}* (calcolata sulle onde superficiali) con errore *D_{as}* e tipologia di stima *TS*, e infine *M_{sp}* (da utilizzare nella relazione di attenuazione di Sabetta Pugliese) con errore *M_{sp}* e tipologia di stima *D_{sp}*.
- **ZS9** è la zona sorgente cui l'evento è associato, secondo la zonazione sismogenetica ZS9, descritta nell'appendice 2 del rapporto conclusivo.

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (45.677, 12.157) e raggio 30 km

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	RE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	ZS9	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
19	DI	778						Treviso	CFTI	1	85	85		45.67	12.25	A	5.84	0.14		5.80	0.21		5.80	0.21			78		19
55	DI	1268	11	4				Trevigiano	CFTI	4	80	75		45.73	12.08	A	5.37	0.30		5.10	0.45		5.27	0.42	905	G	117	197	55
65	DI	1284	1	17	15	30		Venezia	CFTI	3	70	70		45.47	12.28	A	5.18	0.25		4.81	0.37		5.00	0.34			125	2001	65
105	CP	1365	3	4				VENETO	POS85			60		45.5	12		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36			2003	105	
211	DI	1511	3	28	12	15		Slovenia	CFTI	8	60	55		45.5	11.93	A	4.74	0.11		4.16	0.17		4.40	0.16		213		211	
216	CP	1516	3	9				VENEZIA	POS85			60		45.467	12.333		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36			2010	216	
415	DI	1695	2	25	5	30		Asolano	CFTI	82	100	95	M	45.8	11.95	A	6.61	0.11		6.61	0.11		6.61	0.11	905	G	276	204	415
470	CP	1719	12	16	18			TREVISO	OGS87			55		45.533	12.217		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19			2021	470	
551	DI	1756	4	13				TREVISO	DOM	1	65	65		45.669	12.244	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45			206	551	
813	DI	1836	6	12	2	30		BASSANO	DOM	26	80	75		45.807	11.823	A	5.48	0.13		5.26	0.19		5.42	0.18	906	G	389	207	813
909	CP	1857	3	10	3			PIEVE DI SOLIGO	POS85			55		45.9	12.1		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	905	G		208	909
918	DI	1859	1	20	7	55		COLLAIGO	DOM	36	70	65		45.893	12.103	A	4.97	0.16		4.50	0.24		4.71	0.22	905	G	411	209	918
924	CP	1860	7	19	15	38		VALDOBBIADENE	POS85			70		45.9	12.05		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	905	G		211	924
928	CP	1861	5	19	19	45		CASTELFRANCO	POS85			65		45.75	11.917		5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	905	G		212	928
1130	CP	1887	4	14	1	11	6	ASOLO	POS85			70		45.8	11.917		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	905	G		217	1130
1273	CP	1897	6	11	11	40	52	MONTEBELLUNA	POS85			60		45.817	12.033		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	905	G		221	1273
1325	DI	1900	3	4	16	55		VALDOBBIADENE	DOM	99	65	60		45.85	12.067	A	5.22	0.10		4.88	0.15		5.06	0.14	905	G		222	1325
1685	CP	1919	7	12	12	6		ASOLO	POS85			55		45.8	11.917		4.98	0.09		4.52	0.13		4.73	0.12	905	G		223	1685

Numero di record estratti: 18

Tab. n.1 - Terremoti avente epicentro entro un raggio di circa 30 km dal centro abitato di Paese, con magnitudo da $3.92 \leq Maw \leq 7.41$ (dal catalogo CPTI04)

Il sisma con maggiore intensità negli ultimi 2000 anni, con epicentro entro i 30 km circa di raggio è avvenuto il 25.02.1695 nell'asolano (il CPTI 15 lat. 45,861, long. 11,910 poco a Sud del cimitero di Cavaso del Tomba) con intensità epicentrale di 10 e magnitudo $Mw=6.4 \pm 0.10$. Il DBMI11 dell'INGV (Database Macrosismico Italiano 2011) di Fig.4 e 5 evidenziano la distribuzione delle intensità sismiche (scala MCS- Mercalli/Cancani/Sieberg1930) dei due terremoti di maggiore magnitudo negli ultimi 1000 anni (1695-1836), avvenuti nelle aree vicine al sito d'interesse. Nella località di Treviso è indicata un'intensità del sesto grado, per il sisma del 1695.

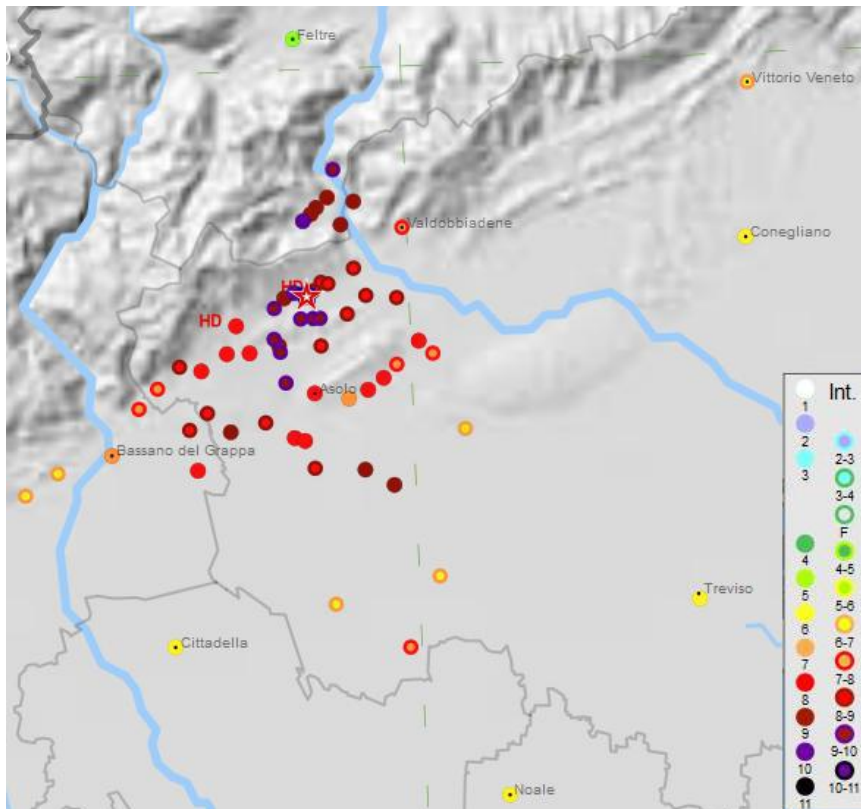


Fig. 4 - Distribuzione delle intensità dal terremoto del 1695 con epicentro a Cavaso del Tomba (TV).

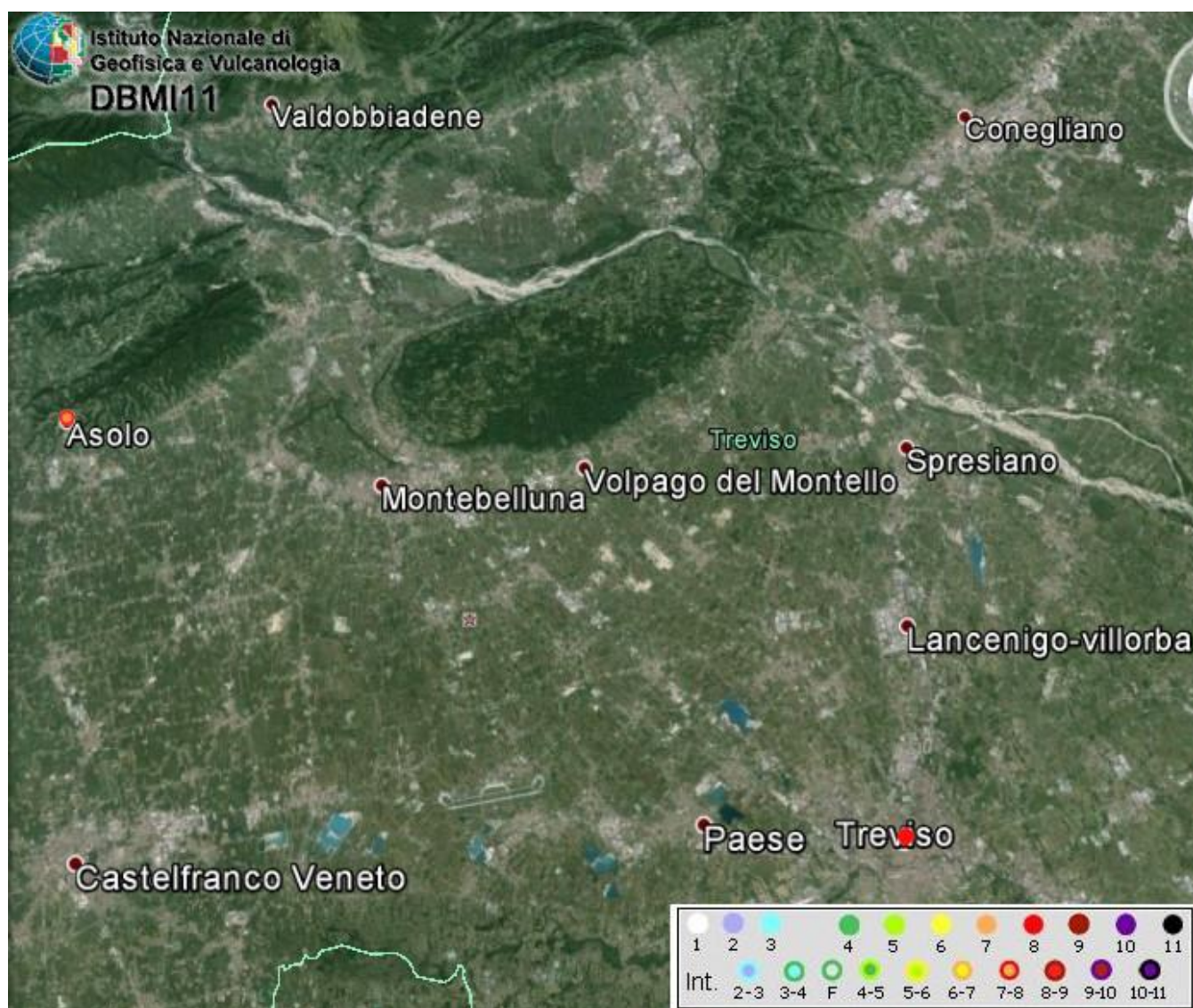


Fig. 5 - Distribuzione delle intensità dal terremoto del 1268 con epicentro nella zona di Trevignano (TV).

2.2 Faglie attive e capaci, e sorgenti sismogenetiche responsabili di terremoti

Il quadro sismotettonico disponibile sino alla metà degli anni '90 era dominato da un rilevante cilindrismo, con fronti di accavallamento, ritenuti attivi durante il Quaternario nella loro interezza, senza evidenze di segmentazione (v. Fig.6 Castaldini-Panizza). Da Sud a Nord si trattava del sovrascorrimento di Sacile, di quello di Aviano, del Bassano-Valdobbiadene e a Nord della linea di Belluno-sovrascorrimento periadriatico.

Verso la fine degli anni '90 sono iniziate delle ricerche geologico-strutturali, sul fronte pliocenico (7-1.5 milioni di anni fa) - quaternario (1.5 milioni all'attuale) nell'Italia Nord Orientale e sul suo potenziale sismogenetico; con tale studio sono stati ridefiniti l'architettura del fronte sepolto della pianura friulano-veneta, lo schema dei rapporti fra i sovrassorimenti paleocenici dinarici WSW-vergenti e quelli neoalpini SSE-vergenti e il quadro dell'evoluzione miocenica superiore-quaternaria dell'area.

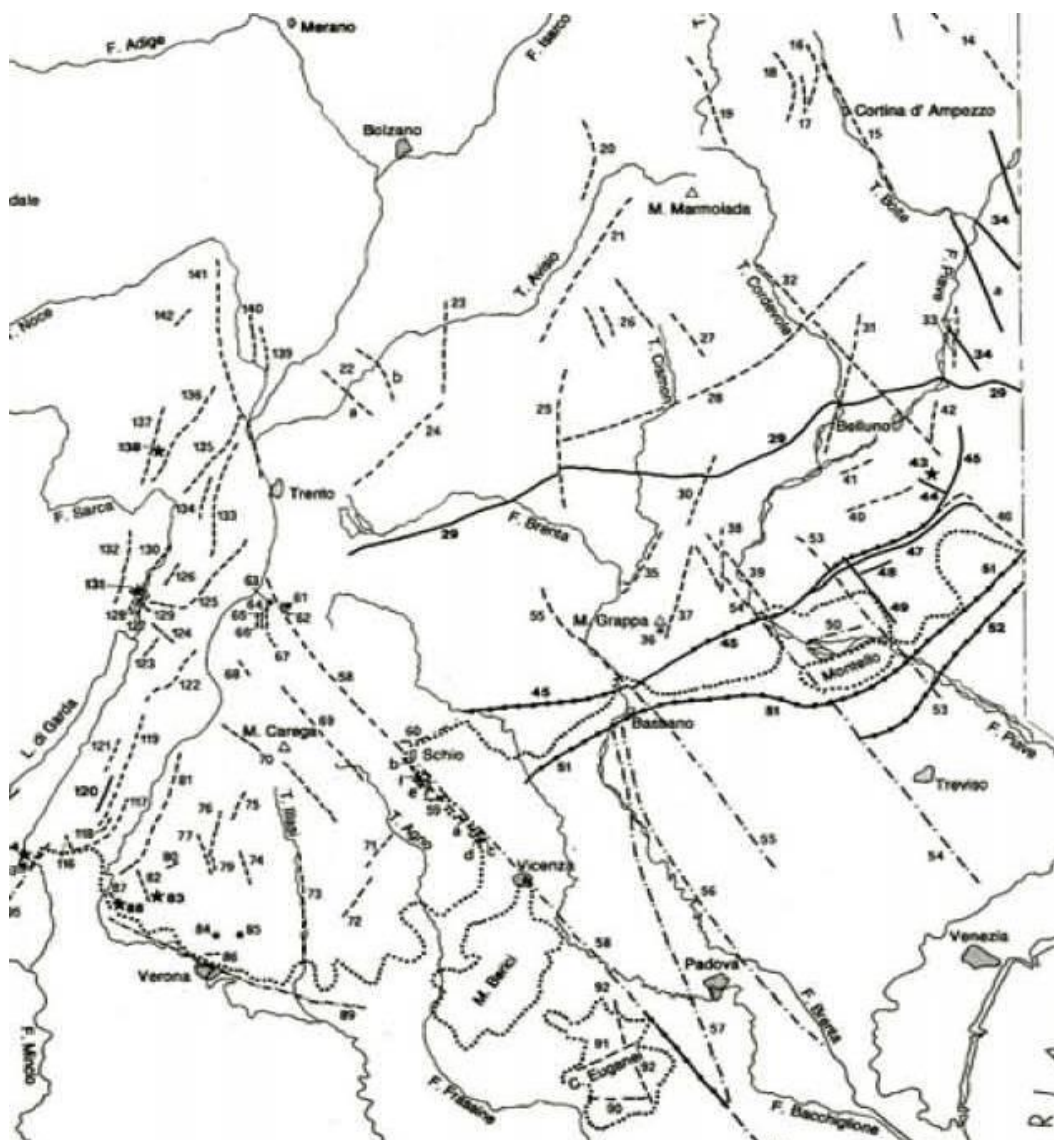


Fig. 6 - Carta generale delle faglie attive del Sudalpino centro-orientale
(da Castaldini-Panizza - 1991)

Lo schema strutturale aggiornato del fronte pliocenico-quadernario (v. fig. 7) evidenzia la segmentazione del fronte stesso in un sistema di “thrust” arcuati, in massima parte ciechi e spesso caratterizzati da rampe oblique, mediante le quali un “thrust” si accavalla lateralmente su un altro. Analisi morfotettoniche e neotettoniche applicate a tali strutture hanno permesso in vari casi di datarne l’attività e di definirne la cinematica quadernaria.

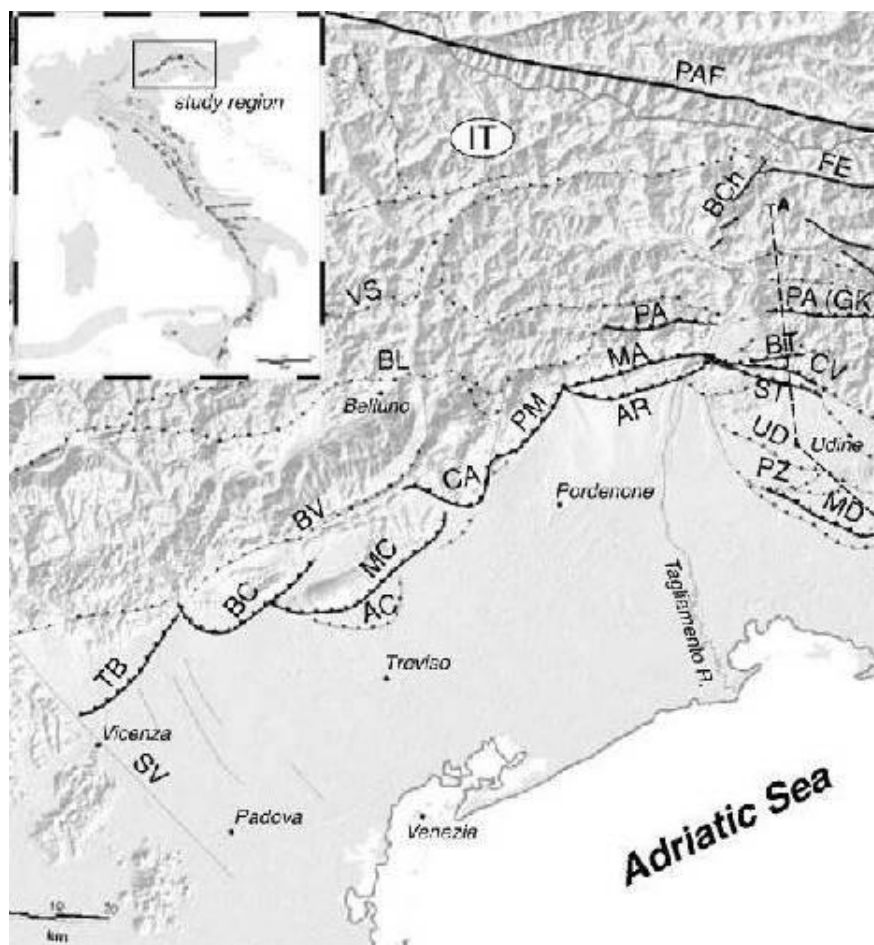


Fig. 7 - Schema strutturale semplificato del Sudalpino orientale (da Burrato e altri - 2009).
 Legenda: **BC**=sovrascorrimento Bassano-Cornuda; **BV**= sovr. Bassano-Valdobbiadene;
TB= sovr. Thiene- Bassano; **MC**: sovr. Montello-Conegliano; **AC**: sovr. Arcade.

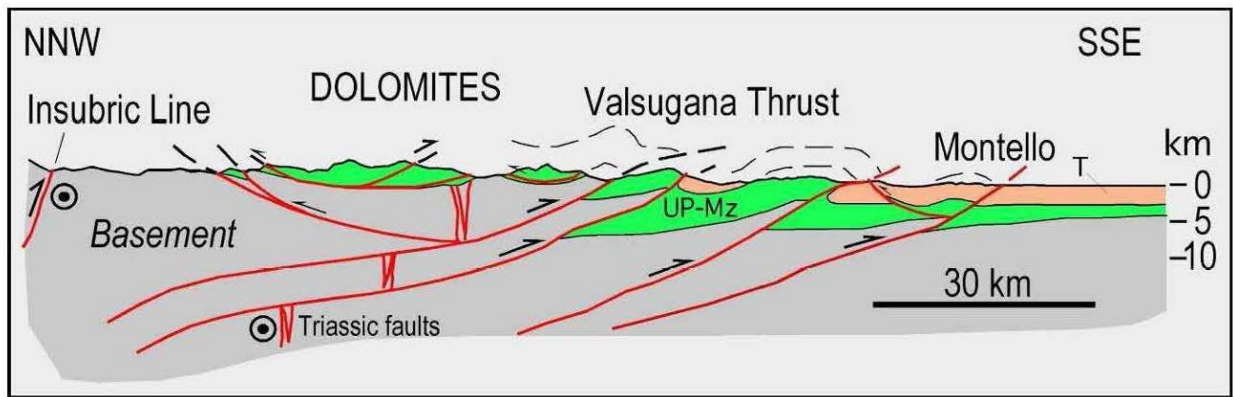


Fig. 18 - Sezione del ventaglio embriciato delle Alpi Meridionali, dalla Val Pusteria alla pianura veneta. Le Vette Feltrine, immediatamente a sud del *pop-up* delle Dolomiti, sono a letto del sovrascorrimento della Valsugana. UP-Mz, Permiano superiore-Mesozoico; T, Cenozoico (da DOGLIONI & CARMINATI, 2008).

