

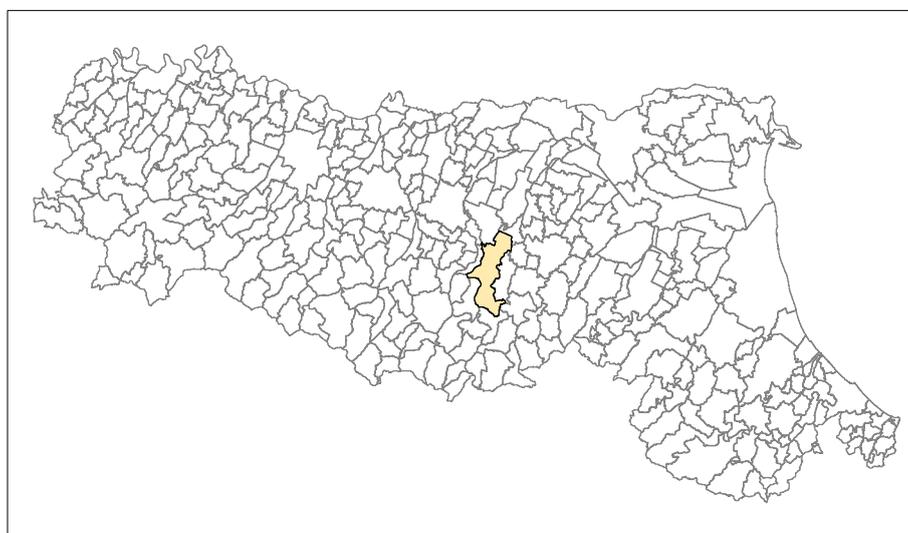
Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009. n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Valsamoggia



Regione	Emilia-Romagna	Soggetto realizzatore	R.T.I.:	Data	Novembre 2016
		  			

Unione dei Comuni Valli del Reno, Lavino e Samoggia

**REDAZIONE DELL'ANALISI DELLA CONDIZIONE
LIMITE PER L'EMERGENZA (CLE) E DI LOCALI
APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 3 DELLO
STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DEI
COMUNI DELL'AREA BAZZANESE: MONTE SAN
PIETRO, VALSAMOGGIA E ZOLA PREDOSA**

COMUNE DI VALSAMOGGIA

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

approvato
Marco Andreoli
verificato
Giovanni Carra
elaborato
Mattia Galletti

0	MG	GV	AN	novembre 2016
rev.	sigle			data

codice elaborato 0564-02-01-01R-00

SISTEMA CERTIFICATO
ISO 9001:2008



Cert. N. 01296

Mod. PO01/06

Rev. 1

Data emissione: 02.2014

Indice

1	Introduzione	1
2	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	3
2.1	Sismicità storica dell'area	4
2.2	Sorgenti sismogenetiche	7
2.3	Zonazione Sismogenetica	8
3	Assetto geologico e geomorfologico dell'area	11
3.1	Aspetti tettonici generali	13
3.2	Assetto stratigrafico	14
3.2.1.	Successione neogenico-quadernaria di margine - Depositi quadernari continentali.....	14
3.2.2.	Successione neogenica quadernaria di margine – Substrato geologico marino	15
3.2.3.	Successione epiligure	15
3.2.4.	Successione ligure	15
3.2.5.	Successione subligure	16
3.3	Contestualizzazione delle aree in studio	16
3.3.1.	Valsamoggia (Crespellano)	16
3.3.1.1	Località Pedretta	16
3.3.1.2	Case Via Provinciale	17
3.3.1.3	Ponte Samoggia.....	18
3.3.1.4	Calcara	18
3.3.2.	Valsamoggia (Montevoglio)	19
3.3.3.	Valsamoggia (Savigno)	20
3.3.3.1	Savigno	20
3.3.3.2	Villa.....	22
3.3.3.3	Vedegheto	22
4	Dati geotecnici e geofisici	24
4.1	HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)	24
4.2	MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	25
4.3	Prova sismica in foro Down Hole (DH)	26
4.4	Profilo sismico a rifrazione	26
4.5	Prova penetrometrica statica (CPTU)	27
4.6	Sondaggio geognostico	27
5	Modello del sottosuolo.....	28
5.1.1.	Località Pedretta	28
5.1.2.	Case Via Provinciale	28
5.1.3.	Ponte Samoggia	28
5.1.4.	Calcara.....	29

5.1.5.	Monteveglia	29
5.1.6.	Savigno	29
5.1.7.	Villa	30
5.1.8.	Vedegheto	31
6	Interpretazione e incertezze	32
7	Metodologie e elaborazione risultati	33
7.1	Analisi di RSL con metodi numerici monodimensionali (EERA)	33
7.1.1.	Risultati	38
7.1.1.1	Località Pedretta	39
7.1.1.2	Case Via Provinciale	42
7.1.1.3	Ponte Samoggia	44
7.1.1.4	Calcara	46
7.1.1.5	Monteveglia	49
7.1.1.6	Savigno	51
7.1.1.7	Villa	54
7.1.1.8	Vedegheto	57
7.2	Calcolo degli effetti topografici	59
7.3	Verifica alla possibilità di liquefazione	62
7.3.1.	Risultati	67
7.4	Determinazione dei valori di instabilità di versante in condizioni dinamiche	69
7.4.1.	Metodo di Janbu (1967)	70
7.4.2.	Metodo degli spostamenti (Newmark, 1965)	72
7.4.3.	Risultati	73
8	Elaborati cartografici	81
8.1	Carta delle indagini	81
8.2	Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica	81
8.3	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica	83
8.3.1.	Zone stabili suscettibili di amplificazione locali	83
8.3.2.	Zone di attenzione per le instabilità	88
8.4	Carta di Microzonazione Sismica	89
8.4.1.	Zone suscettibili di instabilità	90
8.5	Carta delle frequenze naturali dei terreni	91
8.6	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	92
8.7	Carta delle sezioni	92
9	Commenti finali e criticità	94
10	Bibliografia	95
11	Allegati	97