Fig. 8 – Sezione geologico strutturale rappresentativi

La catena alpina è stata prodotta dalla convergenza della micro-placca Adriatica verso l'Europa; attualmente in corrispondenza del Veneto, il raccorciamento misurabile tramite GPS è dell'ordine di circa 2mm/anno, con una velocità di circa 2 km ogni milione di anni, compatibile con un raccorciamento di circa 20 km per gli ultimi 10 milioni di anni. In particolare nell'area in oggetto è stimabile in circa 1.7 mm/anno (v. fig. 9).

Accumulo di Deformazione Attraverso le Alpi Meridionali

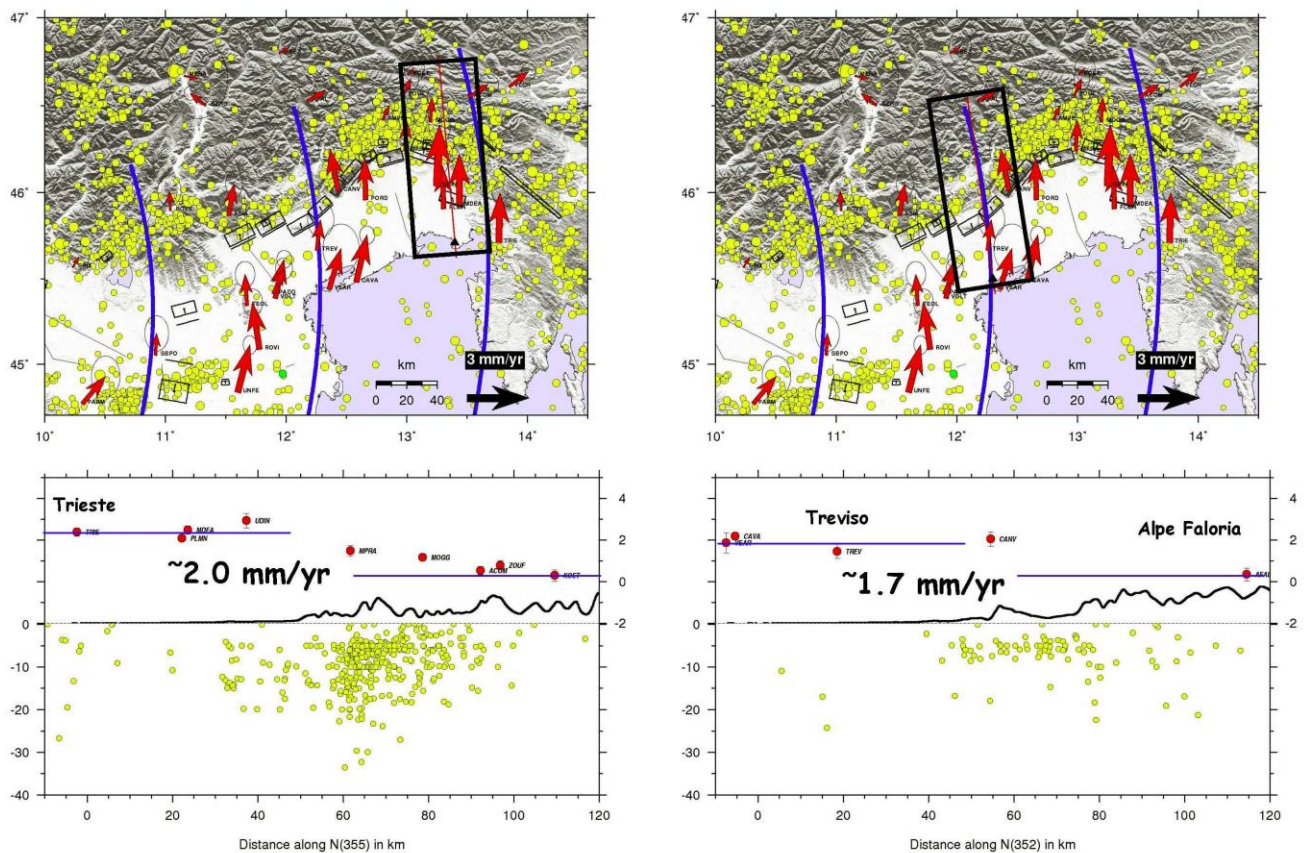


Fig. 9 - Accumulo di deformazione attraverso le Alpi Meridionali, con evidenziate l'area Trieste- Salzburg e Treviso-Belluno (E. Serpelloni –2008)

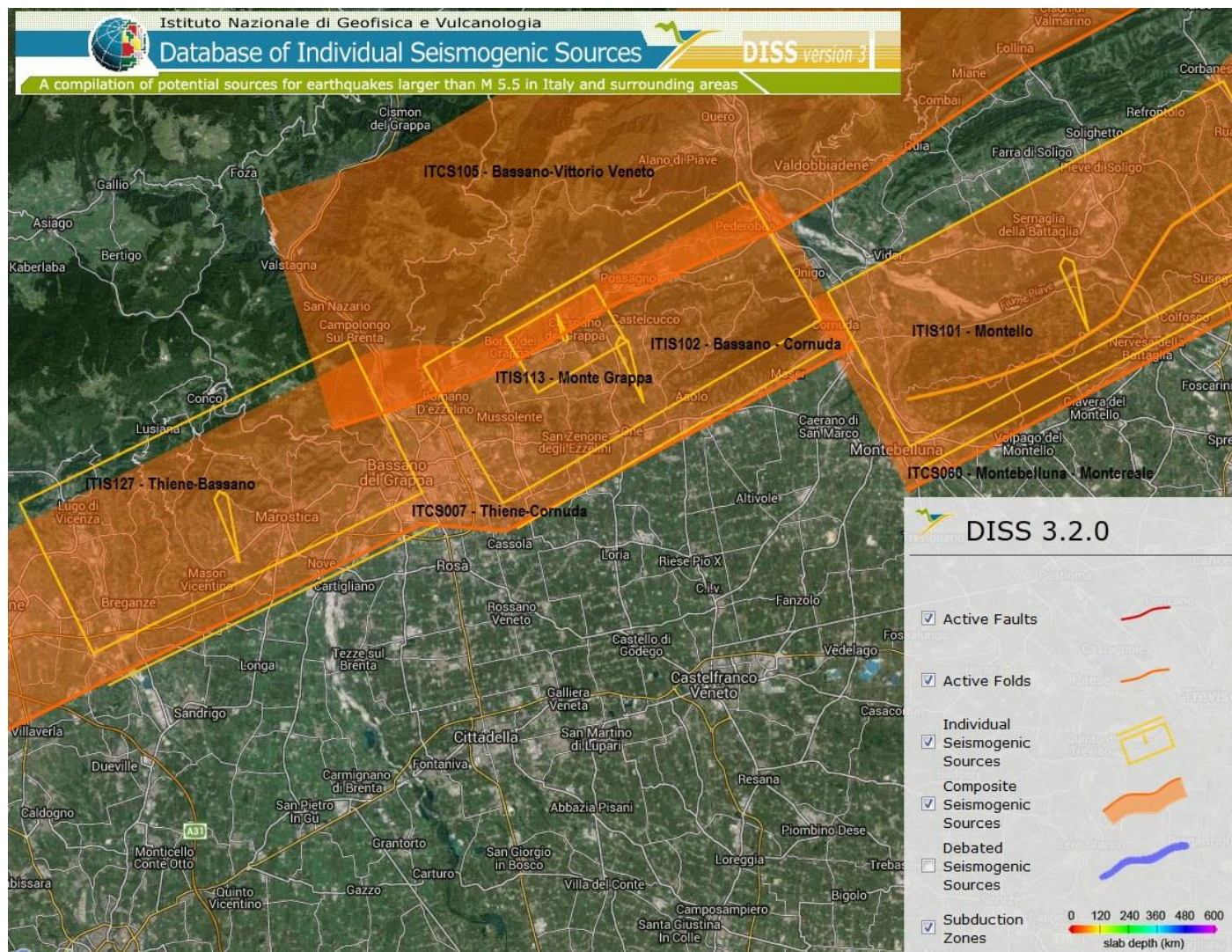


Fig. 10 - Sorgenti sismogenetiche del Vicentino-Trevisiano occidentale; le frecce gialle, all'interno dei rettangoli gialli (sorgenti individuali), rappresentano la direzione del vettore di movimento, vettore di slip sotto forma di angolo di rake (da DISS 3.2.0)

Il DISS 3.2.0 (*Database of Individual Seismogenic Sources versione 3.2.0*) dell'INGV (*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*) individua tre tipi di sorgenti sismogenetiche:

- Sorgenti Sismogenetiche dibattute: sono aree di sorgenti in fase di studio, presenti in letteratura ma ritenute ancora non sufficientemente attendibili (in Fig. 10 individuate con la linea azzurra)

- Sorgenti composite: sono zone molto estese, all'interno delle quali vi sono sorgenti sismogenetiche minori ancora non sufficientemente studiate. Queste aree non sono associate a specifici terremoti storici (in Fig. 10 individuate con un retino arancione).
- Sorgenti individuali: aree a cui sono associati specifici terremoti storici. Viene proposta una rappresentazione tridimensionale della faglia, e sono stabilite le caratteristiche di massima magnitudo, movimento ed estensione (in Fig. 10 individuate con un rettangolo giallo).

In figura n. 9 è rappresentato lo schema delle sorgenti sismogenetiche, accompagnati dalla proiezione in superficie del piano di rottura rettangolare. In particolare per l'area del vicentino e del trevigiano Nord-occidentale, evidenziamo tre sorgenti sismogenetiche :

- ITIS101 - Montello (Sorgente individuale) alla quale non è associato alcun terremoto significativo (zona silente), ed è associata alla sorgente sismogenetica composta ITCS060 Montebelluna-Montereale;
- ITIS113 - Monte Grappa (Sorgente individuale) a cui è associato il sisma del 12.06.1836 con epicentro nel Bassanese; appartiene alla sorgente sismogenetica composta ITCS007 - Thiene-Cornuda;
- ITIS102 - Bassano-Cornuda (Sorgente individuale) a cui è associato il sisma del 25.02.1695 con epicentro nell'Asolano; appartiene alla sorgente sismogenetica composta ITCS007 - Thiene-Cornuda;
- ITIS127 - Bassano-Thiene (Sorgente individuale) alcuni autori l'associano l'area al terremoto del 03.01.1117 con epicentro nel Veronese; appartiene alla sorgente sismogenetica composta ITCS007 - Thiene-Cornuda;
- ITCS105 – Bassano- Vittorio Veneto è una sorgente sismogenetica composta ancora in fase di studio.

In Tab.2 sono riportate le sorgenti sismiche di terremoti di $M \geq 6$ e i relativi parametri geometrici e cinematici. La struttura Montello-Conegliano sembra essere caratterizzata da comportamento silente, sulla base dell'assenza di terremoti storici riferibili alla sua attuazione, mentre per la Thiene-Bassano alcuni autori l'associano al terremoto del 03.01.1117 con epicentro nel Veronese.

ID	Name	LAT	LON	Length (km)	Width (km)	Depth (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Slip rate (mm/a)	Associated earthquake	M_w
ITIS127	Thiene-Bassano	45.69	11.54	18.0	9.5	1.0-5.8	244	30	80	0.10-1.00	Unknown	6.6
ITIS102	Bassano-Cornuda	45.75	11.79	18.0	9.5	1.0-6.4	240	35	80	0.70-0.87	25 Feb 1695	6.6
ITIS113	Monte Grappa	45.85	11.85	5.0	3.9	0.5-2.7	60	35	80	0.10-1.00	12 Jun 1836	5.5
ITIS101	Montello	45.88	12.31	22.0	11.2	1.0-8.2	242	40	80	0.47-1.56	Unknown	6.7
ITIS124	Cansiglio	45.98	12.41	10.0	6.4	1.5-6.4	214	50	60	0.52-0.65	18 Oct 1936	6.1

Tabella n. 2 - Caratteristiche sismogenetiche di alcune sorgenti di Fig.10

2.3 Principali faglie nell'area in studio

Nella Fig. 11 sono indicate le faglie attive dal progetto Ithaca (Italy Hazard from Capable Faults) aggiornato a Febbraio 2016. Si tratta di un progetto che si occupa di censire le faglie capaci, ovvero tali da poter creare deformazioni in superficie.

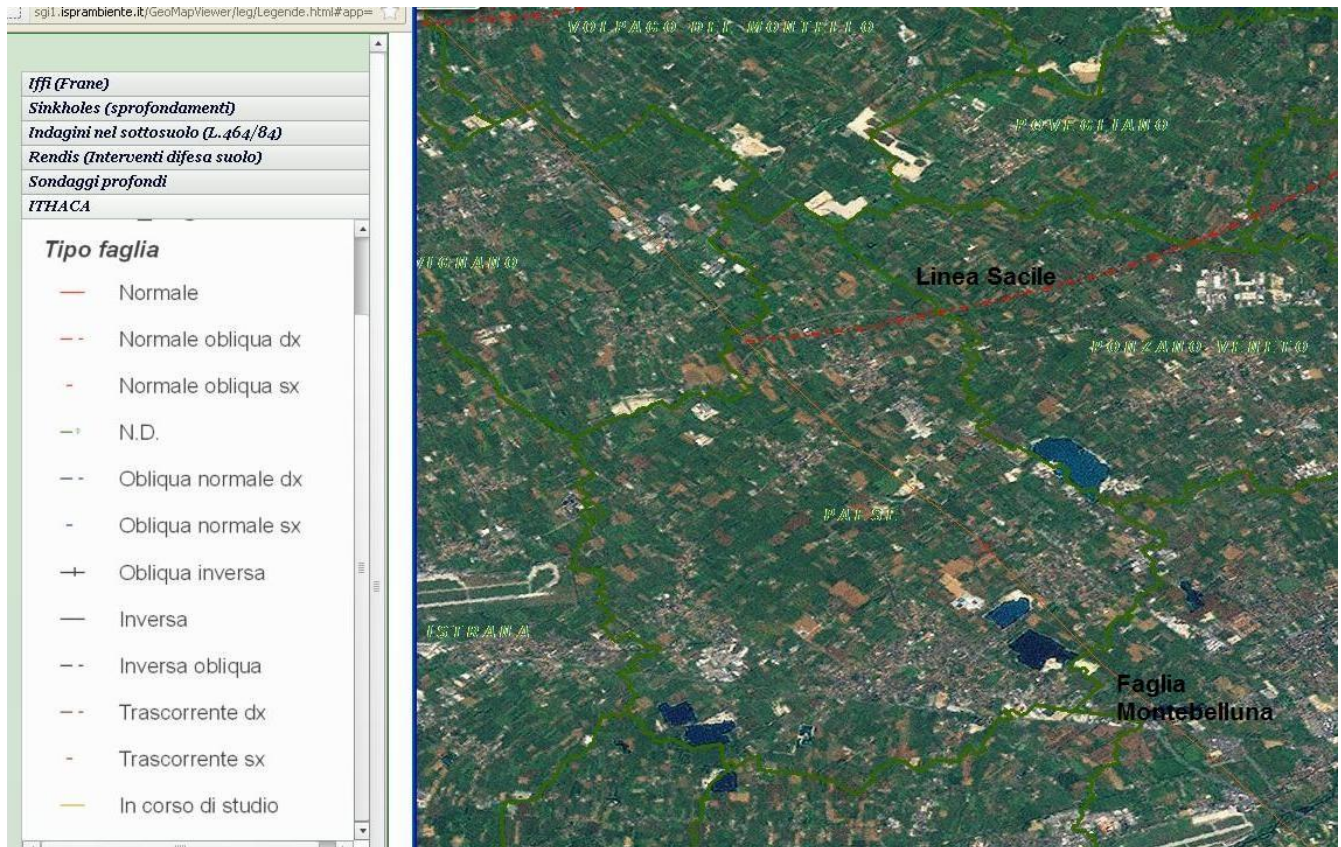


Fig. 11: Faglie attive nell'area di Paese dal progetto Ithaca (Italy Hazard from Capable Faults) – le linee verdi sono i confini comunali, quelle rosse/arancioni sono le faglie.

Le lineazioni che interessano il territorio del Paese è la “Faglia di Montebelluna” posta nella zona est del comune, con andamento NW-SE e la “Faglia di Sacile” posta nel settore settentrionale, con andamento ENE-WSW.

La presenza di “faglie attive” nelle vicinanze del territorio comunale, è stato effettuato da dati bibliografici, presenti nel progetto Ithaca (Italy Hazard from Capable Faults) e DISS 3.2.0:

NOME DELLA FAGLIA	ULTIMA ATTIVITA'	POSSIBILITA' CHE LA FAGLIA SI RIATTIVI IN FUTURO	TIPO DI FAGLIA
Faglia o Linea Sacile	Olocene (<10.000 anni)	(media)	inversa
Faglia Montebelluna	Olocene (<10.000 anni)	(bassa)	in corso di studio

Si sottolinea che l'individuazione delle faglie attive e capaci è di fondamentale importanza. Per faglia attiva si intende una faglia che si è rotta almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (limite inferiore certo dalle datazioni radiometriche). Una faglia attiva è detta capace se raggiunge la superficie producendo una frattura del terreno ovvero deformazioni in superficie; l'andamento di questa rottura in superficie è la superficie della faglia (v. cap. 3.1.4 *"Indirizzi e criteri di microzonazione sismica –2008 Conferenza Stato Regioni"*).

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Caratteristiche litologiche e geomorfologiche

L'area in esame appartiene alla media-bassa pianura Veneta, caratterizzata da lineamenti morfologici dolci e regolari. I caratteri originari tuttavia sono stati in gran parte obliterati dall'intenso modellamento antropico, iniziatisi con l'attività agricola e ampliatisi poi con lo sviluppo industriale.

La struttura geomorfologica del sottosuolo della pianura veneta è condizionata dalle caratteristiche granulometriche e strutturali del materasso alluvionale sciolto, e dalla successione stratigrafica notevolmente variabile sia arealmente che in profondità.

La pianura trevigiana è caratterizzata dalla presenza di due grandi conoidi che si interdigitano tra loro (chiamati anche megaconoidi o "megafan"): "megafan" di Montebelluna e di Nervesa. Il conoide di Montebelluna, che ha un raggio di 20 km ed una pendenza dello 0.6%, è in realtà formato da due conoidi tra loro "coalescenti": uno ha l'apice a Ovest della collina di Mercato Vecchio (Caerano), l'altro lo pone tra questa collina ed il Montello (Biadene). I due corpi hanno un'orientazione che va da nord a sud e la loro deposizione è cessata tra i 20.000 e i 18.000 anni fa. La depressione, che rappresenta il limite deposizionale, tra il "megafan" di Bassano e quello di Montebelluna, e che deriva dalla giusta opposizione dei due conoidi, è percorsa ora dal T. Muson, che con i suoi depositi ha portato al suo parziale colmamento. Il secondo "megafan", che interessa l'area in studio, è quello di Nervesa: è il più recente dei due conoidi, essendosi formato tra il Pleistocene superiore (circa 20.000 anni fa) e l'Olocene medio (circa 5000 anni fa), ad ovest ricopre la porzione terminale del conoide di Montebelluna e ad est si estende con sedimenti ghiaioso-sabbiosi sino ad Oderzo, a ridosso del F. Livenza e si prolunga verso la laguna con il conoide di Bassano. Il territorio comunale di Spresiano è costituito dai conoidi ghiaiosi fluvio-glaciali, originatisi allo sbocco della valle alpina del Piave ("megafan" di Nervesa). Le varie direttrici di divagazioni del F. Piave hanno generato dei propri conoidi di sedimentazione che si sono variamente sovrapposti e anastomizzati. La deposizione dei materiali, orizzontale e verticale, è stata determinata dalla granulometria degli stessi, nonché dall'energia idraulica delle correnti di deposizione.

Nell'area in esame affiorano terreni costituiti da depositi alluvionali, più o meno recenti, connessi principalmente alle divagazioni del F. Piave.

Le varie direttrici hanno pertanto generato dei propri conoidi di sedimentazione che si sono variamente sovrapposti e anastomizzati. La deposizione dei materiali, orizzontale e verticale, è stata determinata dalla granulometria degli stessi, nonché dall'energia idraulica delle correnti di deposizione. Lo spessore complessivo delle ghiaie diminuisce da monte a valle: i singoli letti ghiaiosi si assottigliano sempre più e la maggior parte di essi si esaurisce entro i materiali limoso-argillosi. In profondità sono presenti livelli ghiaiosi cementati, conglomeratici, connessi probabilmente a stasi tra le fasi costruttive di questi depositi (decalcificazione superficiale e cementificazione carbonatica in profondità).

3.2 Caratteristiche idrogeologiche

La circolazione idrica sotterranea del territorio comunale è condizionata dalle caratteristiche granulometriche e strutturali del materasso alluvionale. In quest'ultimo è presente una falda, la cui alimentazione è soprattutto legata, oltre alla ricarica meteorica, alle dispersioni del F. Piave, che in zona scorre su alluvioni ad elevata permeabilità.

Il sottosuolo è solcato soprattutto dai paleoalvei del F. Piave che, in epoca geologicamente recente, ha più volte cambiato il suo percorso determinando delle zone con terreni a permeabilità differenziata.

L'elemento idrografico che risulta di gran lunga il più importante dell'alta pianura trevigiana è il Fiume Piave; le caratteristiche principali del suo bacino idrografico che si chiude a Nervesa (circa 70 metri s.l.m.) sono:

- superficie geografica.....kmq	3.899
- lunghezza asta principale.....km	156
- altitudine massima.....mt	3.342
- altitudine media.....mt	1.276

Sul totale della superficie di bacino si ha una superficie permeabile pari al 77%.

Lungo tutto il tracciato del Fiume Piave esistono laghi naturali, artificiali e numerose derivazioni ad uso generalmente irriguo che ne modificano il regime; tra le derivazioni principali sulla riva destra ricordiamo quella del canale Brentella di Pederobba che preleva circa 46 mc/sec. ed il canale della Vittoria che, presso Nervesa, preleva in media circa 26 mc/sec. La portata media annua del Fiume Piave, nel periodo 1967-1971 è stata di 80 mc/sec.; le portate medie mensili raggiungono valori massimi nei mesi di Maggio e Giugno, in corrispondenza del regime pluvio-nivale di tipo prealpino, inoltre piene si hanno anche nel periodo autunnale. Le magre del fiume si manifestano durante il periodo estivo ed invernale, quando generalmente si prolungano sino ad Aprile; a volte le magre estive sono interrotte da morbide intense nel bacino montano.

La presenza di materiali prevalentemente grossolani permette, come accennato, l'esistenza di una potente falda idrica a carattere freatico.

L'acquifero indifferenziato ha una notevole continuità laterale in senso Est-Ovest; numerosi studi hanno dimostrato che l'alimentazione dell'acquifero nell'alta pianura trevigiana avviene prevalentemente in seguito a dispersioni del subalveo del F. Piave, quantificate in circa 29 mc/sec (valore medio annuo) da A. Dal Prà – L. D'Alpaos; secondariamente contribuiscono le precipitazioni efficaci, le irrigazioni ed i deflussi provenienti dalle zone pedemontane lungo paleoalvei sepolti. I fattori di alimentazione naturali delle falde sono individuabili nella dispersione dei corsi d'acqua, nella infiltrazione diretta degli afflussi meteorici e nella infiltrazione dei ruscellamenti dai versanti posti ai limiti settentrionale e occidentale della pianura Veneta.

Il fattore di ricarica più importante è la dispersione di subalveo dei corsi d'acqua. Il processo inizia allo sbocco in pianura delle valli montane e prosegue per vari chilometri verso valle. Lungo i tronchi d'alveo disperdenti la carta delle isofreatiche fa rilevare marcatissimi assi di alimentazione. L'alimentazione per dispersione d'acqua dagli alvei al sottosuolo determina tutta una serie di caratteri peculiari nelle falde: una strettissima analogia tra il regime dei corsi d'acqua e quello degli acquiferi sotterranei; una maggiore oscillazione della falda a ridosso dei tratti disperdenti; direzioni di deflusso della falda divergenti lateralmente dai letti fluviali. Il processo di dispersione è messo in risalto dalla mancanza di deflussi superficiali in

alveo per estesi periodi dell'anno lungo buona parte dei tronchi disperdenti. Il fenomeno si verifica quando le portate di magra sono interamente assorbite dal sottosuolo allo sbocco del fiume in pianura, una situazione che si verifica quasi ogni anno per il Piave. L'importanza del processo di dispersione nella ricarica naturale degli acquiferi sotterranei è valutabile dalle dimensioni delle portate disperse e dal confronto tra queste e i valori delle portate di alimentazione attribuibili agli altri fattori. Il Piave, lungo il tratto disperdente tra Nervesa e le Grave di Papadopoli, con una portata media annua in entrata dell'ordine di 80 mc/sec, disperde circa 29 mc/sec, pari a 2.3 mc/sec per chilometro. Portate in ingresso di 8-10 mc/sec si disperdono interamente nel sottosuolo. A valle del tratto disperdente la portata di riassorbimento non varia sensibilmente al variare della portata fluente in alveo, essendo influenzata soprattutto dal regime dell'acquifero drenato. La portata media annua riassorbita è di 12-14 mc/sec.

Le precipitazioni efficaci sono un altro fattore di alimentazione naturale della falda freatica. Generalmente il regime delle precipitazioni ha un'importanza fondamentale per l'alimentazione di un sistema idrogeologico; nel nostro caso l'influsso del F. Piave e l'apporto irriguo rendono l'apporto meteorico un fattore di alimentazione secondario. Da valutazioni eseguite nella pianura trevigiana risulta che la portata media di precipitazioni immessa nel terreno è di circa 11 mc/sec.

Un contributo importante all'alimentazione delle falde è fornito dall'infiltrazione delle acque irrigue, il cui uso è ancora ampiamente diffuso nella pianura del Piave. Le irrigazioni forniscono al sottosuolo ghiaioso dell'alta pianura infiltrazioni fino al 30-40% delle acque immesse. Il contributo alle falde operato da questo fattore per la sola area di pianura tra Piave e Brenta è stato stimato pari a circa 15-18 mc/s.

Nel territorio comunale bassi valori della profondità della superficie della falda freatica sono riscontrabili nella zona meridionale del territorio comunale, mentre aumenta gradualmente verso nord.

Valori della superficie della falda al di sotto dei 20 metri dal piano campagna sono presenti nella zona centro meridionale, a sud dell'abitato di Porcellengo. La superficie della falda freatica è inevitabilmente soggetta a variazioni di quota corrispondenti ai periodi di magra e morbida dell'acquifero, legati alla stagionalità e alle variazioni di ricarica. Nel territorio in esame vi sono valori freatimetrici storici in un pozzo posto in località Castagnole di Paese. Nel pozzo "Castagnole", nel periodo 1934-1973, la profondità minima della falda è stata 19.07 mt s.l.m., e la massima di 22.12 mt s.l.m.. Riscontriamo perciò un'escursione massima stimata della falda di oltre 3.05 metri.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

I dati geotecnici e geofisici recuperati da indagini eseguite nel territorio comunale (indagini di enti pubblici e ditte private) sono carenti di parametri geotecnici e geofisici. Allo scopo di definire le caratteristiche sismiche del sottosuolo sono state eseguite HVSR, MASW e ReMI.

4.1 Parametri geotecnici

Si sono reperiti parametri geotecnici da prove penetrometriche statica con punta meccanica (CPT), da prove penetrometriche dinamiche (DP), da prove SPT e da analisi granulometriche, tutti i dati sono stati cartografati nella "Carta delle Indagini", nella quale sono stati inseriti i parametri geotecnici rilevati. Queste prove sono state realizzate in corrispondenza del litotipo "GMfg" (ghiaie in matrice sabbiosa, debolmente limosa, e ghiaie a volte cementate in profondità di origine fluvioglaciale). I dati sono rappresentati negli allegati.

4.2 Prove geofisiche

La normativa prevede il calcolo del parametro Vs30, indicando come metodologia di elezione la misura della velocità delle onde di taglio ed in subordine la prova SPT e, nei mezzi coesivi, il valore della cu. Detto parametro si calcola attraverso la relazione:

$$Vs_{30}=30/\sum_{i=1,N} h_1/V_1$$

dove h1 e V1 indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}\%$) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori. Si ricorda che la velocità delle onde di taglio (Vs) è quella che meglio di ogni altro parametro fisico caratterizza i materiali dal punto di vista del loro comportamento meccanico.

In modo più coerente con le caratteristiche dei processi fisici responsabili dei fenomeni di amplificazione del moto sismico, le "Linee Guida per la Microzonazione Sismica - 2008" hanno individuato (per la definizione di carte di II livello) parametri dinamici simili ma con importanti differenze in merito:

- Andamento della velocità delle onde S (Vs) fino al basamento, ovvero fino alla profondità alla quale le velocità $V_s > 800$ m/sec: questa informazione viene utilizzata per dedurre il valore medio di Vs fino al basamento sismico.
- In assenza di questa informazione, valore del periodo proprio (frequenza di risonanza) delle coperture, accompagnato da una stima affidabile della profondità del substrato geologico, oppure da una stima della velocità media V_{SH} delle onde S fino al primo contrasto significativo nei valori di impedenza sismica, purchè questo corrisponda ad un transazione brusca ad un substrato da $V_s > 600$ m/sec.

In questo studio sono stati perciò realizzati profili ReMi, Masw, e test di Nakamura (HVSR), per la misura della curva di risposta elastica del terreno ovvero per i seguenti obiettivi:

- ricostruire la stratigrafia sismica del sottosuolo;

- stimare il profilo della velocità delle onde di taglio (V_s) per fornire indicazioni della categoria di suolo di fondazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14.01.2008);
- caratterizzare le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica effettuate possono restituire si basa sul contrasto d'impedenza. Per strato s'intende un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le prove a stazione singola (HVSR) sono state effettuate ponendo il Nord strumentale secondo il Nord geografico. Nella elaborazione dei dati, sono stati eseguiti prima gli array (ReMi e MASW), in quanto servono da vincolo per l'inversione delle curve H/V, derivanti dalle prove a stazione singola (HVSR). Si sottolinea che le tecniche in array, si fondano sull'assunto di sottosuolo a strati piani e paralleli; questo è un requisito fondamentale per l'inversione dei dati sperimentali. Al fine di verificare se l'assunto sia o meno soddisfatto è buona norma effettuare alcune registrazioni a stazione singola in punti diversi lungo lo stendimento, o ripetere le misure ReMi lungo altre direzioni e confrontare le curve di dispersione ottenute.

4.2.1 Indagine sismica mediante la tecnica dei microtremori "ReMi"

Le tecniche correntemente usate per la stima della velocità di taglio per caratterizzare un sito sotto il profilo della risposta sismica sono troppo costose per essere impiegate come indagine di routine negli studi di microzonazione. In particolare esse richiedono l'adozione di sorgenti di elevata energia per essere significative in ambienti rumorosi, come quelli urbani, o registratori indipendenti da disporre in estesi stendimenti.

La tecnica qui adottata (ReMi = Refraction Microtremor) si basa sulla constatazione che le registrazioni del rumore di fondo ambientale, fatte con uno stendimento sismico "tradizionale" per rifrazione, possono essere utilizzate, con un opportuno trattamento numerico, per stimare la velocità delle onde di taglio V_s fino a profondità che possono essere superiori a 100 metri con una precisione del 20%. Questa metodologia studiata e sperimentata da J.N. Louie del Seismological Laboratory and Dept. Of Geological Sciences dell'Università del Nevada, si basa su due idee cardine, la prima delle quali è quella che molti sistemi di acquisizione di sismica a rifrazione (con dinamica a 24 bit) sono in grado di registrare onde di superficie con frequenze fino a 2 Hz, la seconda è quella che una semplice trasformata bidimensionale ($p-f$) *slowness* ($1/velocità$) – *frequenza* della registrazione di un rumore di fondo (*microtremor*) è in grado di separare le onde di Rayleigh da altri tipi di onde che compongono il sismogramma rendendo possibile il riconoscimento delle vere velocità di fase dalle velocità apparenti.

Il profilo verticale delle V_s può essere ricavato per inversione monodimensionale o per modellazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie (Rayleigh e/o Love) (Dorman e Ewing, 1962). Le onde di Rayleigh (1885) costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione (P-waves) e di taglio verticali (Sv-waves).

Tali onde sono presenti in natura e sono conosciute con il termine di microtremori. Possono venire accuratamente captate ed analizzate nei loro contenuti cromatici ed energetici con un array geometrico lineare simile a quelli utilizzati nella prospezione sismica classica. In un

mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo e vengono definite pseudo-Rayleigh.

La dispersione è un fenomeno indotto dalla deformazione del treno d'onda che produce una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Le registrazioni ottenute sono state analizzate con la seguente metodologia:

- 1) la traccia originaria di circa dieci minuti di durata, viene suddivisa in finestre di 10 secondi;
- 2) su ciascuna finestra viene eseguito lo slant-stack per valori diversi di V_s e la trasformata di Fourier, ottenendo così un diagramma “velocità di fase dell'onda di Rayleigh” – “frequenza”, il cui massimo energetico indica la curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh. Poiché la direzione prevalente (se esiste) delle sorgenti di microtremore non è individuabile in modo univoco da uno stendimento lineare, per evitare di restituire la velocità apparente, il picking della curva di dispersione nei grafici a contouring va effettuato al di sotto della fascia di massima energia.
- 3) si conservano le sole finestre utili (eliminando quindi quelle in cui compaiono eventualmente solo modi superiori).
- 4) si produce una curva di dispersione media che può essere invertita tramite confronto con una curva di dispersione teorica derivante da un modello di sottosuolo che va modificato fino ad ottenere una buona somiglianza tra curva sperimentale e teorica.

Per l'acquisizione di questo tipo di dati è stato utilizzato il software SoilSpy Rosina.

Operativamente sono stati realizzati due stendimenti e utilizzati geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz), con spaziatura di tre metri, la lunghezza dell'array è di 21 metri. Nello studio del sito in questione è stata adottata la tecnica sopradescritta e l'elaborazione dei dati è stata facilitata dall'uso di un software dedicato denominato *Grilla*.

4.2.2 Indagine sismica mediante la tecnica “MASW”

Il metodo d'indagine MASW, basato su un'energizzazione sismica artificiale del suolo e sull'analisi spettrale delle onde di Rayleigh presenti nel segnale, consente di ricostruire il modello sismostratigrafico del sottosuolo. La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei, non esiste più un'unica velocità, ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione, a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda che interessano il terreno a diverse profondità e che risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche. Questo comportamento viene definito “dispersione” ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie.

Le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno a interessare il terreno più in profondità, quelle più piccole, che sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze alla superficie. Lo studio dello spettro della velocità derivante dall'analisi di un sismogramma registrato, consente di definire la “curva di dispersione” che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è estraibile (picking) dallo spettro del segnale, poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

In particolare, utilizzando specifiche tecniche di analisi spettrale risulta possibile identificare non solo il modo di vibrazione fondamentale, ma anche gli eventuali modi superiori e definire le curve di dispersione. Queste curve andranno interpretate ed invertite, per ricavare informazioni utili sul profilo di velocità nel sottosuolo. La profondità d'investigazione dipende dalla massima lunghezza d'onda misurata, questa determina la massima profondità di esplorazione. A parità di velocità di propagazione " V_R " la lunghezza d'onda (λ) dipende dalla frequenza (f) di vibrazione considerata $\lambda = V_R / f$. Quindi la massima lunghezza d'onda misurabile dipende dalla minima frequenza osservabile. L'esperienza mostra che le sorgenti artificiali risultano povere delle basse frequenze, in pratica, scendere sotto i 10 Hz è assai difficile e implica che lunghezze d'onda maggiori di 40-50 metri (e quindi $h > 30$ metri) sono difficilmente utilizzabili con sorgenti artificiali. Una stima conservativa della profondità d'investigazione indica un valore pari a circa 1/3-1/2 della massima lunghezza d'onda misurabile, quindi la profondità massima raggiungibile è dell'ordine della grandezza delle dimensioni dello stendimento. Per superare questo problema si utilizzano le sorgenti e/o vibrazioni naturali o antropiche (tecniche passive, esempio ReMi – HVSR).

La tecnica MASW sottintende un metodo interpretativo indiretto attraverso il quale, a partire dalla curva di dispersione rilevata, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici. La procedura è articolata in tre passi successivi:

- acquisizione, registrazione e analisi dei dati sismici, contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;
- individuazione sullo spettro, della curva di dispersione funzione delle caratteristiche geosismiche del terreno;
- inversione, ovvero reiterazioni successive per la definizione di un modello geosismico finale, le cui caratteristiche (densità e V_s) meglio si approssimano a quelle reali.

Dal punto di vista esecutivo, le acquisizioni sono state effettuate con stendimenti lineari, in cui i geofoni sono collocati su una linea retta, ad una distanza reciproca costante, determinata dalle condizioni geologiche e logistiche. E' importante che non vi siano variazioni stratigrafiche laterali nell'ambito della lunghezza dello stendimento e che lo stesso non subisca brusche variazioni di quota. La sorgente è stata posizionata esternamente allo stendimento (prima del primo geofono G1), e sempre in asse con esso. Per l'acquisizione di questo tipo di dati è stato utilizzato il software SoilSpy Rosina.

Operativamente è stato realizzato uno stendimento e utilizzati geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz), con spaziatura di tre metri, la lunghezza dell'array è di 21 metri. Nello studio del sito in questione è stata adottata la tecnica sopradescritta e l'elaborazione dei dati è stata facilitata dall'uso di un software dedicato denominato *Grilla*.

4.2.3 Indagine sismica mediante la tecnica “HVSr” a stazione singola

La tecnica di indagine adottata a supporto di questo studio è conosciuta come *metodo di Nakamura* (1989), dal nome dello scienziato giapponese che l'ha messa a punto, parte dal presupposto che:

1. Il rumore ambientale è generato da riflessioni e rifrazioni di onde di taglio con gli strati superficiali e dalle onde di superficie;
2. Le sorgenti di rumore superficiale non interessano il rumore ambientale alla base di una struttura non consolidata;
3. Gli strati soffici non amplificano la componente verticale del rumore ambientale: questo è composto da onde di superficie tipo Rayleigh generate dall'interazione del vento con le strutture, dal traffico e da altre attività urbane.

Le funzioni di trasferimento **SE** e **AS** che sono rispettivamente l'effetto intrinseco di sito e l'effetto della singola onda Rayleigh possono essere definite come:

$$SE=Hs/Hb \quad As=Vs/Vb$$

dove **H** e **V** sono gli spettri per le componenti orizzontali e verticali delle registrazioni di rumore ambientale alla superficie (s) o al top del basamento rigido.

Gli effetti di sito, che non comprendono il contributo della sorgente, sono definiti da **SM** come:

$$SM= Se/As \quad \Leftrightarrow \quad SM=HsVb/VsHb$$

Nakamura e Theodulidis *et al.* (1996) hanno dimostrato che gli spettri delle componenti verticali (Vb) e orizzontali (Hb) sono equivalenti al top del basamento rigido:

$$\text{se } Hb/Vb = 1 \text{ allora } SM= Hs/Vs$$

Alla fine quindi, gli effetti di sito **SM** (ampiezza del rapporto spettrale) posso essere espressi come *rapporto spettrale delle componenti orizzontali e verticali del rumore ambientale alla superficie del suolo*. In conclusione questa affermazione implica che una stima della risposta del terreno in un determinato sito può essere ottenuta con un singolo sismometro a tre componenti. Esperienze di campagna hanno dimostrato che registrazioni di una quindicina di minuti per sito sono sufficienti per fornire risultati stabili nei differenti contesti urbani. Le curve H/V possono essere convertite dal dominio H/V - frequenza, al dominio Vs - profondità, tramite inversione vincolata. Nel caso presente il vincolo è fornito dalla Vs del primo strato riferita dalle indagini in array. Più in generale il vincolo è costituito dalla profondità di un riflettore sismico nota tramite prove dirette (sondaggio/ penetrometria / geofisica indipendente) il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V. A partire da questo elemento noto si genera una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato) e si considera per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. Nei siti in esame si è correlato i valori di picco, degli spettri di risposta HVSr, con le frequenze fondamentali di risonanza del sito. Si sono ricavate le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica, interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH.

Le misure di microtremore ambientale HVSr sono state effettuate per mezzo di un tomografo digitale portatile progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino, Micromed spa) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente.

Le caratteristiche di tutte le misure effettuate HVSR sono le seguenti:

- terreno di misura naturale, non artificiale o compattato, e privo di vegetazione;
- condizioni meteorologiche buone senza la presenza di vento;
- orientamento dello strumento parallelo alla dorsale;
- durata di registrazione 20 minuti;
- frequenza di campionamento 128 Hz;
- lunghezza finestre 30 secondi;
- tipo di lisciamento triangolare;
- lisciamento al 10%.