1 Introduzione

Il presente lavoro è stato condotto su incarico delle Amministrazioni dei Comuni di Valsamoggia, Monte S.Pietro e Zola Predosa ed è stato finalizzato, secondo i contenuti del disciplinare di incarico, alla "REDAZIONE DELL'ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA (CLE) E DI LOCALI APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 3 DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELL'AREA BAZZANESE: MONTE SAN PIETRO, VALSAMOGGIA E ZOLA PREDOSA. I principali riferimenti tecnici e normativi sono i seguenti:

- Deliberazione di Giunta della Regione Emilia-Romagna n. 1919 del 16/12/2013,
- Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 02/05/2007 e relativo Allegato,
- DGR 2193/2015 Aggiornamento dell'atto di coordinamento di cui alla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 02/05/2007,
- Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52 del 20 Febbraio 2013
- Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile 15 Aprile 2013 e relativi Allegati,
- "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione civile e dalla Conferenza Unificata delle Regioni e delle Province autonome, nonché della normativa Nazionale di settore vigente.
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la microzonazione sismica di riferimento sono quelli pubblicati dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica nell'ottobre 2015 nella versione 4.0b.

Lo studio si è avvalso, inoltre, dei dati già raccolti ed elaborati per la formazione del Piano Strutturale dei Comuni dell'Area Bazzanese, per le Varianti agli strumenti urbanistici vigenti ai sensi dell'art. 41 L.R. 20/2000 e ss.mm.ii., e degli studi elaborati per il POC di Monteveglio vigente, e ha raccordato questi ultimi alle attività oggetto del presente incarico, al fine di consegnare gli elaborati e archiviare i dati come richiesto dalle specifiche tecniche allegate alla citata D.G.R. n. 1919 del 16/12/2013 (e successive modificazioni).

Le attività hanno riguardato inoltre:

- raffronto e coordinamento con l'Ufficio di Piano Associato e con gli Enti Sovraordinati per assicurare la coerenza con gli strumenti di pianificazione vigente e in corso di elaborazione (PSC e RUE approvati, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – PTCP – con particolare riferimento alla tematica della riduzione del rischio sismico);
- assistenza e consulenza alle Amministrazioni Comunali associate in tutte le fasi dell'iter formativo e approvativo dello Studio;
- analisi e validazione degli studi eventualmente già in possesso dei Comuni inerenti alle aree oggetto di incarico;
- rapporti con gli Organismi tecnici delle Amministrazioni Comunali associate, per sottoporre all'esame lo Studio in oggetto ed i relativi elaborati nelle varie fasi dell'incarico;
- Definizione delle metodologie per la elaborazione dello Studio in oggetto da concordare con la Provincia di Bologna e la Regione Emilia-Romagna: definizione della struttura, delle caratteristiche e dei contenuti, nel rispetto delle disposizioni normative pianificatorie e regolamentari;
- Stesura della bozza di CLE e di locali approfondimento di livello 3 della Microzonazione sismica (parte cartografica e parte descrittiva) da sottoporre ai competenti Uffici della Provincia di Bologna e della Regione Emilia-Romagna;
- Partecipazione alle fasi di presentazione e discussione dello Studio oggetto del presente incarico nelle sedi istituzionali previste (Regione Emilia-Romagna, Provincia di Bologna, altri Enti competenti);

- esame delle osservazioni e adeguamento alle richieste di modifica/integrazione eventualmente formulate dalla Regione Emilia-Romagna;
- redazione di tutta la documentazione tecnica illustrativa definitiva (relazioni, tabelle, grafici, tavole, ecc. come eventualmente modificati a seguito della richiesta di modifica/integrazione) necessaria per l'approvazione dello Studio e per l'acquisizione del Certificato di Conformità della Regione Emilia-Romagna.

2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

Il territorio nazionale è stato suddiviso, in base a differenti valori di accelerazione orizzontale al suolo (a_g), in quattro zone a pericolosità decrescente. L'OPCM n. 3274 del 2003, che prevedeva questa suddivisione è stata poi aggiornata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 il quale ha fornito alle Regioni uno strumento che ha permesso di introdurre intervalli di accelerazione massima del suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat A), da attribuire alle 4 zone sismiche.