I risultati delle prove H/V sono stati classificate sia con i “criteri SESAME 2004”, sia con quelli “Albarelli et al. 2010”. Quest’ultimo metodo non interpreta la curva in chiave geologico-stratigrafica, che può essere eseguita invece con i criteri SESAME. Nella classificazione “Albarelli et al. 2010” si distinguono tre classi di qualità: “A”, “B”, “C”.

Le caratteristiche di queste classi sono le seguenti:

- **Classe “A”** : curva H/V affidabile e interpretabile; può essere utilizzata anche da sola e deve avere:
 - a. la forma dell’H/V nell’intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (*stazionarietà*);
 - b. le variazioni azimuthali di ampiezza non superano il 30% del massimo (*isotropia*);
 - c. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda delle frequenze di interesse (*assenza di disturbi*);
 - d. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (*plausibilità fisica*);
 - e. i criteri SESAME per una curva H/V attendibile (primi tre criteri) sono verificati (*robustezza statistica*);
 - f. la misura è durata almeno 15/20 minuti (*durata*).

ECCEZIONE: misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico profondo (tipicamente > 1 km) possono non mostrare alcun picco statisticamente significativo della curva H/V nell’intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, a causa dell’assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. In questi casi, in cui la curva H/V apparirà piatta e con ampiezza circa pari a 1, il criterio “e” risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile. In questo solo caso la misura può ricadere nella classe “A”, ma si consiglia di ripetere la misura per confermare l’effettiva assenza di massimi significativi.

- **Classe “B”** : curva H/V sospetta (da interpretare); va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze e deve avere:
 - a. almeno una delle condizioni della classe “A” non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell’ECCEZIONE citata per la classe “A”.
- **Classe “C”** : curva H/V scadente e di difficile interpretazione; non va utilizzata. Essa può presentare:
 - a. misura tipo “B” nella quale la curva H/V mostra un’ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura;
 - b. misura tipo “B” nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico nell’intervallo di frequenze di potenziale interesse.

Per le classi “A” e “B” si possono pertanto definire due sottoclassi delle classi precedenti, ossia:

- **Tipo 1** : Presenta almeno un picco “chiaro” secondo i criteri SESAME (parte 2):
possibile risonanza.

- **Tipo 2** : Non presenta picchi “chiari” nell’intervallo di frequenze d’interesse: *assenza di risonanza.*

4.2.4 Analisi delle risultanze

Sono state eseguite misure n.36 misure HVSR: la n. 7, 10 e 16 erano di difficile interpretazione, per cui sono state ripetute in giorni e orari diversi. Inoltre sono state eseguite n.14 stendimenti MASW e n. 14 ReMi.

Le tecniche in array (es. MASW e ReMi) usate si fondano sull’assunto di sottosuolo a strati piani e paralleli. Questo è un requisito fondamentale per l’inversione dei dati sperimentali. Al fine di verificare se l’assunto sia o meno soddisfatto è buona norma effettuare alcune registrazioni a stazione singola in punti diversi lungo lo stesso stendimento. Essendo il metodo a stazione singola particolarmente sensibile, nei primi metri, alla stratigrafia “puntuale” sotto il punto di misura, eventuali differenze tra curve registrate in punti vicini sarebbero indicative di sottosuolo non assimilabile a strati piani e paralleli. L’inversione delle curve di dispersione è stata effettuata congiuntamente a quella delle curve H/V, pertanto il modello di Vs è stato dato dal miglior “fit” con le curve di dispersione MASW e/o ReMi e H/V.

➤ **Sito n.1**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR1, in quanto è possibile tararla con il SEV 2 e con la stratigrafia del pozzo per acqua 2a/b. Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell’intervallo da 1 a 20 Hz. Vi sono modeste frequenze di risonanza a 2.2 Hz con ampiezza di 1.36, e 11.7 Hz con ampiezza di 1.66 .

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
2	220
5	300
37	430
0	680

➤ **Sito n.2**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW1, una ReMi1, e una HVSR2. L’utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile. Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 17 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella ReMi..

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o

meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. Vi sono due modeste frequenza di risonanza a 2.42 Hz con ampiezza di 1.5, e a 23 Hz con ampiezza di 1.56.

L'esito delle analisi ReMi1 e MASW1 è rappresentato dal contouring a colori. La curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh nel modo fondamentale della ReMi risulta abbastanza visibile nell'intervallo tra circa 13 e 50 Hz, mentre nella MASW è maggiormente definibile da 30 a 50 Hz.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
2.5	230
38	410
0	700

➤ **Sito n. 3**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR3.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. Vi sono due modeste frequenza di risonanza a 2 Hz con ampiezza di 1.7, e a 14.2 Hz con ampiezza di 1.7.

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
1.3	220
44	400
0	700

➤ **Sito n. 4**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR4.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. Vi è una solo e modesta frequenza di risonanza a 2.1 Hz con ampiezza di 1.7.

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
1.3	220
44	400
0	700

➤ **Sito n. 5**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW2, una ReMi2, e una HVSR5. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 17 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella ReMi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. Vi è una sola e modesta frequenza di risonanza a 2.1 Hz con ampiezza di 1.6. L'esito delle analisi ReMi e MASW è rappresentato dal contouring a colori. La curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh nel modo fondamentale della ReMi risulta abbastanza visibile nell'intervallo tra circa 13 e 50 Hz, mentre nella MASW non è ben definibile.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
1.4	210
43	390
0	700

➤ **Sito n. 6**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR6.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. Vi è una modesta frequenza di risonanza a 1.94 Hz con ampiezza di 1.55 e a 3.87 Hz con ampiezza di 1.9. definibile.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
2	220
44	400
0	700

➤ **Sito n. 7**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR7.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. Vi è una modesta frequenza di risonanza a 2.4 Hz con ampiezza di 1.9.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
1.5	150
9	300
40	440
0	700

➤ **Sito n. 8**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR8.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. Vi è una modesta frequenza di risonanza a 2.34 Hz con ampiezza di 1.6.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
3	220
40	390
0	670

➤ **Sito n. 9**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR9.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. La curva H/V presenta due frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz : una a 2.1 Hz con ampiezza di 1.7, la seconda a 10.4 Hz con ampiezza di 1.7.

➤ **Sito n. 10**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW3, una ReMi3, e una HVSR10. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 17 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella ReMi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V presenta due frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz : una a 3.65 Hz con ampiezza di 2.8, la seconda a 11.2 Hz con ampiezza di 2.5.

L'esito delle analisi ReMi3 e MASW3 è rappresentato dal contouring a colori. La curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh nel modo fondamentale della ReMi risulta abbastanza visibile nell'intervallo tra circa 17 e 45 Hz, nella MASW tra circa 14 e 40 Hz. Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
0.4	200
7	340
35	600
0	900

➤ **Sito n.11**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR11.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V presenta una frequenza di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz : a 3.4 Hz con ampiezza di 2.3.

➤ **Sito n.12**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR12.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V presenta tre frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz : una a 1.55 Hz con ampiezza di 2.7, un'altra a 3.5 Hz con ampiezza di 2.3 e infine la terza a 19 Hz con ampiezza di 2.8.

➤ **Sito n.13**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR13.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V presenta due frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz : una a 1.5 Hz con ampiezza di 2.3, e un'altra a 19 Hz con ampiezza di 1.7.

➤ **Sito n.14**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR14.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V presenta due frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz : una a 1.7 Hz con ampiezza di 1.8, un'altra a 16.6 Hz con ampiezza di 2.1.

➤ **Sito n.15**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW4, una ReMi4, e una HVSR15. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 17 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella ReMi..

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. La curva H/V presenta due frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz : una a 1.45 Hz con ampiezza di 1.5, un'altra a 10.7 Hz con ampiezza di 1.7.

L'esito delle analisi ReMi4 e MASW4 è rappresentato dal contouring a colori. La curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh nel modo fondamentale della ReMi risulta abbastanza visibile nell'intervallo tra circa 12 e 43 Hz, mentre nella MASW è maggiormente definibile da 37 a 50 Hz.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
1.8	200
7	350
70	500
0	750

➤ **Sito n.16**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW5, una ReMi5, e una HVSR16.

Le prove HVSR sono state ripetute in orari e giorni diversi, quella allegata è stata eseguita una domenica mattina alle ore 6.30. Tutte le prove presentano dei disturbi elettromagnetici.

L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 17 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella ReMi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V presenta, probabilmente più frequenze di risonanza (N.B. difficoltà d'interpretazione), nell'intervallo da 1 a 20 Hz : una a 1.8 Hz con ampiezza di 1.85, un'altra a 3.1 Hz con ampiezza di 2.7, un'altra a 9.3 Hz con ampiezza di 2.9, un'altra a 19 Hz con ampiezza di 2.1.

L'esito delle analisi ReMi5 e MASW5 è rappresentato dal contouring a colori. La curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh nel modo fondamentale della ReMi risulta abbastanza visibile nell'intervallo tra circa 17 e 50 Hz, la MASW nell'intervallo tra circa 15 e 50 Hz

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
2.8	210
9	380
58	550
0	800

➤ **Sito n.17**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR17.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V presenta frequenze di risonanza nell'intervallo da 1 a 20 Hz : a 1.5 Hz con ampiezza di 2.4, e a 13.5 con ampiezza di 1.7.

➤ **Sito n.18**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW6, una ReMI6, una HVSR18 e una HVSR19. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 8 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella Remi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. La curva H/V 18 presenta frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz, a 1.5 Hz con ampiezza di 1.8, mentre la H/V 19 a 1.5 Hz con ampiezza di 2.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
2.5	270
18	310
52	450
0	750

➤ **Sito n.19**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW7, una ReMI7, una HVSR20 e una HVSR21. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 8 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella Remi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. La curva H/V 20 presenta frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz, a 1.25 Hz con ampiezza di 1.9, mentre la H/V 21 a 1.2 Hz con ampiezza di 2 e a 16.8 Hz con ampiezza di 1.75. Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
2.5	265
18	310
64	480
0	770

➤ **Sito n.20**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW8, una ReMI8, una HVSR22 e una HVSR23. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 8 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella Remi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. La curva H/V 22 presenta frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz, a 1.18 Hz con ampiezza di 1.89 e a 1.6 Hz con ampiezza di 1.7, mentre la H/V 23 a 1.51 Hz con ampiezza di 1.97.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
1.8	200
17	320
60	480
0	750

➤ **Sito n.21**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW9, una ReMI9, una HVSR24 e una HVSR25. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 8 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella Remi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. La curva H/V 24 presenta frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz, a 1.9 Hz con ampiezza di 1.57, mentre la H/V 25 a 1.89 Hz con ampiezza di 1.85, a 3.6 Hz con ampiezza di 1.59 e a 24.5 Hz con ampiezza di 1.5.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
1.8	200
20	320
47	500
0	720

➤ **Sito n.22**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW10, una ReMI10, una HVSR26 e una HVSR27. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 8 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella Remi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V 26 presenta frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz, a 1.5 Hz con ampiezza di 1.84, a 12.45 Hz con ampiezza di 1.78, e a 18.5 Hz con ampiezza di 2.07, mentre la H/V 27 a 1.5 Hz con ampiezza di 2.2, e a 10.2 Hz con ampiezza di 1.4.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
1.9	180
5	320
60	450
0	780

➤ **Sito n.23**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW11, una ReMI11, una HVSR28 e una HVSR29. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 8 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella Remi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. La curva H/V 28 presenta frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz, a 1.77 Hz con ampiezza di 1.74 e a 12.3 Hz con ampiezza di 1.44, mentre la H/V 29 a 1.76 Hz con ampiezza di 1.68.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
3	280
3	320
58	480
0	770

➤ **Sito n.24**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW12, una ReMI12, una HVSR30 e una HVSR31. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 8 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella Remi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V 30 presenta frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz, a 2 Hz con ampiezza di 1.8, a 3.4 Hz con ampiezza di 1.6, e a 26.4 Hz con ampiezza di 2.52, mentre la H/V 31 a 2.11 Hz con ampiezza di 1.9, a 3.3 Hz con ampiezza di 1.8, e a 20.5 Hz con ampiezza di 1.6.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
1.5	240
2	350
55	470
0	780

➤ **Sito n.25**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW13, una ReMI13, una HVS32 e una HVS33. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 8 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella Remi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V 32 presenta frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz, a 2.2 Hz con ampiezza di 1.76, a 3.35 Hz con ampiezza di 1.55, e a 6.55 Hz con ampiezza di 1.69, mentre la H/V 33 a 2.17 Hz con ampiezza di 2.05, a 3.2 Hz con ampiezza di 1.85, e a 5.1 Hz con ampiezza di 1.73.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
2	260
13	350
40	470
0	760

➤ **Sito n.26**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura MASW14, una ReMI14, una HVSR34 e una HVSR35. L'utilizzo incrociato delle tre tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismostratigrafico affidabile.

Negli array di 48 metri sono stati dispiegati 8 geofoni ad intervalli di tre metri, per circa dieci minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz e analizzato su finestre di 10 secondi di lunghezza, nella Remi.

Sono state messe a confronto nella figura seguente le curve H/V registrate in testa e in coda allo stendimento al fine di verificarne la somiglianza e stabilire che il terreno in analisi sia o meno assimilabile a terreno a strati piani e paralleli, requisito di base per l'inversione delle tecniche in array.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V si presenta quasi piatta, e inferiore a 2, nell'intervallo da 1 a 20 Hz. La curva H/V 34 presenta frequenze di risonanza, nell'intervallo da 1 a 20 Hz, a 2.08 Hz con ampiezza di 1.62, mentre la H/V 35 a 2.15 Hz con ampiezza di 1.8.

Il modello di sottosuolo ottenuto è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
2	270
1.5	320
43	400
0	700

➤ **Sito n.27**

Nel sito in esame è stata eseguita una misura HVSR36.

Nella curva H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica.

La curva H/V presenta frequenze di risonanza modeste nell'intervallo da 1 a 20 Hz, a 1.9 Hz con ampiezza di 1.54.

5. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Nella Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica è stata inserita una “Zona di attenzione per liquefazione”. Per verificare il rischio liquefazione si sono adottati i metodi semplificati, in particolare due metodi:

- il metodo “Seed - Idriss” per le prove penetrometriche dinamiche;
- il metodo semplificato “Andrus & Stokoe (2000)”, basato sulla determinazione della resistenza di taglio mobilitata (CRR), partendo dalla velocità trasversale (V_s) ottenuta attraverso prove sismiche.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

Per il calcolo della CSR si è necessario conoscere il parametro dell'accelerazione (a_g) sismica massima del sottosuolo. Per questo motivo sono stati utilizzati i dati di input di pericolosità sismica di base e i parametri sismici di amplificazione sismica $a_{g\ max}$ al suolo, ricavati dalla modellazione di risposta sismica numerica.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. I parametri maggiormente utilizzati sono quelli ricavati dalla prova dinamiche (SPT), dalle prove statiche (CPT) o dalle prove di misurazione delle onde di taglio V_s . Questi metodi sono in genere utilizzati per la progettazione di opere di media importanza. A differenza della maggior parte dei metodi empirici, quelli semplificati richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento. Per quanto riguarda la valutazione del rischio di liquefazione attraverso i parametri delle onde di taglio V_s , esistono diversi grafici di correlazione CSR/V_{s1} , dove la V_s è corretta dalla sovrappressione usando l'equazione:

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

Dove:

- V_{s1} = velocità delle onde di taglio corretta della sovrappressione;
- V_s = velocità delle onde di taglio misurate in situ;
- σ'_v = pressione effettiva alla stessa unità di misura di Pa;
- P_a = pressione atmosferica approssimativamente pari a 100 kPa.

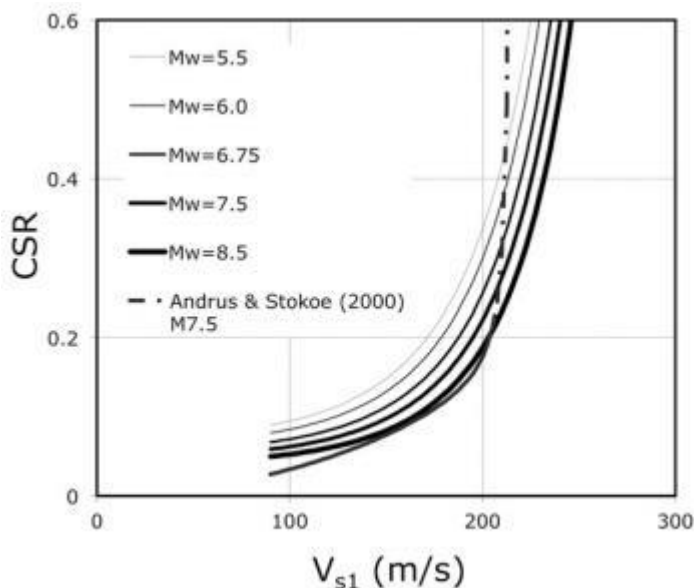


Fig. 12 – Grafico che evidenzia l'andamento delle curve, per valori di Mw da 5.5 a 8.5, in funzione di Vs1 e CSR (da Kayen e altri, 2013).

In particolare la magnitudo di riferimento è stata desunta dai valori di appartenenza alla zona sismogenetica ZS9, che per il sito in oggetto è la 906, e dalle sorgenti sismogenetiche dell'Italia Nord-Orientale (2008) inserite DISS. vers.3.0; la magnitudo utilizzata è M=6.6. Per magnitudo diverse da 7.5, è necessario conoscere il fattore correttivo MSF (Magnitudo Scaling Factor), che per il sito in oggetto è stato considerato 1.44. L'eurocodice 8 e gli "Indirizzi e criteri di microzonazione sismica-2008" considerano non liquefacibile un deposito con il coefficiente di sicurezza alla liquefazione $F_s > 1.25$. Si evidenzia che il D.M. 14.01.2008 al capitolo 7.11.3.4 "Stabilità nei confronti della liquefazione", evidenzia quanto segue:

7.11.3.4.1 "...Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili a liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione La verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza;
5. distribuzione granulometrica esterna ...

Quando le condizioni 1 e 2 non risultano soddisfatte, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 3,4 e 5.

7.11.3.4.3 Metodologie di analisi Quando nessuna delle condizioni del paragrafo 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie

sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empiriche in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista."

Nelle zone di attenzione alla liquefazione, presenti nella Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica, sono state individuate n. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti DP (n.4 e 5) con cui poter eseguire il calcolo di suscettibilità. Le altre prove penetrometriche, rappresentate nella Carta delle Indagini, non sono state considerate ai fini del calcolo del rischio di liquefazione, in quanto di modesta profondità, e al di sopra della superficie della falda freatica. Nella tabella allegata è stato elencato il rischio di liquefazione calcolato nelle verticali DP4, DP5 e nei siti di indagine sismica. Nei metodi adottati è stata ipotizzata la presenza della falda acquifera a -5.00 metri dal piano campagna, a favore di una maggiore sicurezza, considerato che, in tutte le indagini allegate nel presente studio, non sono stati riscontrati livelli così elevati della superficie della falda acquifera. Per la stima del potenziale di liquefazione sono stati utilizzati i valori di "ag max" di 0.25g.

Le verifiche escludono il rischio di liquefazione, i risultati sono i seguenti:

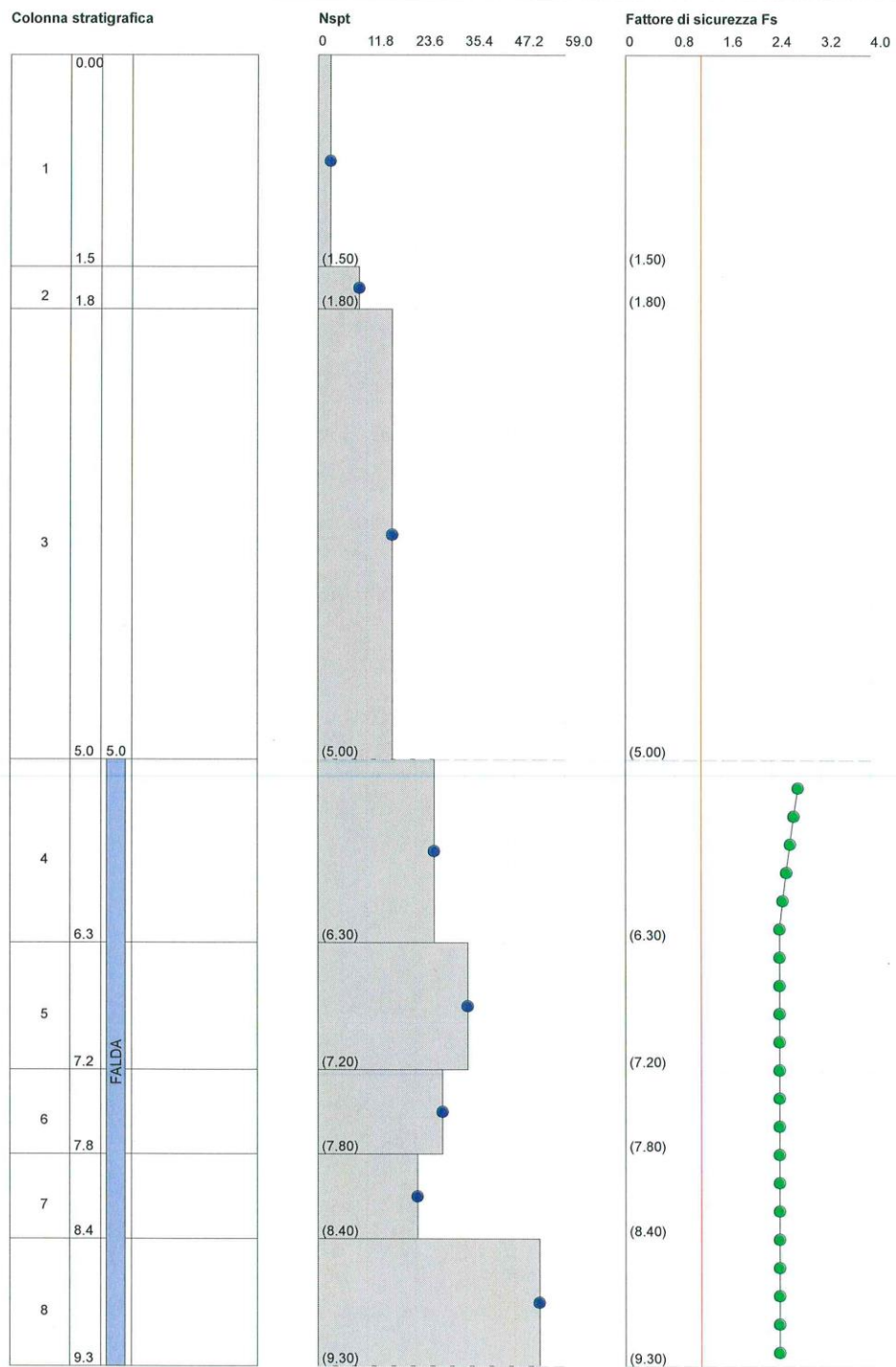
UBICAZIONE	METODO DI CALCOLO	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE
DP n.4	<i>Seed - Idriss</i> (da DP)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso
DP n.4	<i>Seed - Idriss</i> (da DP)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso
Sito n. 15	Andrus-Stokoe (da Vs)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso
Sito n. 16	Andrus-Stokoe (da Vs)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso
Sito n. 18	Andrus-Stokoe (da Vs)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso
Sito n. 19	Andrus-Stokoe (da Vs)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso
Sito n. 20	Andrus-Stokoe (da Vs)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso
Sito n. 21	Andrus-Stokoe (da Vs)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso
Sito n. 22	Andrus-Stokoe (da Vs)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso
Sito n. 23	Andrus-Stokoe (da Vs)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso
Sito n. 24	Andrus-Stokoe (da Vs)	da non suscettibile alla liquefazione a molto basso

RISCHIO LIQUEFAZIONE

COMUNE DI PAESE

DP n.4

1:43

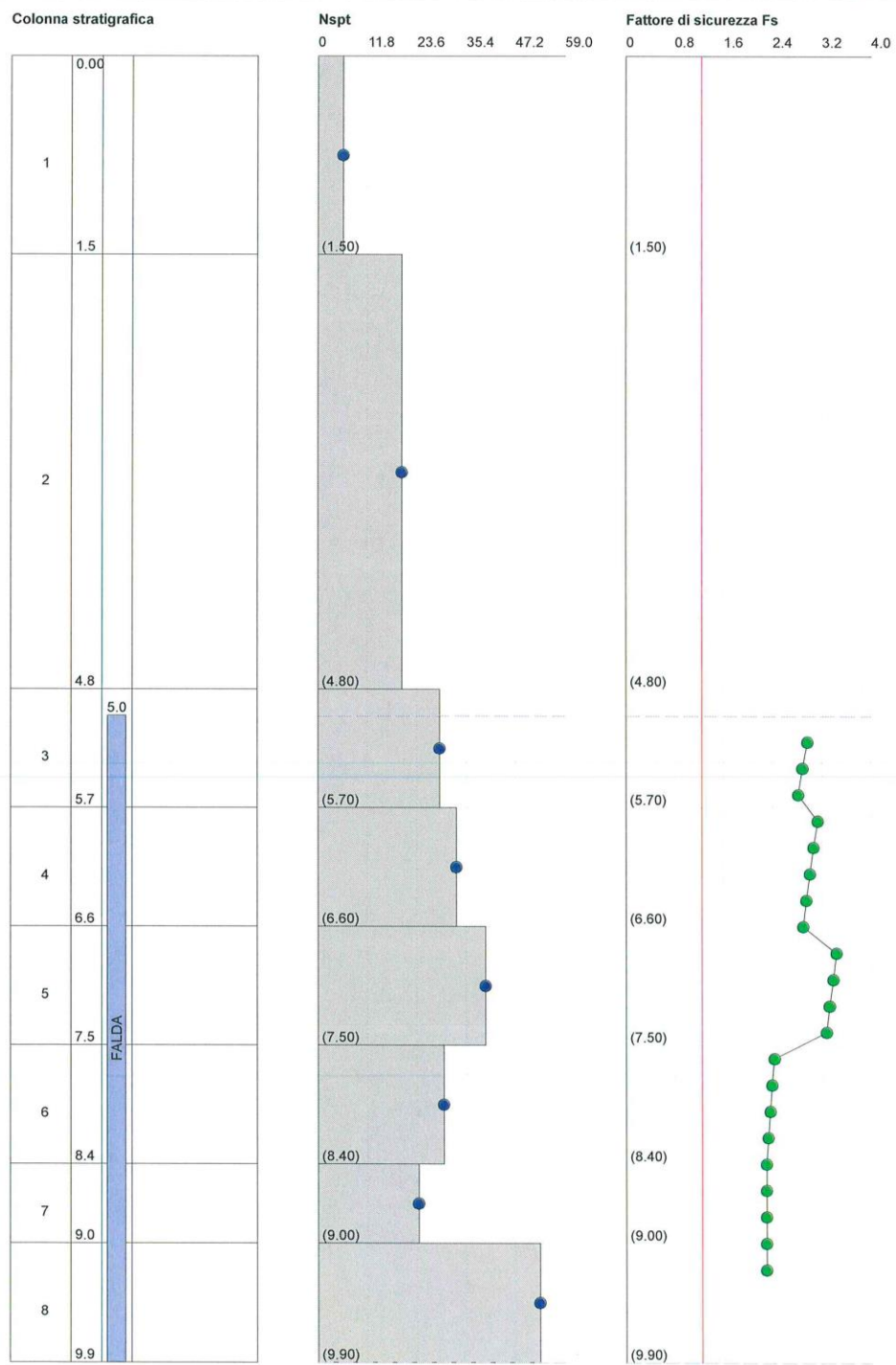


RISCHIO LIQUEFAZIONE

COMUNE DI PAESE

DP n.5

1:46

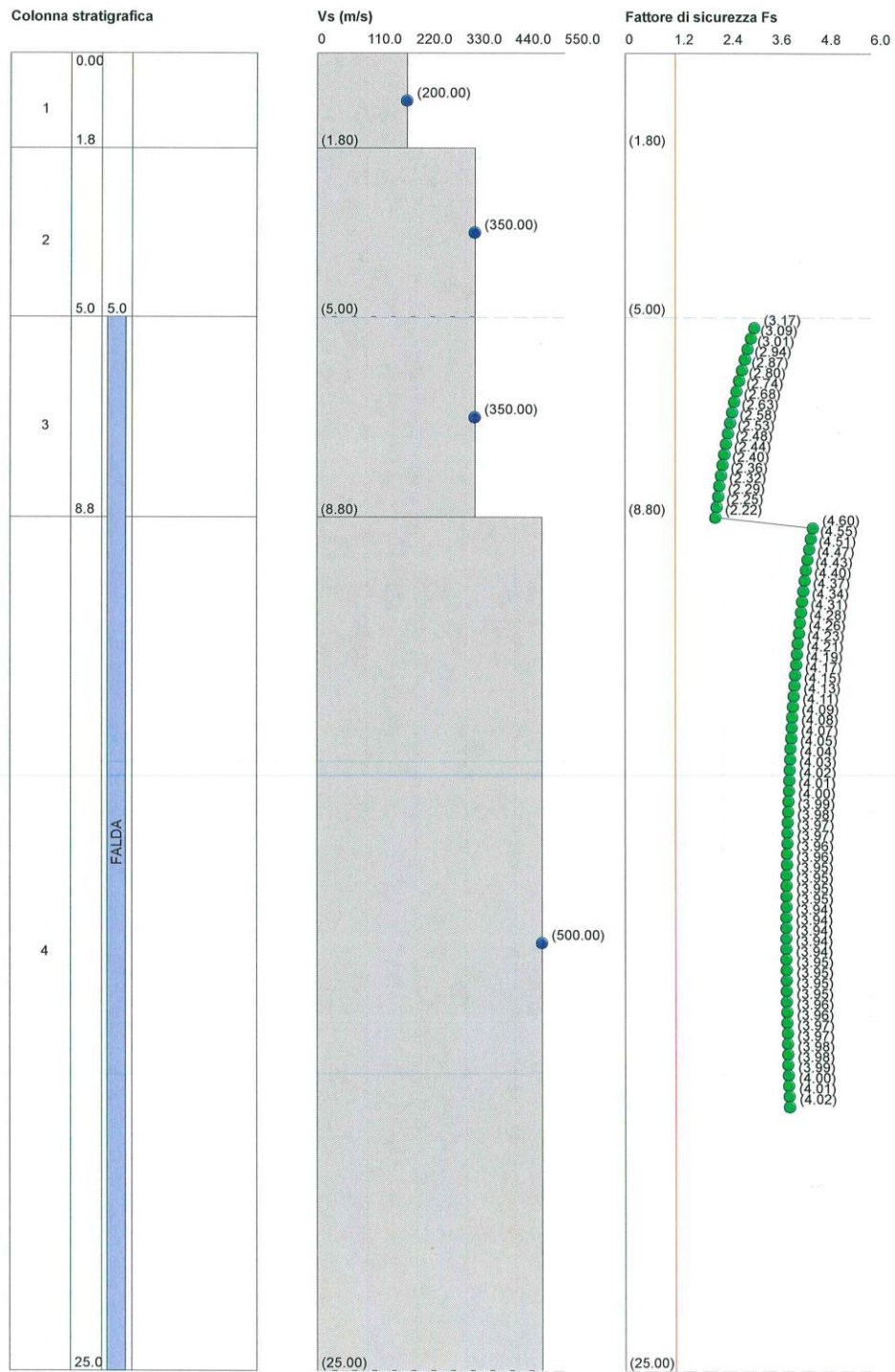


RISCHIO LIQUEFACIBILITA'

COMUNE DI PAESE

SITO n.15

1:115

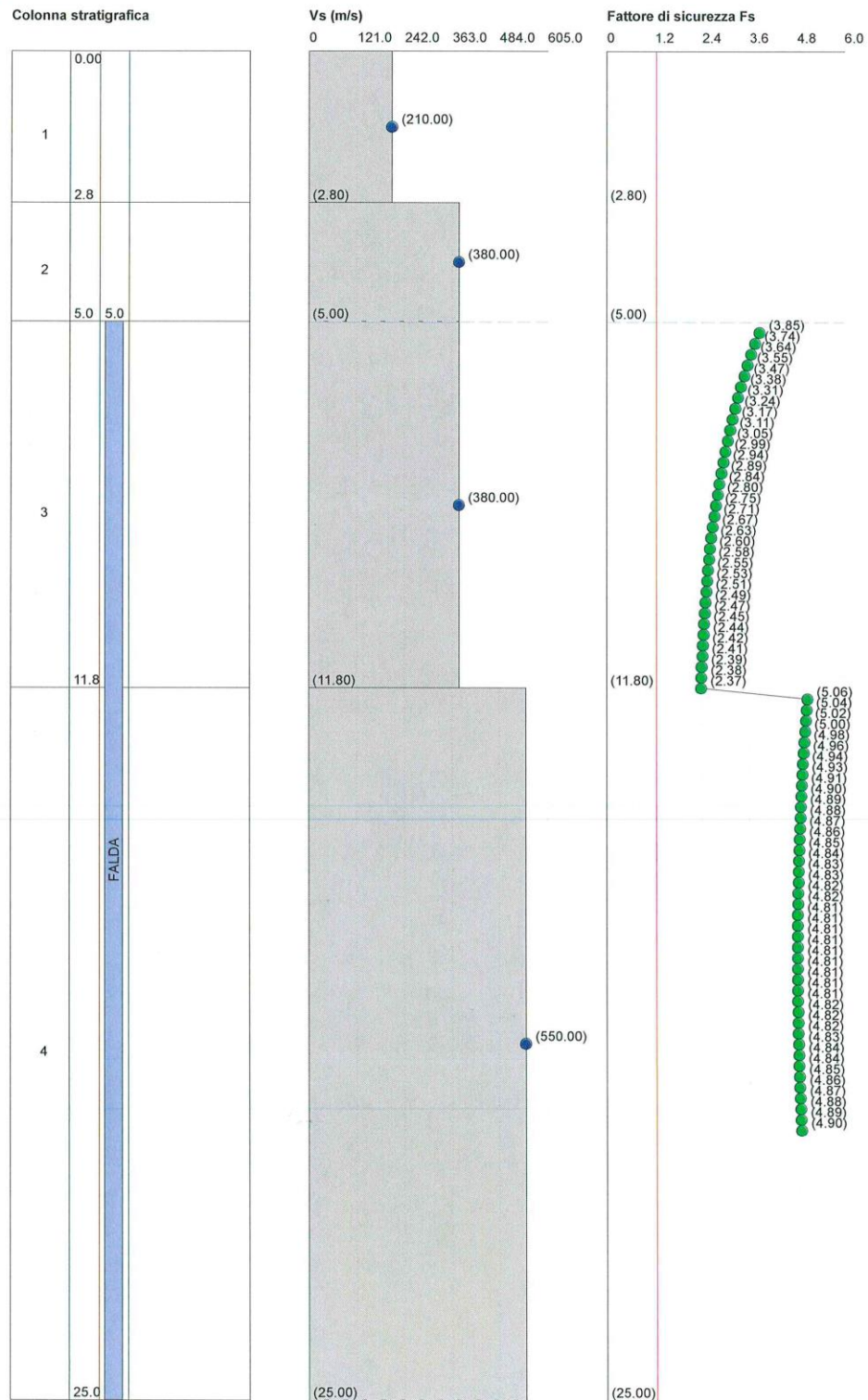


RISCHIO LIQUEFACIBILITA'

COMUNE DI PAESE

SITO n.16

1:109

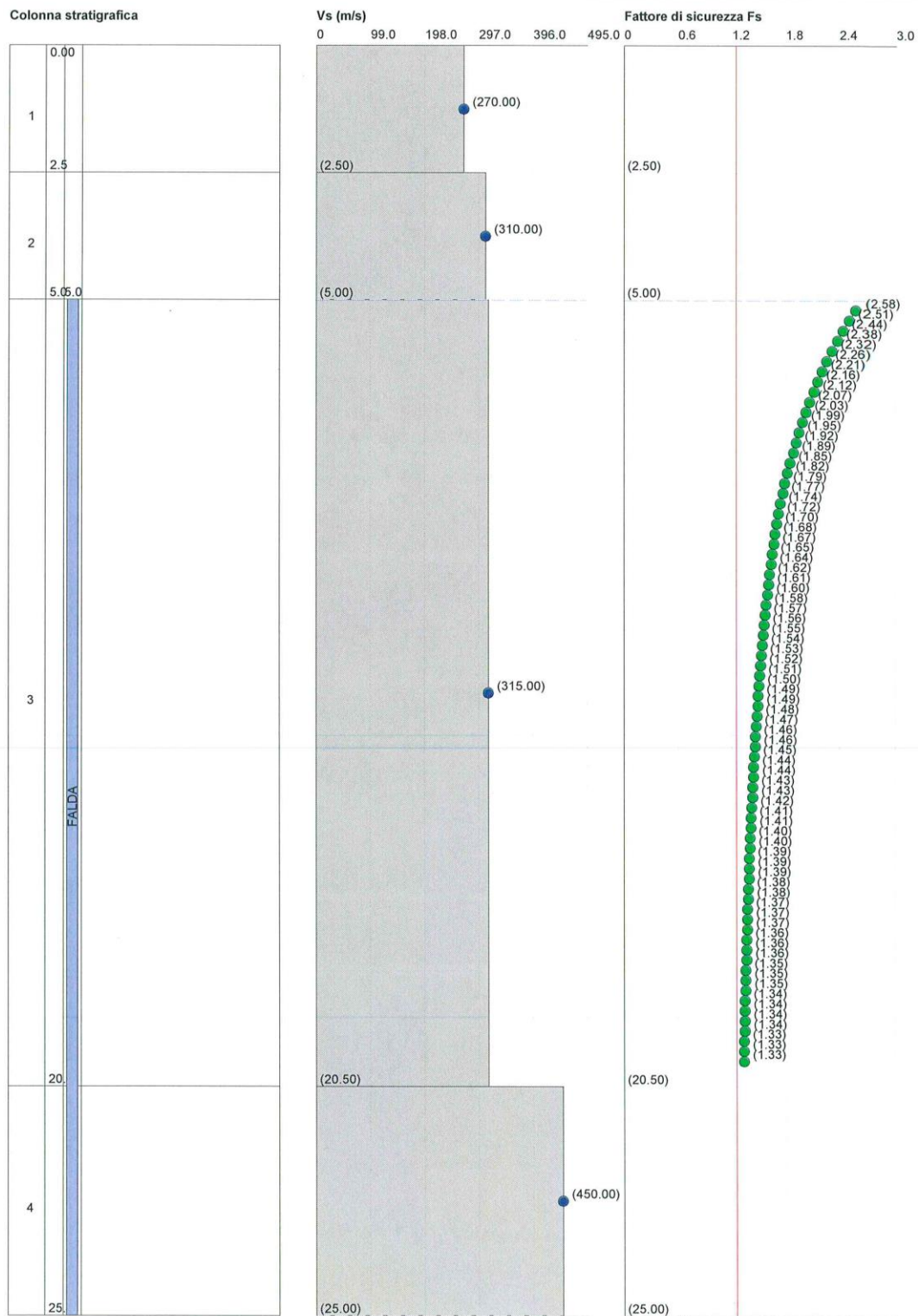


RISCHIO LIQUEFACIBILITA'