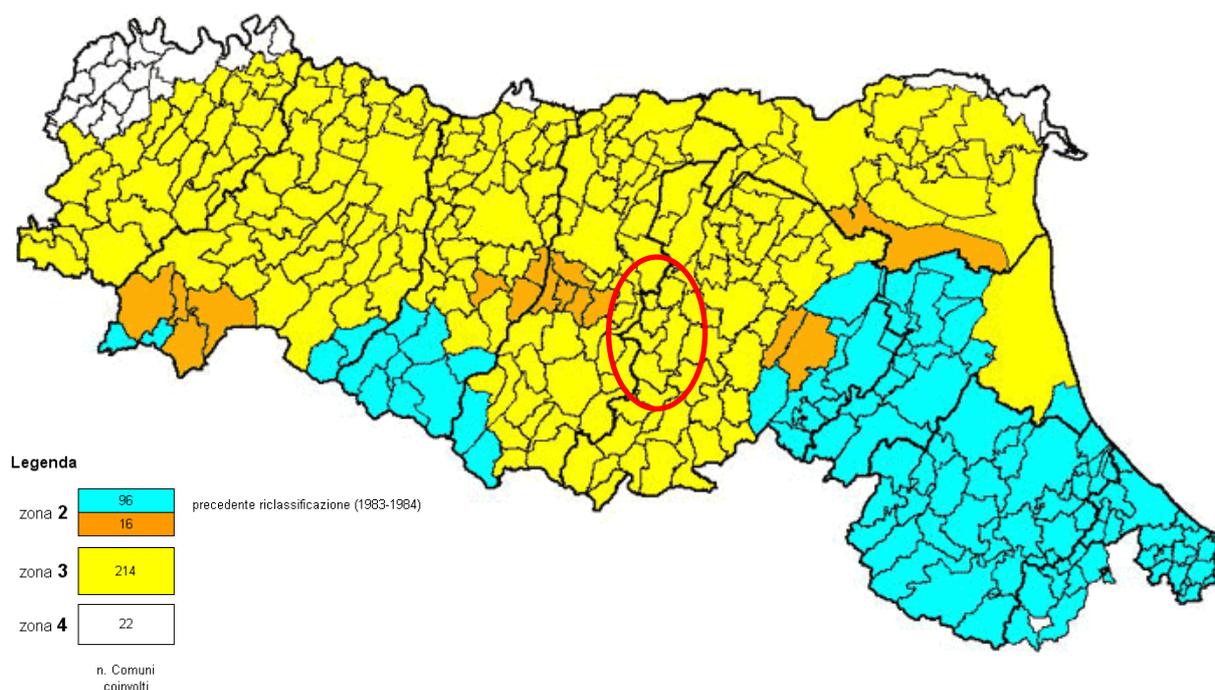


Fig. 1 Classificazione sismica della regione Emilia-Romagna in base all'OPCM n. 3274/2003

Come indicato in Fig. 1 e in Tab. 1, le aree in esame si trovano comprese in Zona 3, quindi si attendono valori di pericolosità compresi tra 0,05 e 0,15 con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. In questa area quindi solo raramente si possono verificare terremoti di forte intensità.

Tab. 1 Classificazione delle zone sismiche in base al valore di accelerazione massima del suolo a_g .

Zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % i 50 anni [a_g/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (NTC) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15 - 0,25	0,25
3	0,05 - 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

Con l'entrata in vigore successiva delle NTC08, la pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni, le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi parametri vengono definiti in corrispondenza di un reticolo di riferimento nelle mappe interattive della pericolosità sismica (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>). Sempre in questa mappa è possibile ottenere i grafici di disaggregazione in termini di Magnitudo-Distanza che mettono in evidenza la pericolosità sismica di eventi sismici limitrofi.

2.1 Sismicità storica dell'area

Il territorio comunale di Valsamoggia è contraddistinto da una storia sismica in cui si sono susseguiti terremoti con intensità da media a forte. In alcune zone infatti si è raggiunto il 7° grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (la quale considera gli effetti distruttivi su persone e cose per misurare l'intensità del sisma).

Le informazioni riguardanti gli eventi sismici avvenuti nelle aree in esame sono state ricavate dal database delle osservazioni macrosismiche dei territori italiani "DBMI11" (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>).

Nelle figure successive sarà rappresentata la storia sismica delle singole zone oggetto di studio, limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale (MCS) uguale o superiore a 4-5. Saranno quindi elencati i terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio.

Storia sismica di Crespellano [44.514, 11.129]

Numero di eventi: 13

Effetti	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
Is (MCS)					
4-5	1929 04 10 05:43:12	Bolognese	87	7	5.03 ±0.13
6	1929 04 19 04:15:22	Bolognese	82		
7	1929 04 20 01:09:46	Bolognese	109	7	5.34 ±0.13
5-6	1929 04 22 08:25:33	Bolognese	41		
5-6	1929 04 28 19:39:54	Bolognese	20		
5-6	1929 04 29 18:35:59	Bolognese	45		
6	1929 05 11 19:22:48	Bolognese	64		
4	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7	5.39 ±0.14
4	1983 11 09 16:29:52	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07:20	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
4	1992 04 17 11:59:09	Montevoglio	56	4-5	4.32 ±0.18
NF	2000 06 18 07:42:08	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09
4-5	2003 09 14 21:42:53	Appennino bolognese	133	6	5.29 ±0.09