COMUNE DI PAESE

SITO n.18

1:72

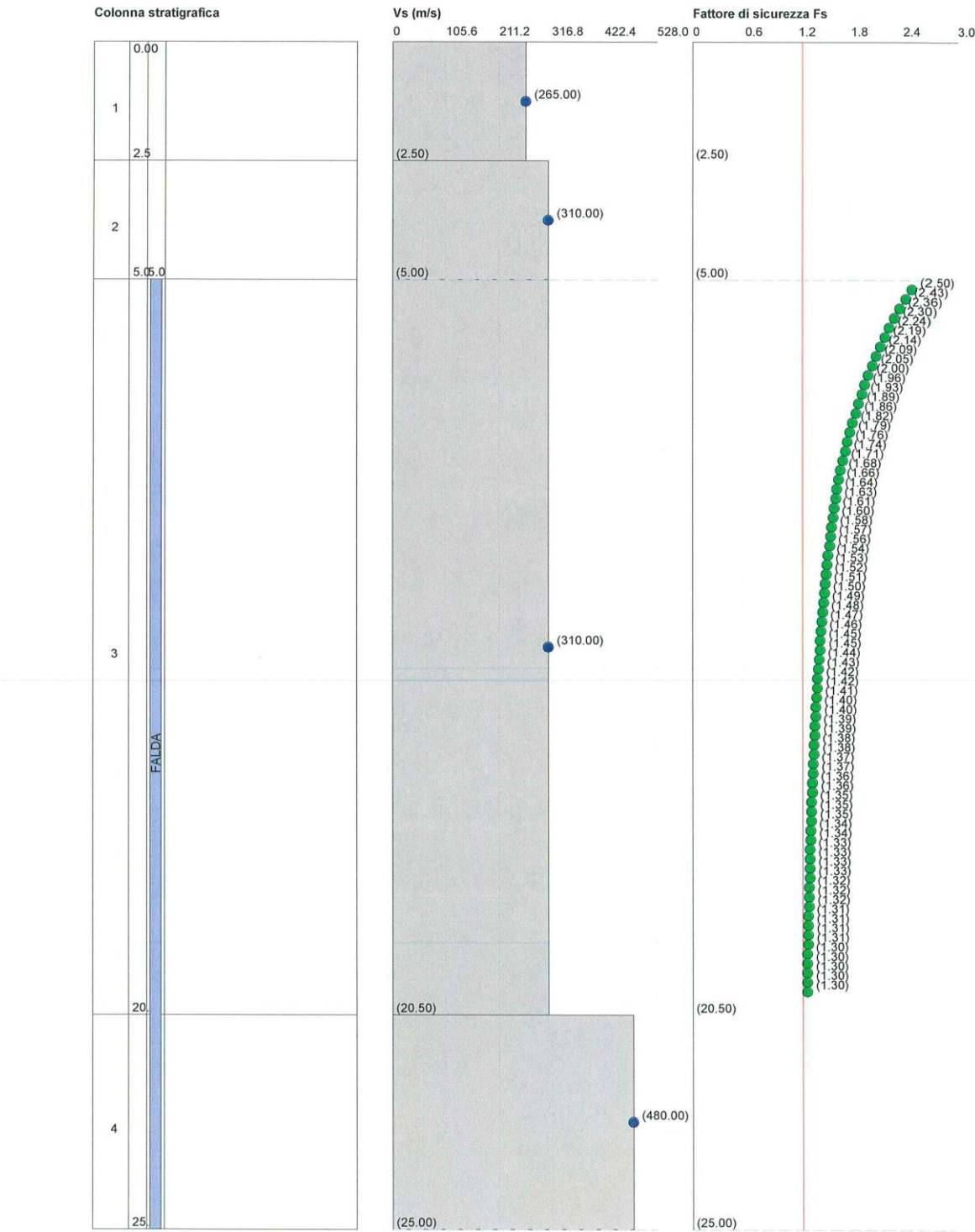


RISCHIO LIQUEFACIBILITA'

COMUNE DI PAESE

SITO n.19

1:75

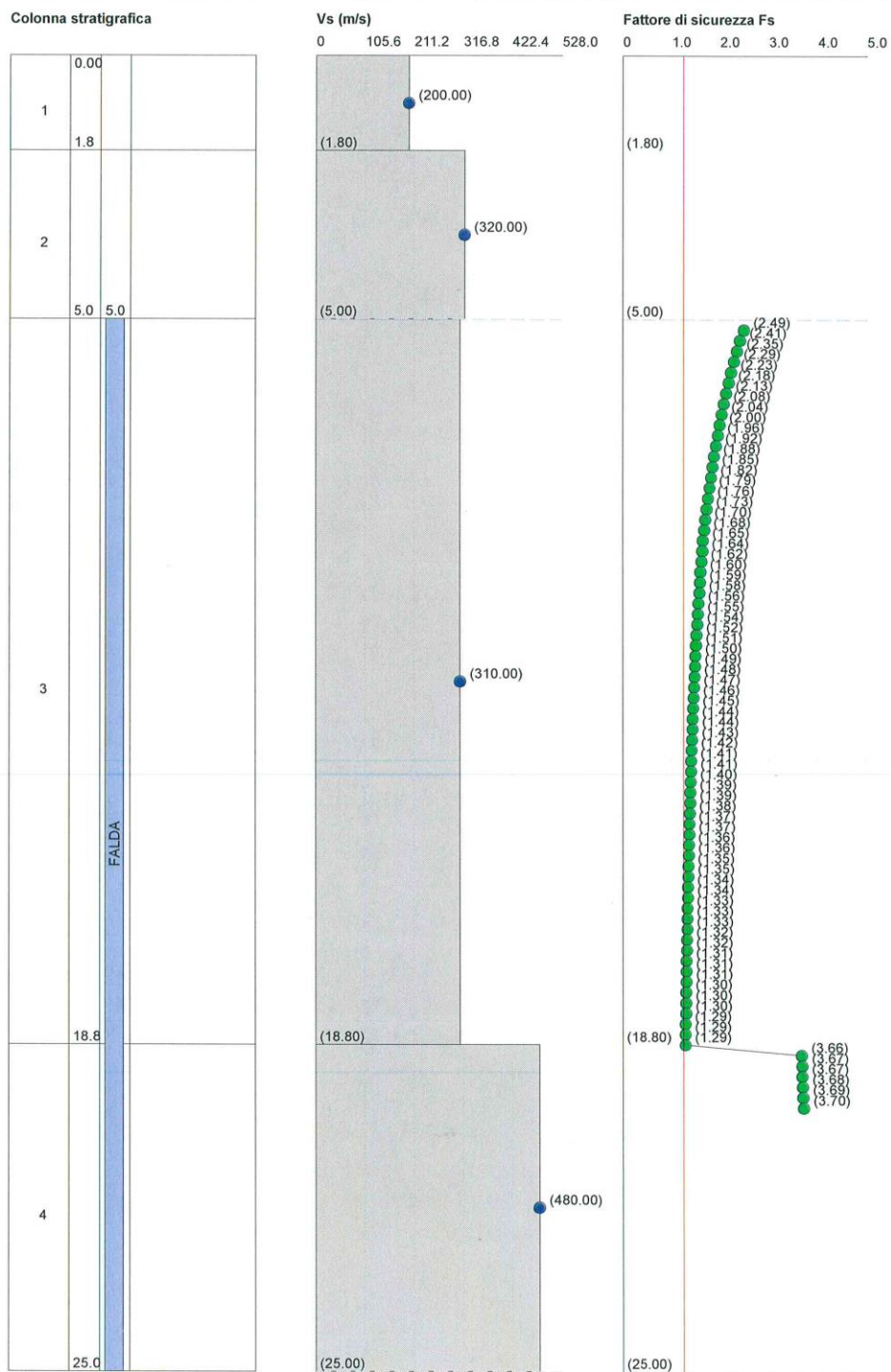


RISCHIO LIQUEFAZIONE

COMUNE DI PAESE

SITO n. 20

1:115

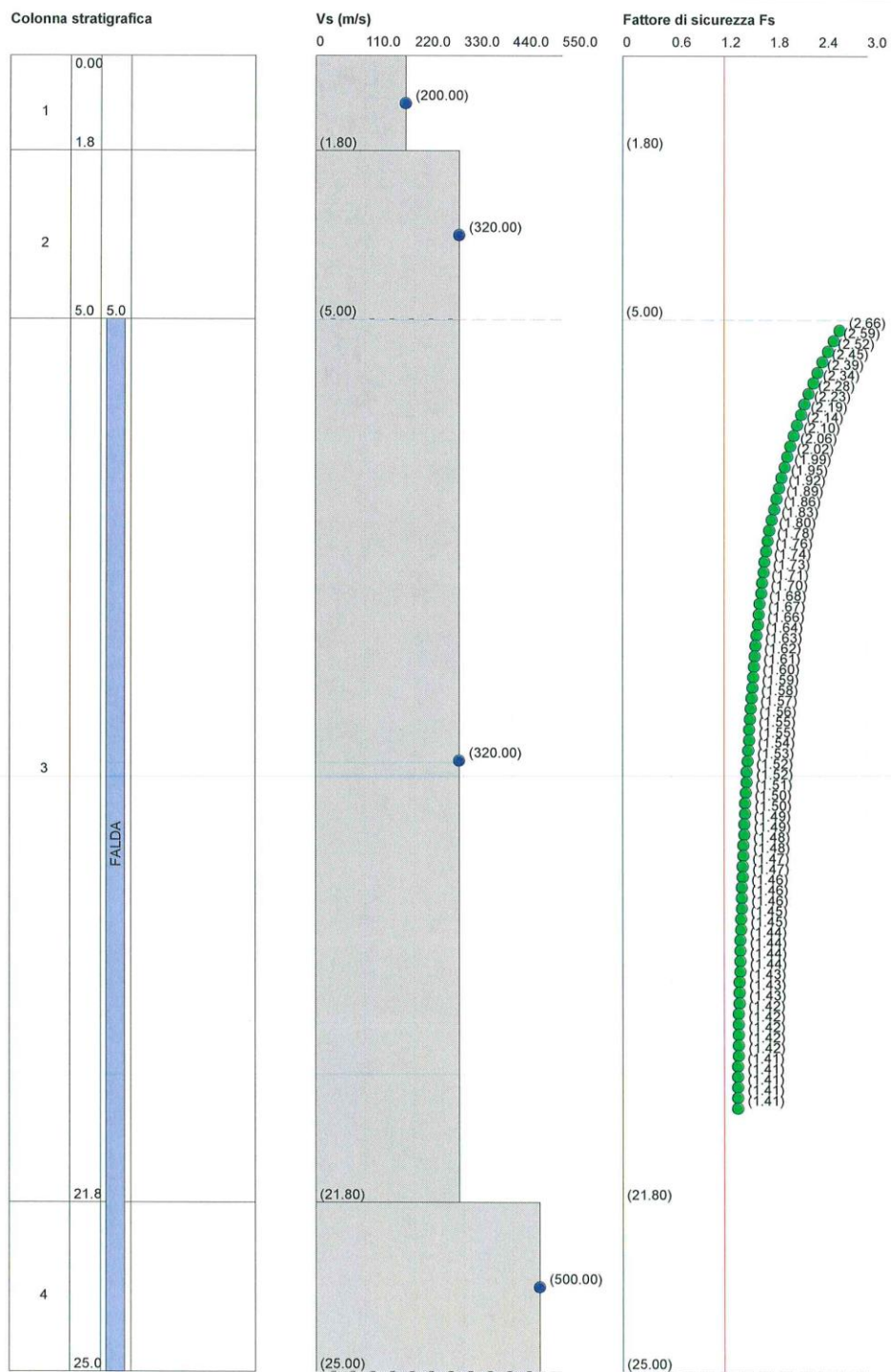


RISCHIO LIQUEFAZIONE

COMUNE DI PAESE

SITO n. 21

1:115

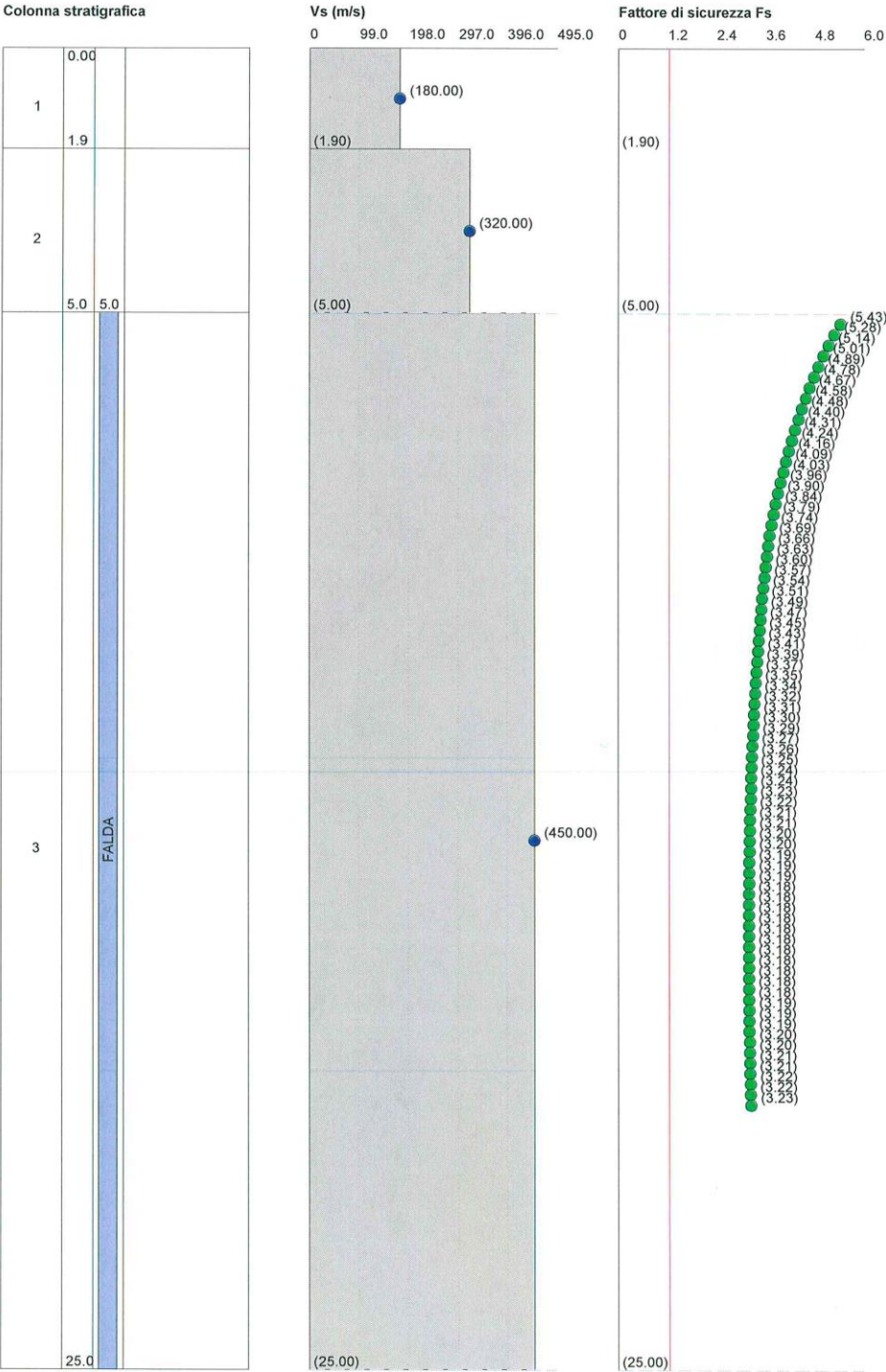


RISCHIO LIQUEFAZIONE

COMUNE DI PAESE

SITO n. 22

1:115

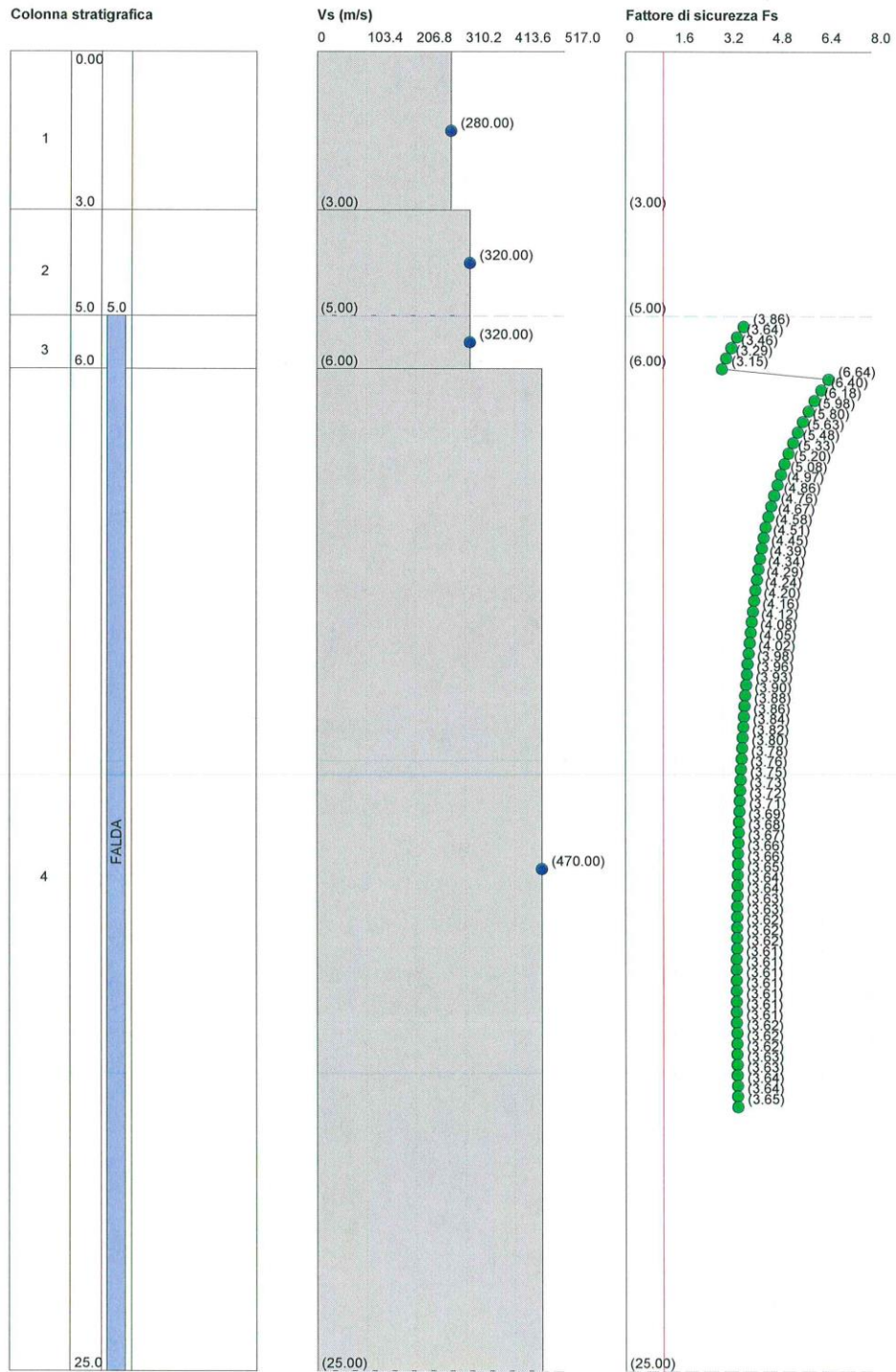


RISCHIO LIQUEFAZIONE

COMUNE DI PAESE

SITO n. 23

1:115

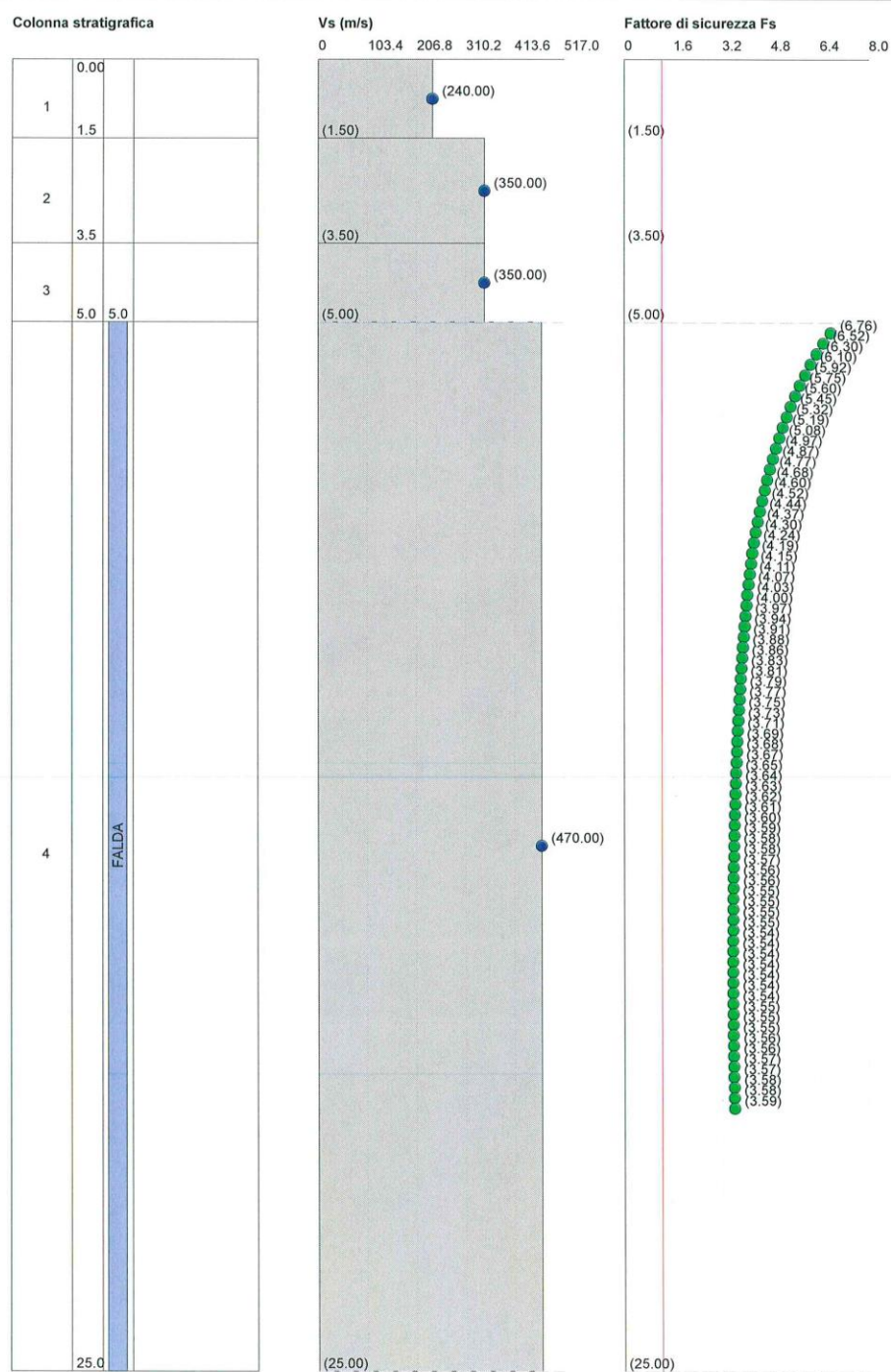


RISCHIO LIQUEFAZIONE

COMUNE DI PAESE

SITO n. 24

1:115



- Tavole rappresentanti il fattore di sicurezza alla liquefazione

6. MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

6.1 Introduzione

Per la stesura della Microzonazione di secondo livello, si è fatto riferimento agli “*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione sismica*” vers. 4.0” della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica e alle “Linee guida per l’esecuzione di studi di micro zonazione sismica”, allegato “A” della DGRV n. 1572 del 03.09.2013.