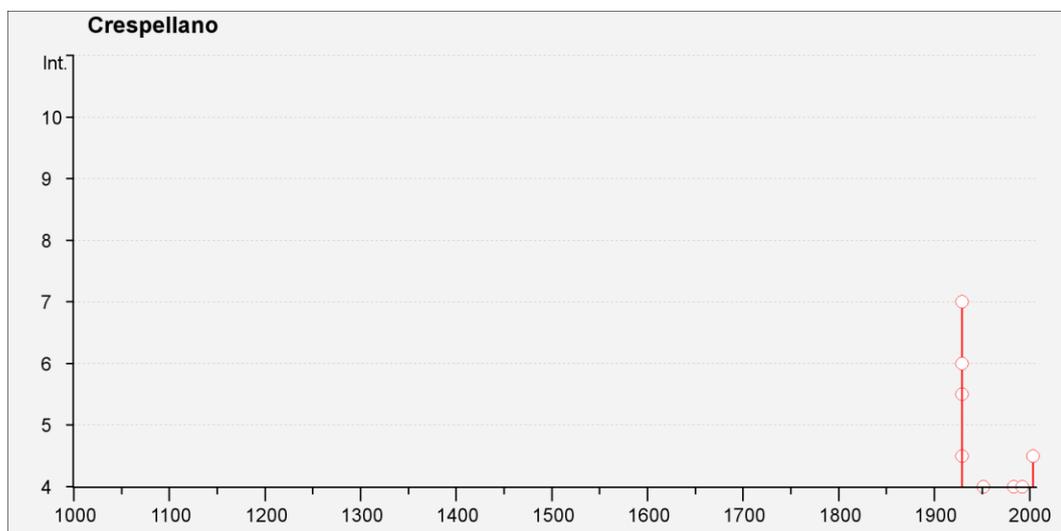


Fig. 2 Rappresentazione degli eventi sismici significativi nell'ex comune di Crespellano, attuale Valsamoggia

Osservando Fig. 2 è facile intuire che i terremoti con gli effetti più significativi risultano essere i sismi del 1929 nell'area epicentrale Bolognese, di cui uno su tutti produsse effetti del 7° grado MCS.

Storia sismica di Monteveglio [44.514, 11.129]

Numero di eventi: 10

Effetti	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
Is (MCS)					
5-6	1929 04 19 04:15	Bolognese	82		
7	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7	5.34 ±0.13
6-7	1929 04 22 08:25	Bolognese	41		
5-6	1929 04 28 19:39	Bolognese	20		
6-7	1929 05 11 19:22	Bolognese	64		
3-4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
3	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09
5-6	1992 04 17 11:59	Monteveglio	56	4-5	4.32 ±0.18
NF	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7	4.85 ±0.09

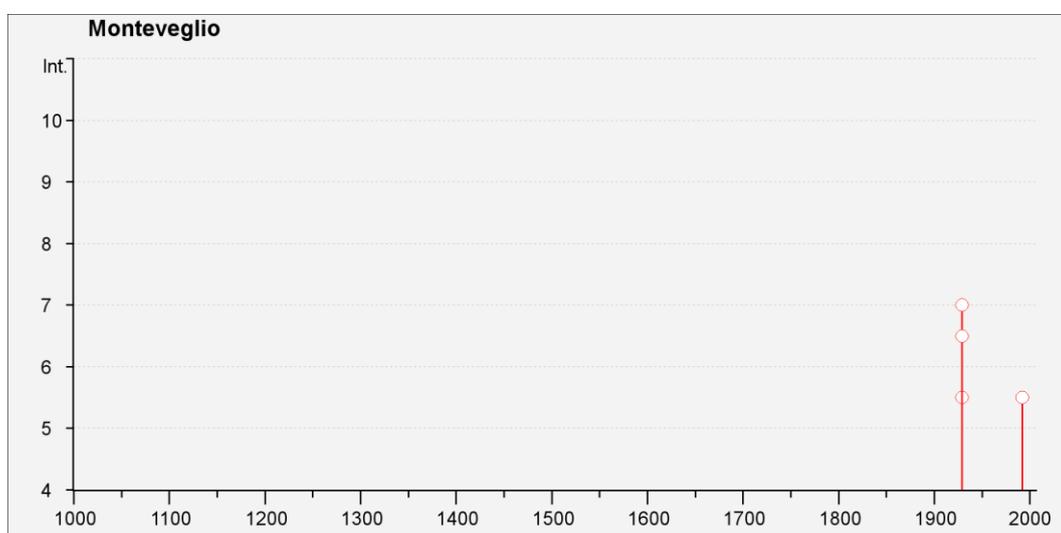


Fig. 3 Rappresentazione degli eventi sismici significativi nell'ex comune di Monteveglio, attuale Valsamoggia

Nell'ex comune di Monteveglio la situazione è pressoché simile. Infatti i sismi del 1929 risultano i più importanti; anche qui il terremoto raggiunse il 7° grado MCS, e si sviluppò nell'area Bolognese.

In Fig. 4, nell'ex comune di Savigno la situazione è leggermente differente in quanto il sisma che ha provocato più danni è attribuibile al terremoto del 1864 con epicentro in località Zocca (appennino modenese) con intensità massima stimata al 6° grado MCS.

Nelle tabelle il termine "Is" è riferito all'intensità al sito per ogni evento sismico e per ognuno di essi è indicata l'ora, il giorno, l'area e l'intensità macrosismica epicentrale, e la magnitudo del momento sismico (MMS – Moment Magnitude Scale). Quest'ultima è stata sviluppata come aggiornamento della scala Richter.

Nella prima colonna, in alcuni casi, è presente la sigla "NF" ovvero "non segnalato", quindi non esprimibile in termini di intensità macrosismica.