Gli elaborati cartografici realizzati, secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0, per la Microzonazione di secondo livello, sono i seguenti:

➤ Microzonazione sismica di secondo livello

- Carta delle Indagini;
- Carta della pericolosità sismica locale;
- Carta delle frequenze fondamentali di vibrazione;
- Carta della Microzonazione sismica di secondo livello (Fa);
- Carta della Microzonazione sismica di secondo livello (Fv).

6.2 Finalità dello studio di microzonazione sismica

La Microzonazione Sismica ha lo scopo di riconoscere, normalmente a scala comunale, le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso in termini di ampiezza, durata e frequenza o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture. Essa si pone tra la classificazione sismica a scala nazionale, che fa riferimento a un terreno ideale rigido ($V_s > 800$ m/sec) e pianeggiante per il quale fornisce dei parametri indicativi della pericolosità di base, e la progettazione antisismica dei singoli manufatti.

Si è constatato che un terremoto può creare danni differenti nel territorio, anche a breve distanza: sono gli “effetti di sito”, che possono amplificare le sollecitazioni nelle strutture, provocare cedimenti nei terreni soffici e fenomeni di liquefazione in terreni incoerenti saturi (sabbie), movimenti franosi, rotture nel terreno (faglie capaci). Possiamo distinguere due tipi principali di “effetti di sito”: stratigrafici e morfologici, quest’ultimi possiamo distinguerli in effetti di valle e topografici.

Nello studio di Microzonazione Sismica di primo livello si evidenziano le zone il cui comportamento può essere instabile, stabile o suscettibile di amplificazione locali, nel secondo e terzo livello si valuta la risposta sismica dei terreni.

Gli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (2008), e la normativa regionale prevedono tre livelli di approfondimento:

- il Livello 1 prevede una raccolta di dati preesistenti, qualora mancanti è necessario eseguire nuove indagini. L’elaborato finale prevede l’esecuzione della “*Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica*” con indicate le *Zone stabili*, le *Zone suscettibili di amplificazioni locali*, le *Zone di attenzione per instabilità*, e le *Forme di superficie e sepolte*.
- il Livello 2 prevede l’esecuzione di indagini sismiche in modo da associare alle zone omogenee dei parametri quantitativi di interesse strutturale. In particolare le indagini sismiche in sito permettono di determinare il grado di rigidità del sottosuolo, le frequenze di risonanza dei depositi, e calcolare il fattore di amplificazione “Fa” e “Fv”, tramite l’utilizzo

degli abachi nazionali. L'elaborato finale è “*Carta di microzonazione sismica*” di secondo livello.

- il Livello 3 prevede la definizione dell'amplificazione del moto sismico atteso in superficie tramite un'analisi numerica monodimensionale o bidimensionale. L'elaborato finale è “*Carta di microzonazione sismica*” di terzo livello.

La studio di Microzonazione Sismica fornisce perciò ai Comuni delle informazioni sulla pericolosità sismica utili per la pianificazione territoriale, per la gestione delle emergenze e per l'eventuale ricostruzione dopo il terremoto.

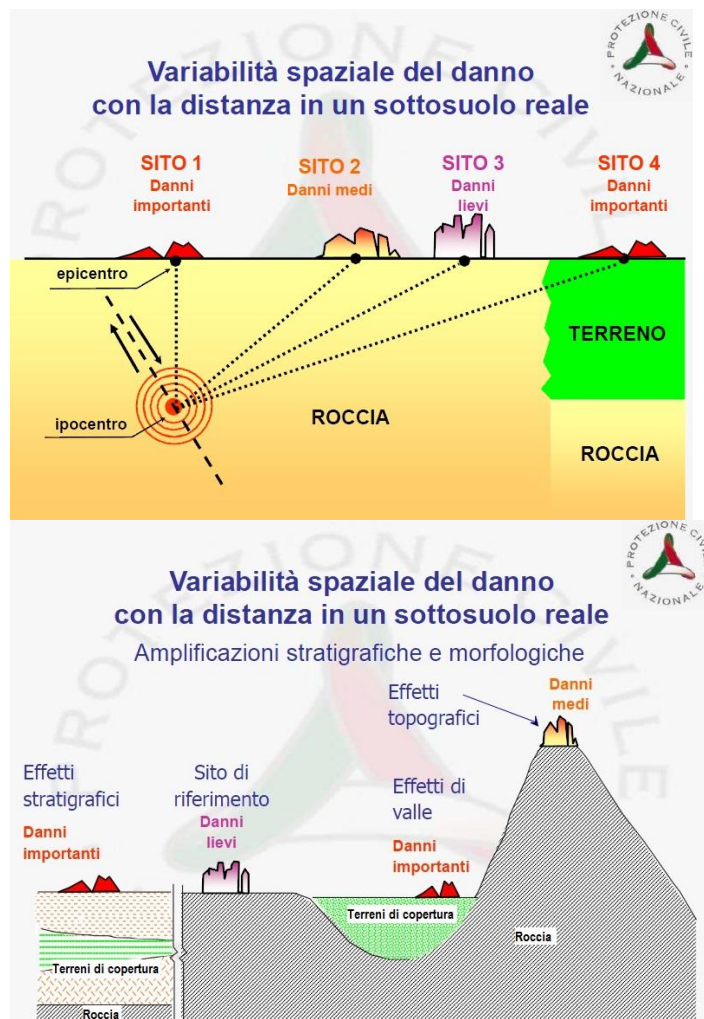


Fig.13 – Effetti di sito con stima dei danni a una certa distanza dall'ipocentro

6.3 Microzonazione sismica di secondo e terzo livello

Lo studio di Microzonazione Sismica di 2° livello si propone di raggiungere i seguenti obiettivi:

- approfondire le tematiche incerte del livello 1;
- fornire quantificazioni numeriche della modificazione locale del moto sismico in superficie con metodi semplificati (abachi) e dei fenomeni di deformazione permanente (zone suscettibili di instabilità).

Lo studio di Microzonazione Sismica di 3° livello si applica nelle zone:

- stabili suscettibili di amplificazione sismica non risolvibili con l'uso degli abachi o per opere di particolare importanza;
- nelle zone suscettibili d'instabilità particolarmente gravose.

Il documento fondamentale di questo 2° e il 3° livello è la “*Carta di microzonazione sismica*” in cui si sono rappresentate tre tipologie di zone:

- a) **zone stabili**: aree in cui non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scotimento funzione dell'energia e della distanza del sisma.
- b) **zone stabili suscettibili di amplificazione**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Le zone di questa categoria saranno caratterizzate numericamente dai valori di “Fa” (Fattore di amplificazione a basso periodo, determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione) e “Fv” (Fattore di amplificazione a periodo proprio, per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità), dedotti dagli abachi.
- c) **zone suscettibili d'instabilità**
 - per **instabilità di versante**: le linee guida della Regione del Veneto prevedono un secondolivello per le aree potenzialmente di frana, e un terzo livello per le frane attive e le frane quiescenti.
 - per **liquefazione**: le linee guida della Regione del Veneto prevedono che la suscettibilità di liquefazione può essere calcolata utilizzando la PGA degli abachi nel secondo livello e invece la “a_{max}” alla superficie con la RSL (analisi di risposta sismica locale) nel terzo livello.
 - per **comportamenti differenziali**: le linee guida della Regione del Veneto prevedono l'individuazione con il modello geologico delle aree che possono produrre effetti differenziali sia di amplificazione che di cedimento. Nel caso di densificazione di terreni insaturi, il valore di “a_{max}” alla superficie dovrà essere eseguito con la RSL (analisi di risposta sismica locale).
 - per la presenza di **fraglie attive e capaci**: l'approfondimento deve essere di livello 3.

6.4 Abachi di riferimento

6.4.1- Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici

Gli abachi per la stima della risposta sismica locale non possono essere applicati in zone con effetti di amplificazione topografica, o con effetti 2D, o con aggravii del moto dovuti a deformazioni permanenti. L'utilizzo degli abachi è raccomandato perciò nel caso di un assetto geologico e geotecnico assimilabile a un modello fisico monodimensionale, con strati poggianti su un basamento sismico (bedrock). La presenza nella Carta di Microzonazione sismica di primo livello di forme acclivi, forme articolate del substrato geologico sepolto, successioni stratigrafiche che prevedono terreni rigidi su terreni soffici (inversioni di velocità Vs), aree soggette di instabilità, potranno orientare alla necessità di ricorrere a modelli più complessi.

E' il caso delle **zone di fondovalle** ovvero ai bacini sepolti (forme concave del basamento sismico con riempimenti costituiti da terreni soffici), in cui si possono verificare effetti bidimensionali che rendono irrealistica la stima eseguita con gli abachi. Se è verificata la formula $h/l \leq 0.65/\sqrt{(C_v - 1)}$ (dove “h” è il massimo spessore del deposito nella valle, “l” la

sempiampiezza della valle, C_v il rapporto tra la V_s del basamento e quella media dei terreni di riempimento) e se ci si trova al centro della valle, l'amplificazione si potrà stimare con modelli 1D e con gli abachi, altrimenti bisogna procedere con metodi bidimensionali ovvero con il terzo livello.

I dati d'ingresso per l'utilizzo degli abachi sono:

- la macrozona di pericolosità sismica;
- la litologia prevalente dei terreni di copertura deducibile dai risultati di primo livello;
- la profondità del basamento sismico, in cui le V_s sono superiori a 800 m/sec;
- l'andamento della velocità di taglio media dei terreni di copertura sino al basamento

Sismico: $V_{sh} \approx H / (\sum h_i / V_{si})$

dove: - H è lo spessore totale in metri dei terreni di copertura sino al bedrock;

- h_i è lo spessore in metri dell' i -mo degli n strati che costituiscono la copertura;

- V_{si} è la velocità in m/sec dell' i -mo strato.

Nel caso in cui la posizione del bedrock non sia determinabile sperimentalmente si possono utilizzare indicazioni indirette, utilizzando ad esempio le misure del periodo proprio " T_0 " del sito della copertura sedimentaria. Questa procedura può essere utilizzata nel caso in cui:

- *il contrasto di velocità in h_a (profondità del substrato geologico ovvero con un contrasto di impedenza, che può non essere il bedrock sismico) è rilevante (circa >2);*
- *il terreno al di sotto di h_a è abbastanza rigido (orientativamente V_s al di sotto di h_a è almeno pari a 600 m/sec; se tale velocità è compresa tra 500 e 600 m/sec si possono utilizzare gli abachi, ma il risultato deve essere maggiorato del 10%).*

6.4.2- Abachi di riferimento per gli effetti topografici

Negli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica (2008) si specifica che gli abachi sono utilizzabili per il calcolo di fattori di amplificazione F_a per le creste rocciose (bedrock sismico affiorante) caratterizzate da pendii con inclinazione maggiore o uguale a 10° e per scarpate rocciose caratterizzate da fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 metri ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore a 10° . Nel codice di calcolo per l'elaborazione degli abachi si è utilizzato un peso di unità di volume della roccia variabile tra 22 e 24 kN/m³, e una V_s variabile tra 800 e 1500 m/s.

Si afferma inoltre che l'effetto litologico prevale su quello morfologico, e nel caso vi siano i due effetti congiunti, si predilige quello litologico.

Nella DGRV n. 1572/2013 si introduce il fattore di amplificazione per effetti morfologici, non solo per scarpate o creste rocciose, ma anche per i terrazzi fluviali, scarpate antropiche, e nicchie di distacco di frana e bordi di cava non in roccia.

In particolare si considerano le zone di scarpata (scenario "P3a" da Carta di Pericolosità sismica locale) caratterizzate da fronti di altezza (H) maggiori o uguali a 10 metri, inclinazione (α) del fronte principale maggiore o uguale a 15° ed estensione del fronte superiore (L) almeno pari all'altezza (H) o comunque non inferiore a 15-20 metri (v. fig. 13). Per il calcolo del fattore di amplificazione si deve tener conto sia della valutazione degli effetti litologici che morfologici, per cui, nel caso di scarpate in "terre": $F_a = F_{a \text{ morfologico}} * F_{a \text{ litologico}}$.

Per le creste o cucuzzoli (scenario "P3b" da Carta di Pericolosità sismica locale) si considerano suscettibili ad amplificazioni le situazioni che presentano il dislivello altimetrico

minimo (h) maggiore od uguale a un terzo del dislivello altimetrico massimo (H) ed inclinazione dei versanti maggiore o uguale a 15° (v. Tav. 14). La larghezza della base deve essere scelta in corrispondenza di evidenti rotture.

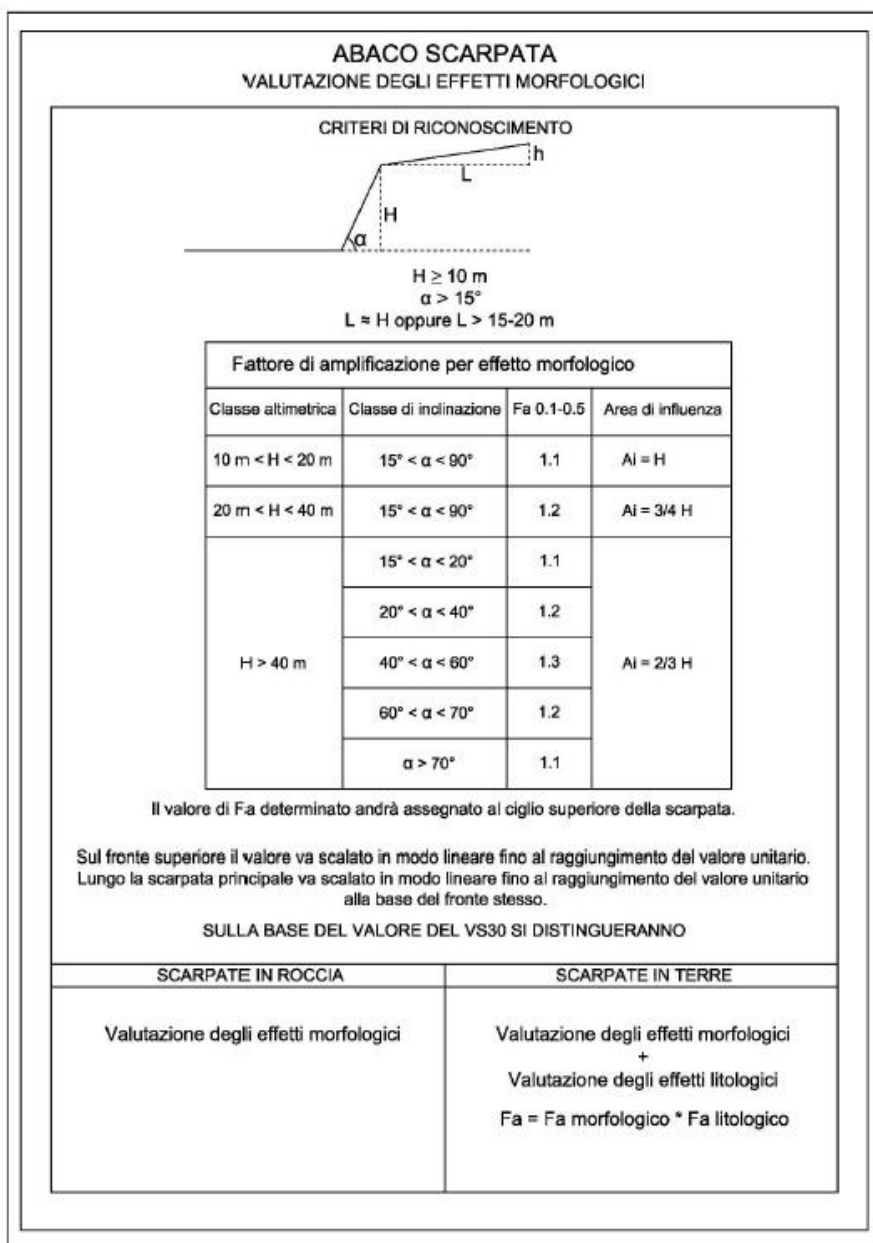


Fig. 14 – Valutazione degli effetti morfologici delle scarpate (v. all. A dgrv 1572/2013)

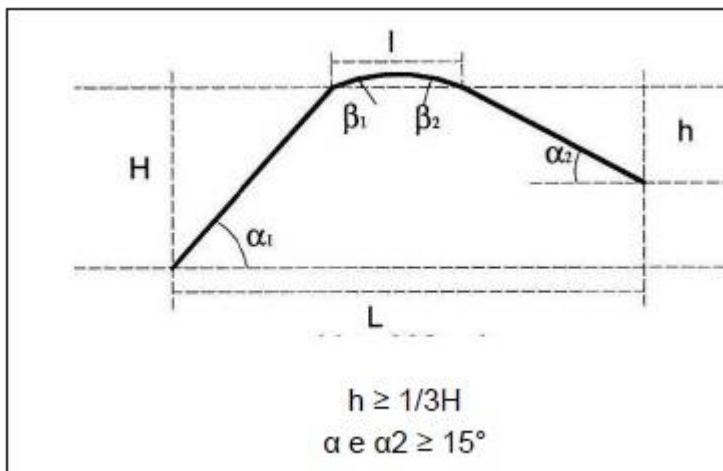


Fig. 15 – Criteri di riconoscimento delle creste e/o cocuzzoli suscettibili di amplificazioni morfologiche (v. all. A dgrv 1572/2013)

6.5 Elaborati cartografici per la Microzonazione Sismica di secondo livello

Le cartografie prodotte per la Microzonazione Sismica di secondo livello sono:

- la *Carta di Pericolosità Sismica* (prevista dalle linee guida regionali);
- la *Carta delle Indagini*;
- la *Carta delle Frequenze fondamentali di vibrazione*;
- la *Carta di Microzonazione Sismica di secondo livello (Fa)*;
- la *Carta di Microzonazione Sismica di secondo livello (Fv)*.

6.5.1 – Carta delle indagini

La Carta delle indagini deriva dalla rappresentazione cartografica e archiviazione di elementi puntuali e lineari rappresentativi delle indagini geognostiche, geotecniche, idrogeologiche e geofisiche eseguite nel territorio di interesse.

- Trincee esplorative, prove penetrometriche statiche e dinamiche, pozzi per acqua e idrocarburi, sondaggi, sondaggi elettrici verticali.

Allo scopo di definire le esatte caratteristiche litologiche e geotecniche del sottosuolo sono state allegate e cartografate le seguenti indagini pregresse:

- *Trincee esplorative (T)*: sono state allegate n. 4 stratigrafie, reperite da documentazione varia presso gli uffici comunali. La massima profondità raggiunta è di 4.0 metri dal piano campagna;
- *Prove penetrometriche dinamiche (DP)*: sono state allegate n. 9 prove, reperite da documentazione varia presso gli uffici comunali. La massima profondità raggiunta è di 9 metri dal piano campagna.

- *Prove penetrometriche statiche (CPT)*: è stata allegata una prova CPT, reperita da documentazione varia presso gli uffici comunali. La massima profondità raggiunta è di 8.4 metri dal piano campagna.
- *Pozzi per acqua (PA)*: sono state allegate n. 9 stratigrafie, reperite da documentazione varia presso gli uffici comunali. La massima profondità raggiunta è di 302 metri dal piano campagna e hanno raggiunto la falda acquifera.
- *Pozzi per idrocarburi (PI)*: sono state allegate n. 2 stratigrafie, reperite da documentazione varia presso gli uffici comunali. La massima profondità raggiunta è di 2754 metri dal piano campagna e hanno raggiunto la falda acquifera. I pozzi hanno raggiunto il substrato roccioso a 140 e 250 metri dal piano campagna.
- *Sondaggi a carotaggio continuo (S)*: sono state allegate n. 8 stratigrafie, reperite da documentazione varia presso gli uffici comunali. La massima profondità raggiunta è di 25 metri dal piano campagna e hanno raggiunto la falda acquifera. Nessun pozzo ha raggiunto il substrato roccioso.
- *Sondaggi da cui sono stati prelevati dei campioni (SC)*: sono state allegate n. 3 stratigrafie, reperite da documentazione varia presso gli uffici comunali. La massima profondità raggiunta è di 15 metri dal piano campagna e hanno raggiunto la falda acquifera. Nessun pozzo ha raggiunto il substrato roccioso.
- *Sondaggi a distruzione di nucleo (SD)*: sono state allegate n. 4 stratigrafie, reperite da documentazione varia presso gli uffici comunali. La massima profondità raggiunta è di 40.50 metri dal piano campagna e hanno raggiunto la falda acquifera. Nessun pozzo ha raggiunto il substrato roccioso.
- *Sondaggi con piezometro (SP)*: è stato allegata una stratigrafia, reperite da documentazione varia presso gli uffici comunali. La massima profondità raggiunta è di 55 metri dal piano campagna e hanno raggiunto la falda acquifera. Nessun pozzo ha raggiunto il substrato roccioso.
- *Sondaggio elettrico verticale (SEV)*: è stato allegato un sondaggio elettrico verticale.

➤ Indagini sismiche

Per ottenere la caratterizzazione del sottosuolo al fine di definire l'azione sismica di progetto, sono state eseguite n. 36 HVSR, n. 14 MASW e n. 14 ReMI. Inoltre sono state reperite cinque profili sismici a rifrazione (SR). La densità delle prove è stata sufficiente a una prima caratterizzazione "sismica" del territorio comunale. Non sono state eseguite indagini sismiche all'interno delle aree con terreni di riporto (cave, discariche, ecc.). La descrizione e i risultati di queste prove sono al cap. 4.2.

6.5.2 – Carta della pericolosità sismica locale

Nella “Carta della pericolosità sismica locale”, sono stati individuati tre scenari di pericolosità sismica locale:

- **P4a** :Zone caratterizzate da ghiaie in matrice sabbiosa, talvolta con livelli sabbiosi, e ghiaie a volte cementate in profondità.
- **P2c** :Zone caratterizzate da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici.
- **P2c_P3a** :Zone caratterizzate da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici (instabilità per cedimenti), e aree soggette ad amplificazioni topografiche.

6.5.3 – Carta delle frequenze fondamentali di vibrazione

La misura delle vibrazioni ambientali (note anche come rumore sismico ambientale o microtremori) o della sismica di fondo (weak motion) consentono di analizzare la variazione della risposta sismica di un sito al variare delle condizioni lito-stratigrafiche. Durante le indagini di microzonazione sismica dell'area aquilana dopo il terremoto del 06.04.2009, i risultati di tali analisi si sono rilevati estremamente utili. L'analisi dei microtremori attraverso misure HVSR ha consentito di mettere in luce fenomeni di risonanza sismica e di stimare le frequenze alle quali il moto del terreno può essere amplificato. Il metodo ha consentito inoltre di valutare qualitativamente l'entità dell'amplificazione, anche se l'ampiezza del picco HVSR è una grandezza da interpretare con cautela, e fornire stime di massima circa la profondità del contrasto di impedenza che causa la risonanza sismica (soprattutto se le misure HVSR vengono utilizzate in associazione ad altre informazioni sismo-stratigrafiche). I risultati delle analisi HVSR da microtremori hanno aiutato a definire e delimitare le “Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica” (es. curve H/V piatte per zone stabili, picchi per aree stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica, picchi con diversi valori di frequenza per diverse zone suscettibili di amplificazione), potranno dare informazioni su locali criticità utili in fase di pianificazione territoriale (es. frequenze fondamentali del terreno prossime a quelle proprie di una determinata tipologia di edifici) ed in generale saranno utili nella pianificazione delle indagini di approfondimento successive.

I risultati delle misure HVSR sono state rappresentate nella “Carta delle frequenze fondamentali di vibrazione”. Sono state riscontrate frequenze di risonanza ben riconoscibili come picchi nei grafici H/V. Queste sono state cartografate assegnando, a determinati intervalli di frequenze, colori diversi. In particolare i punti di misura sono stati rappresentati con le seguenti modalità:

- colore rosa: intervallo di frequenze da 1.0 a 3.0;
- colore arancione: intervallo di frequenze da 3.0 a 5.0;
- colore viola: f_0 non verificata in sito.

Questo metodo di suddivisione è stato realizzato per omogeneizzare i dati e per cercare di correlare i dati al campo d'interesse ingegneristico standard da 1 a 20 Hz, in modo da poter

eseguire una prima valutazione sul rischio e vulnerabilità degli edifici al fenomeno di doppia risonanza terreno-struttura in caso di terremoto.

PROVE	RISONANZA DEL TERRENO DA 0.1 - 20 Hz								NOTE
	Frequenze (Hz)	Ampiezza picco	Frequenze (Hz)	Ampiezza picco	Frequenze (Hz)	Ampiezza picco	Frequenze (Hz)	Ampiezza picco	
n.1	2.2	1.36	11.7	1.66					
n.2	2.42	1.5	23	1.56					
n.3	2	1.7	14.2	1.7					
n.4	2.1	1.7							
n.5	2.1	1.6							
n.6	1.94	1.55	3.87	1.9					
n.7	2.4	1.9							
n.8	2.34	1.6							
n.9	2.12	1.7	10.4	1.7					
n.10	3.65	2.8	11.2	2.5					
n.11	3.4	2.3							
n.12	1.55	2.7	3.5	2.3	19	2.8			
n.13	1.5	2.3	19	1.7					
n.14	1.7	1.8	16.6	2.1					
n.15	1.45	1.5	10.7	1.7					
n.16	1.8	1.85	3.1	2.7	9.3	2.9	19	2.1	
n.17	1.5	2.4	13.5	1.7					
n.18	1.5	1.8							
n.19	1.5	2							
n.20	1.25	1.9							
n.21	1.2	2	16.8	1.75					
n.22	1.18	1.89	1.6	1.7					
n.23	1.51	1.97							
n.24	1.9	1.57							
n.25	1.89	1.85	3.6	1.59	24.5	1.5			
n.26	1.5	1.84	12.45	1.78	18.5	2.07			
n.27	1.5	2.2	10.2	1.4					
n.28	1.77	1.74	12.3	1.4					
n.29	1.76	1.68							
n.30	2	1.8	3.4	1.6	26.4	2.52			
n.31	2.11	1.9	3.3	1.8	20.5	1.6			
n.32	2.2	1.76	3.35	1.55	6.55	1.69			
n.33	2.17	2.05	3.2	1.85	5.1	1.73			
n.34	2.08	1.62							
n.35	2.15	1.8							
n.36	1.9	1.54							

Tabella n. 2: Valori di risonanza del terreno (frequenza-ampiezza), considerando frequenze da 0.1 a 20.0 Hz

In tabella n.2 si riassumono le frequenze di risonanza del terreno da 0.10 a 20 Hz con le relative ampiezze di picco; la maggiore ampiezza di picco è stata di circa 2.9, alla frequenza di 9.3 Hz, nella prova n. 16.

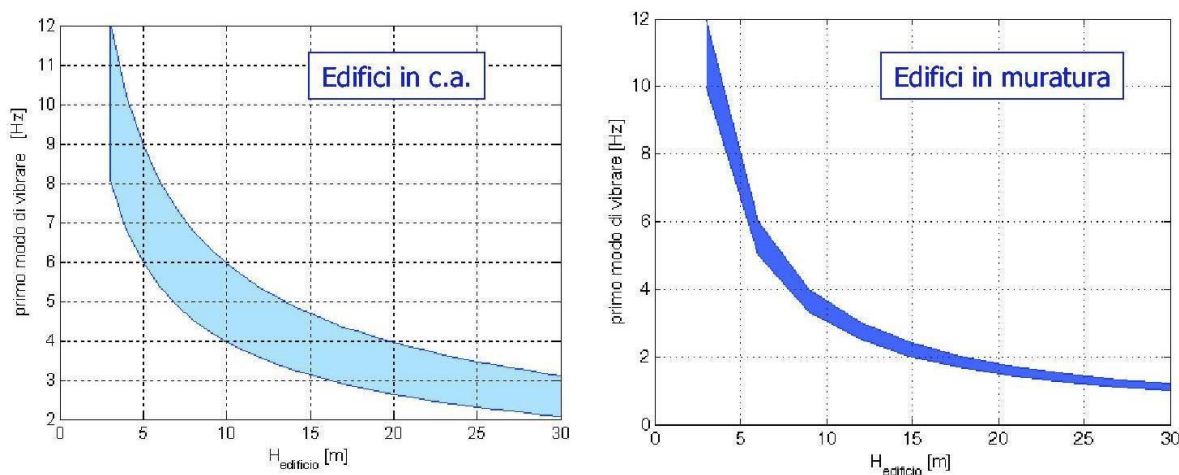


Tabella n. 3: Esempi di modi di vibrare di edifici (rapporto frequenze e altezze); il grafico di sinistra è relativo a edifici in cemento armato quello di destra a edifici in muratura. I valori tipici assunti per disegnare questi grafici sono stati ricavati dallo studio di Masi et al. – 2007.

Il grafico rappresentato in tabella n.5, permette di ottenere un'indicazione degli edifici a maggiore rischio e vulnerabilità, per fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura in caso di terremoto. La curva vale per edifici standard in c.a. e in muratura. La prassi migliore è eseguire il confronto o con la misura diretta dei modi di vibrare degli edifici se esistenti o con i risultati del calcolo dello strutturista attraverso l'analisi modale, nel caso di fabbricati in progetto. I modi principali di vibrare di un edificio si possono misurare con tecniche passive molto rapide e simili a quelle descritte in questo studio; le misure dirette sono raccomandabili, rispetto al calcolo da modello o alla stima attraverso relazioni standard come quelle riportate nei grafici di tabella n.5, in quanto esiste una notevole variazione da struttura a struttura.

Se consideriamo la relazione tipica “altezza edificio-frequenza di risonanza” (vd. Tabella n.5 grafico per edifici in cemento armato), si evidenzia che, considerando le frequenze di risonanza del terreno misurate in sito da 2 a 3 Hz provocano un effetto di doppia risonanza suolo-struttura sugli edifici di altezza tra i 15-30 metri circa, da 5.5 a 7 Hz su quelli di altezza da 4 a 12 metri, da 8 a 10 Hz su quelli di altezza da 3 a 7 metri, superiori a 10 Hz su quelli di altezza da 3-4 metri.

6.5.4 – Carta di Microzonazione sismica di secondo livello (Fa) e (Fv)

Per la stesura della **Carta di microzonazione sismica di secondo livello**, gli “Indirizzi e criteri di Microzonazione sismica” prevedono di “...costruirla sulla base dei valori di amplificazione ottenuti per ciascuna zona attraverso gli abachi (F_a = Fattore di amplificazione a basso periodo, determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione e F_v = Fattore di amplificazione a periodo proprio, per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità) e sulla base dei valori numerici attribuiti, con le metodologie semplificate, per le zone suscettibili di instabilità...”. Prevede inoltre una suddivisione in tre tipi di zone:

- a) Zone stabili: non si prevedono effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento.
- b) Zone stabili suscettibili di amplificazione: sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione stratigrafica e morfologica locale. Queste zone saranno caratterizzate dai valori numeri di FA e FV, dedotti dagli abachi.
- c) Zone suscettibili di instabilità: gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio; questi effetti possono essere distinti in quattro categorie:
 - *Zone di attenzione per Instabilità di versante;*
 - *Zone di attenzione per liquefazione;*
 - *Zone di attenzione per faglie attive e capaci;*
 - *Zone di attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti;*
 - *Zone di attenzione per cedimenti differenziali / crollo di cavità / sinkhole.*

Gli abachi per la stima della risposta sismica locale non possono essere applicati in zone con effetti di amplificazione topografica, o con effetti 2D, o con aggravi del moto dovuti a deformazioni permanenti. L'utilizzo degli abachi è raccomandato perciò nel caso di un assetto geologico e geotecnico assimilabile a un modello fisico monodimensionale, con strati poggianti su un basamento sismico (bedrock). Nei siti in oggetto, ad esclusione delle aree di cava, è stato possibile applicare gli abachi per l'amplificazione litostratigrafica, mentre l'effetto morfologico è stato escluso in quanto le pendenze sono inferiori a 15° (v. all. "A" dgrv 1572/2013 par. 3.2.1); è da escludere anche l'effetto morfologico nelle zone di fondovalle dovuto ai bacini sepolti, in quanto $C(h/l) < 0.25$ (valle larga) e $h/l \leq 0.65 / \sqrt{(C_v - 1)}$ (dove "h" è il massimo spessore del deposito nella valle, "l" la sempiampiezza della valle, C_v il rapporto tra la V_s del basamento e quella media dei terreni di riempimento).

Nelle "Carte di Microzonazione Sismica di secondo livello (Fa) e (Fv)" a scala 1:10.000 sono stati rappresentati i valori di "Fa" e "Fv" come esemplificato negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica"- versione 4.0, e i calcoli sono stati realizzati attraverso gli abachi ICSM 2008. I parametri d'ingresso e i valori finali di "Fa" e "Fv" sono indicati nella Tabella n.4.

In entrambe le cartografie, le zone **P2c** (zone caratterizzate da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici) e **P2c_P3a** (zone caratterizzate da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici, e aree soggette ad amplificazioni topografiche), della carta di Pericolosità Sismica, rientrano in "Zone soggette ad approfondimento di terzo livello".

SITO	Prove in sito	a (g)	Tipo Terreno e Profilo di velocità	V _{SH} (m/s)	H (profondità a bedrock sismico) - metri	V _s (bedrock sismico) - m/s	FA	FV	Δ FA	Δ FV
n.1	HVSR n.1	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	390	44	680	1.42	1.7	1.3-1.4	1.7-1.8
n.2	Remi n.1 Masw n.1 HVSR n.2	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	391	40.5	700	1.48	1.67	1.5-1.6	1.7-1.8
n.3	HVSR n.3	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	390	45.3	700	1.42	1.7	1.3-1.4	1.7-1.8
n.4	HVSR n.4	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	390	45.3	700	1.42	1.7	1.3-1.4	1.7-1.8
n.5	Remi n.2 Masw n.2 HVSR n.5	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	380	44.4	700	1.44	1.74	1.3-1.4	1.7-1.8
n.6	HVSR n.6	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	386	46	700	1.45	1.78	1.5-1.6	1.7-1.8
n.7	HVSR n.7	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	385	50.5	700	1.41	1.84	1.3-1.4	1.7-1.8
n.8	HVSR n.8	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	370	43	670	1.46	1.82	1.5-1.6	1.7-1.8
n.9	HVSR n.9	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	/	/					
n.10	Remi n.3 Masw n.3 HVSR n.10	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	455.5	37	800	1.45	1.43	1.5-1.6	1.3-1.4
n.11	HVSR n.11	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	/	/					
n.12	HVSR n.12	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	/	/					
n.13	HVSR n.13	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	/	/					
n.14	HVSR n.14	0.18	GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	/	/					

SITO	Prove in sito	a (g)	Tipo Terreno e Profilo di velocità	V _{SH} (m/s)	H (profondità bedrock sismico) - metri	V _s (bedrock sismico) - m/s	FA	FV	Δ FA	Δ FV
n.15	Remi n.4 Masw n.4 HVSr n.15	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	466	79	750	1.21	1.63	1.1-1.2	1.5-1.6
n.16	Remi n.5 Masw n.5 HVSr n.16	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	490	69.8	800	1.23	1.48	1.1-1.2	1.5-1.6
n.17	HVSr n.17	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	/	/					
n.18	Remi n.6 Masw n.6 HVSr n.18 HVSr n.19	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	396	72.5	750	1.3	1.75	1.3-1.4	1.7-1.8
n.19	Remi n.7 Masw n.7 HVSr n.20 HVSr n.21	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	421	84.5	770	1.24	1.6	1.1-1.2	1.5-1.6
n.20	Remi n.8 Masw n.8 HVSr n.22 HVSr n.23	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	421	78.8	750	1.24	1.63	1.1-1.2	1.5-1.6
n.21	Remi n.9 Masw n.9 HVSr n.24 HVSr n.25	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	415	68.8	720	1.32	1.74	1.3-1.4	1.7-1.8
n.22	Remi n.10 Masw n.10 HVSr n.26 HVSr n.27	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	419	66.9	780	1.3	1.73	1.3-1.4	1.7-1.8
n.23	Remi n.11 Masw n.11 HVSr n.28 HVSr n.29	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	454	64	770	1.28	1.61	1.3-1.4	1.5-1.6
n.24	Remi n.12 Masw n.12 HVSr n.30 HVSr n.31	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	453	58.5	770	1.32	1.6	1.3-1.4	1.5-1.6
n.25	Remi n.13 Masw n.13 HVSr n.32 HVSr n.33	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	423	55	770	1.34	1.67	1.3-1.4	1.7-1.8
n.26	Remi n.14 Masw n.14 HVSr n.34 HVSr n.35	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	389	46.5	700	1.43	1.74	1.3-1.4	1.7-1.8
n.27	HVSr n.36	0.18	- GHIAIA - Lineare pendenza intermedia	/	/	/				

Tabella n. 4: Parametri d'ingresso e valori di "Fa" e "Fv" nei siti d'indagine, calcolati con gli abachi ICSM 2008

7. CONCLUSIONE

In questo lavoro si è realizzata la Microzonazione sismica di secondo livello del territorio comunale. Si è fatto riferimento agli “*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione sismica*” vers. 4.0” della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica e alle linee guida della DGRV 1572/2013.

E' stata redatta la seguente cartografia:

- Carta delle Indagini;
- Carta della pericolosità sismica locale;
- Carta delle frequenze fondamentali di vibrazione;
- Carta di Microzonazione sismica di secondo livello (Fa);
- Carta di Microzonazione sismica di secondo livello (Fv).

Lo studio ci ha consentito di stabilire che tutte le aree in esame sono suscettibili di amplificazioni locali. Dall'elaborazione dei dati sismici è stato possibile individuare i fattori di amplificazione (“Fa” e “Fv”). Le zone “P2c” (zone caratterizzate da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici) e “P2c_P3a” (zone caratterizzate da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici, e aree soggette ad amplificazioni topografiche), della carta di Pericolosità Sismica, in cui non sono state eseguite indagini sismiche vista la variabilità dei terreni, appartengono alla categoria delle “*Zone soggette ad approfondimento di terzo livello*” presente nella carta di Microzonazione sismica di secondo livello.

A seguito dello studio di Microzonazione sismica di secondo livello si propone la seguente normativa tecnica:

- Articolo “x” - Microzonazione sismica

a) “*Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali Fa e Fv*” (da Carta di Microzonazione sismica di secondo livello)

- Per costruzioni ordinarie ovvero non di carattere strategico per fini di protezione civile o rilevanti per l'uso, come elencate nell'allegato A e B della DGRV 28.11.2003 n. 3645, il progettista, ai sensi del DM 14.01.2008 e successive modifiche e/o integrazioni, in base alle considerazioni sopraesposte e alla tipologia di costruzione, potrà scegliere se utilizzare il metodo semplificato e/o i risultati dell'analisi della Microzonazione sismica di 2° livello e/o eseguire valutazioni di RSL
- Per costruzioni di carattere strategico per fini di protezione civile o rilevanti per l'uso, come elencate nell'allegato A e B della DGRV 28.11.2003 n. 3645, è necessario procedere ad un'analisi sismica di terzo livello, come previsto dal par. 4.2.1 della DGRV 1572/2013.

b) *“Zone soggette ad approfondimento di terzo livello” (da Carta di Microzonazione sismica di secondo livello)*

E' vietata qualsiasi tipo di costruzione appartenente alle Classi I, II, III, e IV (v. DM 14.01.2008 punto 2.4.2), a meno che, un'analisi sismica di terzo livello, valuti superabile l'instabilità definita nella Microzonazione sismica di primo e secondo livello. Va sottolineato che queste aree sono anche *“zone stabili suscettibili di amplificazioni locali”*.

Maser, Settembre 2017

Il geologo

dott. geol. Livio Sartor