Storia sismica di Savigno [44.514, 11.129]

Numero di eventi: 8

Effetti	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
Is (MCS)					
6	1864 03 15	ZOCCA	13	6-7	4.90 ±0.71
NF	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8	5.41 ±0.09
3	1899 06 26 23:17	Valle del Bisenzio	138	7	5.06 ±0.15
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
NF	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09
3	1992 04 17 11:59	Montevoglio	56	4-5	4.32 ±0.18
NF	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7	4.85 ±0.09
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09

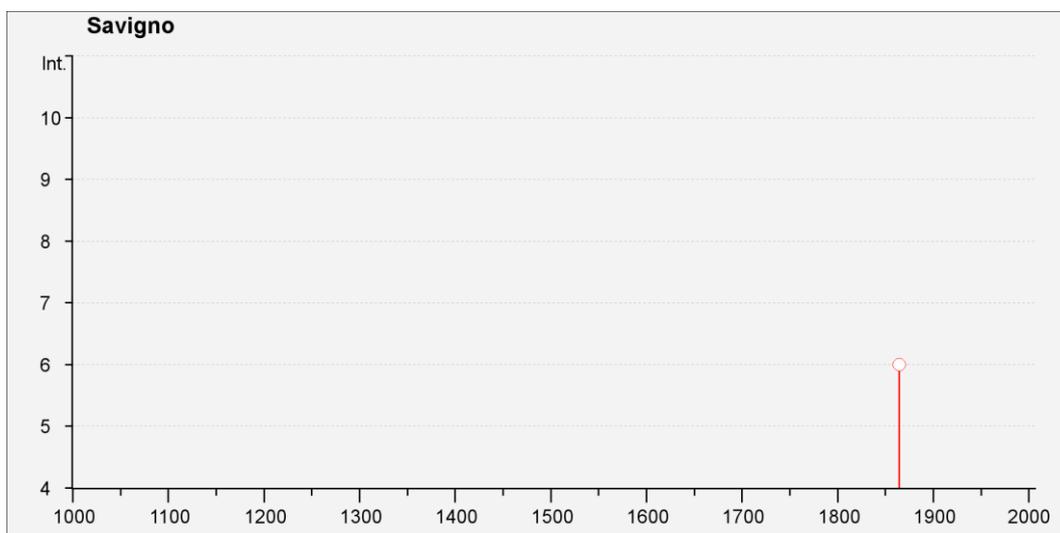


Fig. 4 Rappresentazione degli eventi sismici significativi nell'ex comune di Savigno, attuale Valsamoggia

2.2 Sorgenti sismogenetiche

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia ha diffuso, nell'ambito del Progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale. La Fig. 5 mostra le aree riferite alla versione più aggiornata DISS 3.2.0 "A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas" del 2015 (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>).

Le aree oggetto di studio nel comune di Valsamoggia si trovano nei pressi delle sorgenti sismogenetiche composite classificate come: "ITCS047: Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme" a partire dalla quale possono svilupparsi sismi di magnitudo massima (Mw) pari a 6,0 (Scala Richter) e "ITCS027: Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga" dove possono verificarsi sismi di magnitudo massima 6,2. La sorgente sismogenetica composita rappresenta da un punto di vista geometrico la proiezione sulla superficie terrestre della superficie di faglia.

Nella ITCS047 sono presenti due sorgenti sismogenetiche individuali chiamate: "ITIS103: Crespellano" in cui la massima magnitudo che può manifestarsi è di 5,6 e più a est "ITIS091: Casalecchio di Reno".

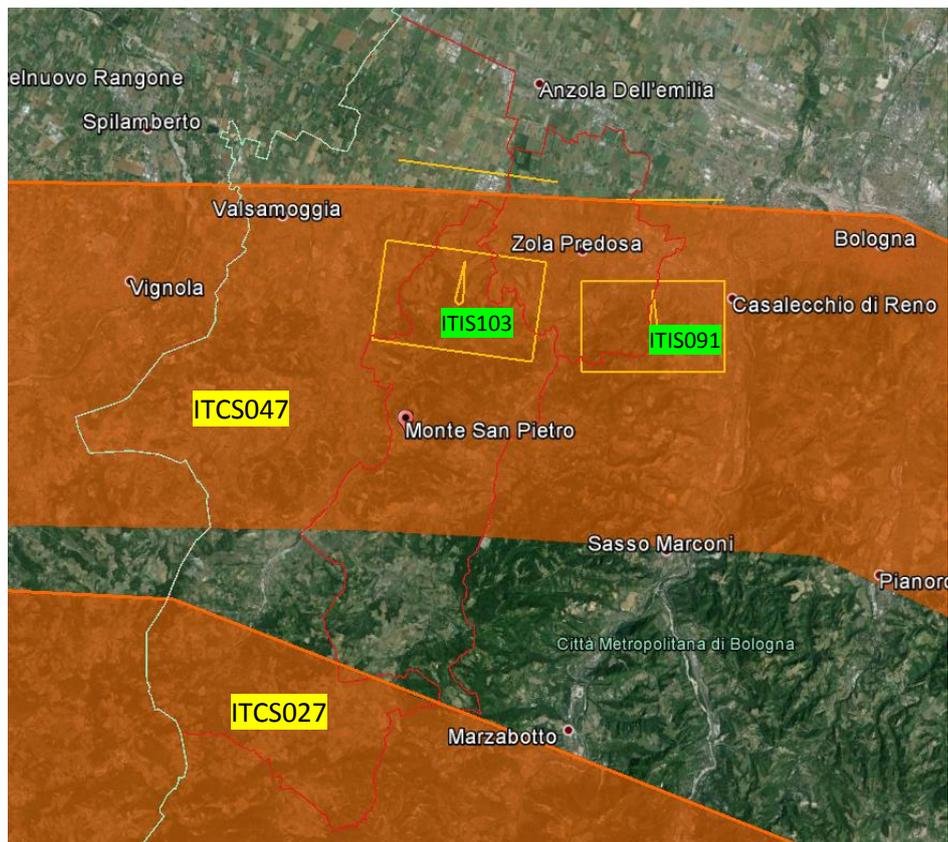


Fig. 5 Foto aerea con l'ubicazione delle Zone e delle Sorgenti sismogenetiche (Google Earth)

2.3 Zonazione Sismogenetica

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha realizzato una zonazione sismogenetica (ZS9) del territorio nazionale per soddisfare diversi requisiti, ed in particolare per recepire le conoscenze più recenti sulla tettonica attiva della penisola e sulla distribuzione delle sorgenti sismogenetiche, fornire per ogni zona una stima della profondità efficace dei terremoti (ovvero l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti) e un meccanismo di fagliazione prevalente attraverso l'analisi cinematica di eventi geologici importanti che interessano la crosta superficiale e anche strutture profonde (INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004).

La ZS9 rappresenta la più recente zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale ed è stata elaborata tenendo in considerazione i principali riferimenti informativi sui terremoti: progetto DISS e il Database Macrosismico Italiano (DBMI11) che contiene i dati di intensità utilizzati per la compilazione dei parametri del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani rilasciato nel dicembre 2011 (CPTI11).

Il territorio italiano è suddiviso in 36 aree differenti numerate da 901 a 936 cui vanno aggiunte 6 zone non utilizzate in quanto non contribuiscono alla pericolosità del territorio italiano o hanno un numero di eventi interno molto basso. Si possono distinguere le seguenti porzioni (vedi Fig. 6):

- Arco alpino: 901 ÷ 910
- Appennino settentrionale e centrale: 911 ÷ 923
- Appennino meridionale e avampaese apulo: 924 ÷ 928 e 931
- Calabria: 929 – 930
- Sicilia: 932 ÷ 936

Se si osserva Fig. 7 l'area in esame ricade quasi completamente all'interno della zona 913 nel settore dell'Appennino settentrionale. Insieme alle zone 914 e 918 rappresenta una fascia in cui si verificano

terremoti prevalentemente compressivi nel settore in esame e distensivi nella porzione più sud-orientale. Le profondità ipocentrali sono mediamente superiori rispetto alla fascia più esterna e le magnitudo raggiunte presentano di rado valori elevati.

A nord il comune di Valsamoggia ricade nella zona 912, che rappresenta la porzione più esterna della fascia di compressione dell'arco appenninico settentrionale. La sismicità in questa zona sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato a ridosso del Po.

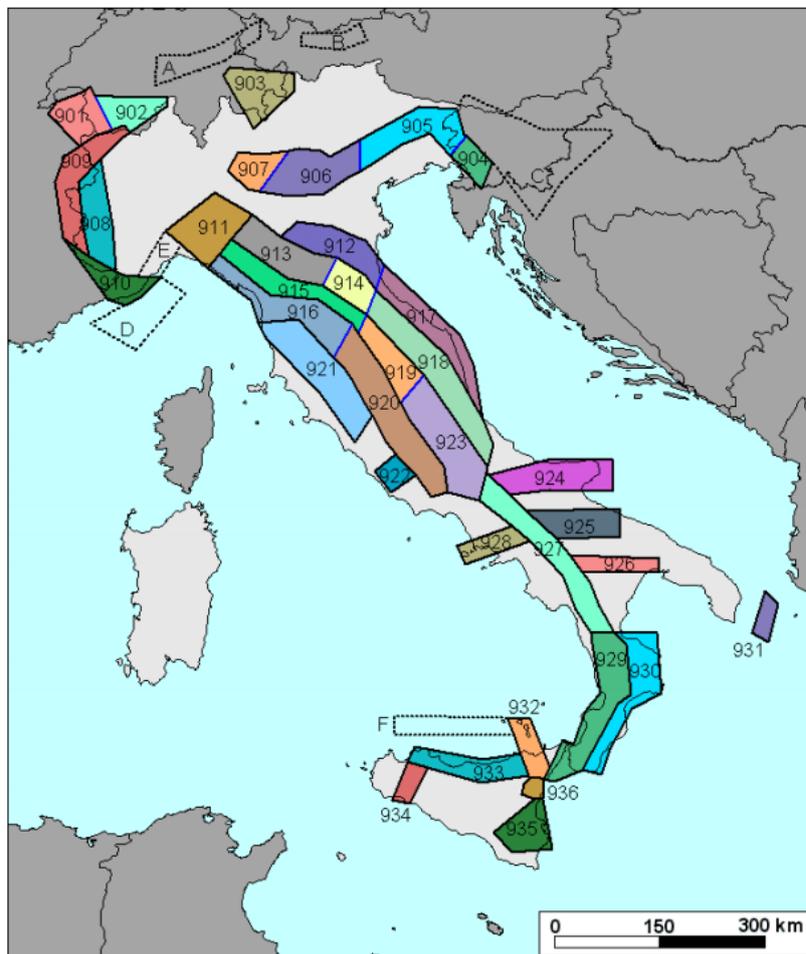


Fig. 6 Zonazione sismogenetica ZS9. I limiti blu separano zone con analogo significato cinematico ma diverse caratteristiche sismiche (fonte: INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004)

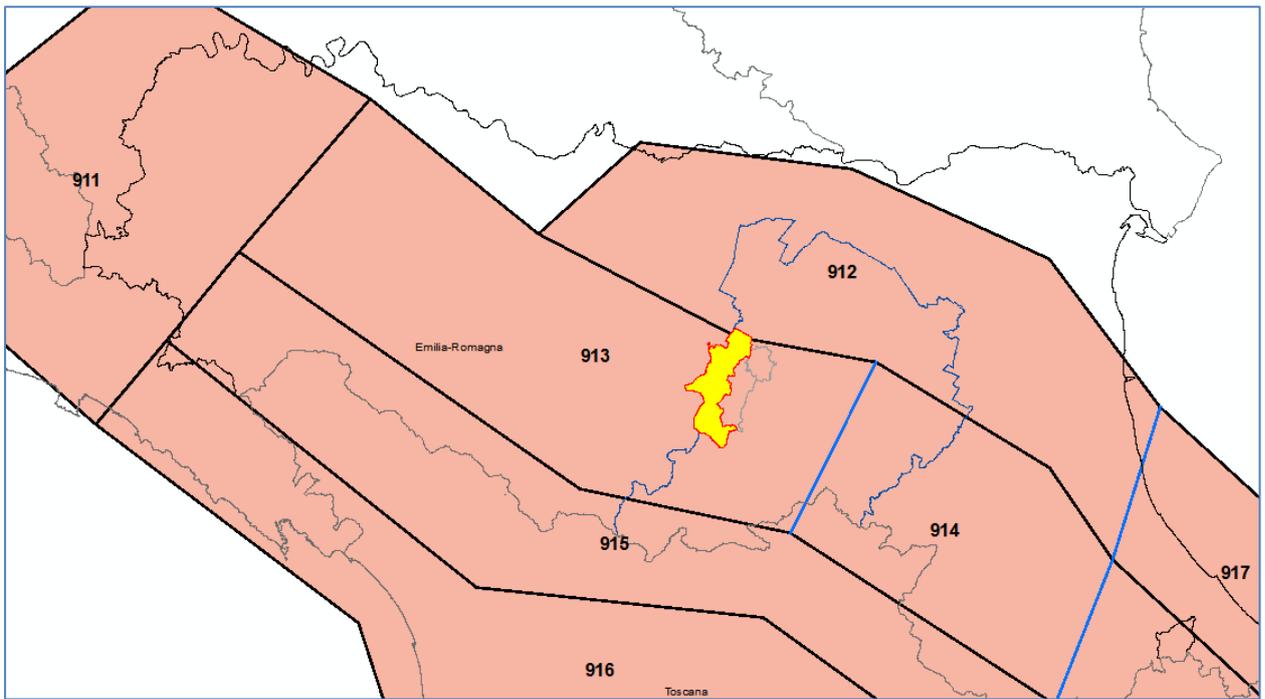


Fig. 7 Particolare di Fig. 6 in cui ricade il comune di Valsamoggia

3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

L'inquadramento geologico descritto nel seguito è stato redatto sulla base delle informazioni contenute nelle sezioni e nelle note illustrative dei fogli CARG 237 Sasso Marconi (F. Panini, G. Bettelli et alii, 2002), 220 Casalecchio di Reno (L. Martelli, A. Benini et alii, 2009) e nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 consultabile sul sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Le aree considerate nel presente studio occupano un' area estesa comprendente sia una porzione appenninica, zona di Vedegheto, nell'ex comune di Savigno, sia la pianura alluvionale. I rilievi appenninici arrivano a quote superiori a 600 m s.l.m. mentre spostandosi verso nord la morfologia tende degradare progressivamente fino alle porzioni più depresse della pianura (20 m s.l.m.). Il territorio del comune è delimitato a est dal Torrente Lavino e a Ovest dal Torrente Samoggia. I due torrenti presentano bacini idrografici di 84 km²(Torrente Lavino) e di 167 km²(Torrente Samoggia).

Il territorio può essere quindi distinto in due macroaree (vedi Fig. 8):

- a) porzione nord caratterizzata per lo più dalla pianura alluvionale e dal margine appenninico-padano: affiorano per di più depositi appartenenti al Supersistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) e parte della successione evaporitica del margine padano (Sabbie di Imola , Argille Azzurre);
- b) porzione sud in cui sono presenti i rilievi appenninici e affiorano principalmente le unità liguri e sub-liguri.

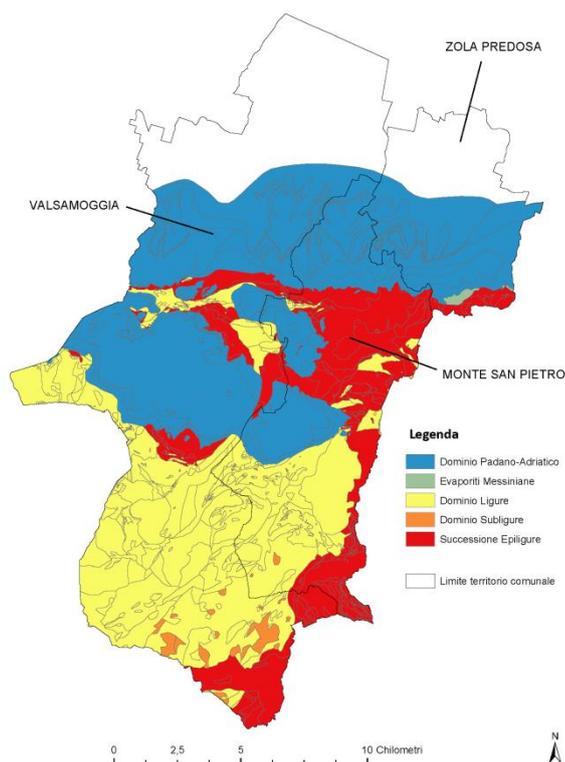


Fig. 8 Rappresentazione dei domini affioranti per i comuni di Monte San Pietro, Valsamoggia e Zola Predosa

La parte nord è quindi caratterizzata da depositi continentali di età Plio-Quaternaria, di carattere regressivo, con alla base peliti e sabbie seguite da un corpo sedimentario fluvio-deltizio ricoperto successivamente da depositi continentali. Questa sovrapposizione è avvenuta attraverso fenomeni tettonico-sedimentari che si sono susseguiti negli anni e che sono testimoniati da superfici di discontinuità stratigrafica che evidenziano le diverse fasi deposizionali.

Considerando la Fig. 9, da un punto di vista gerarchico, nel bacino della Pianura Padana si distinguono due Sequenze Principali (Supersintemi secondo la terminologia delle U.B.S.U. -Unconformity-Bounded Stratigraphic Units) denominate come segue:

- Supersistema o Allogruppo del Quaternario Marino (Qm)
- Supersistema o Allogruppo Emiliano-Romagnolo (depositi Pleistocenici continentali, corrispondenti al ciclo Qc di Ricci Lucchi et al. (1982)) a sua volta suddiviso in Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI o SERI), compreso tra 0,65 e 0,45 Ma, e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES o SERS) compreso tra 0,45 Ma e il presente, separati, appunto, dalla discontinuità tarata a 0,45 Ma.

Nelle aree considerate affiora principalmente l’AES il quale è composto da depositi di piana intravalliva, conoide e piana alluvionale.

Da un punto di vista geomorfologico, le piane intravallive, di limitata ampiezza, sono costituite principalmente da numerosi ordini di terrazzi fluviali, i quali testimoniano il succedersi di fenomeni erosivi e deposizionali avvenuti durante le ultime fasi del sollevamento della catena appenninica. In pianura queste piane si allargano facendo da transizione con la Pianura Padana. L’andamento topografico è quindi pianeggiante, prevalgono i processi di sedimentazione a scapito di quelli erosivi in cui si riducono le scarpate di terrazzo, fino alla comparsa di argini lungo i corsi d’acqua, i quali possono essere considerati in alcuni casi pensili.

La porzione appenninica è rappresentata invece dalle Unità Liguri, Sub-liguri ed Epiliguri le quali, durante il periodo miocenico e infrapliocenico sono sovrascorse sulle unità toscane e umbro-marchigiano-romagnola dell’Appennino Emiliano-Romagnolo da ovest verso est. Si tratta quindi di un settore di catena a falde, formatasi per accrezione di prismi sedimentari.

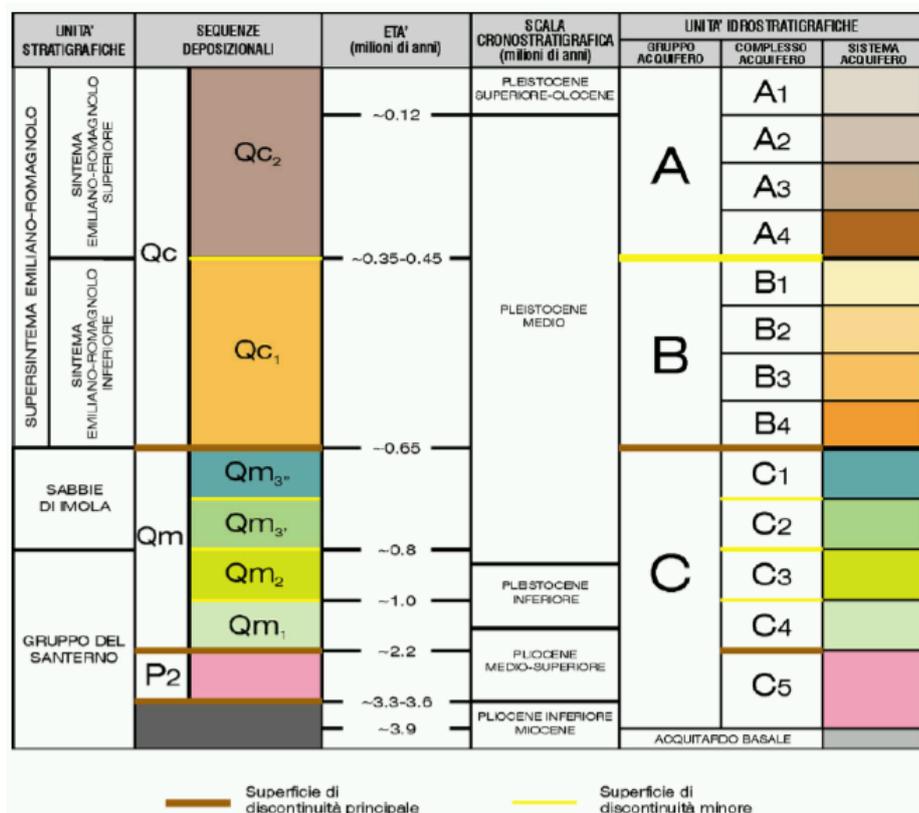


Fig. 9 Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (da: Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Sono evidenziati anche i rapporti tra unità deposizionali di pianura e i principali acquiferi

Queste aree sono spesso soggette a dissesti a causa della composizione della formazioni stesse che la caratterizzano. Le tessiture prevalentemente pelitiche e caotiche (es. Argille Varicolori della Valsamoggia) sono spesso soggette a frane per colamento di fango, mentre le formazioni più litoidi

(Arenarie di Ponte Bratica), intensamente tettonizzate, sono soggette a frane per scivolamento spesso antiche e quiescenti che hanno coinvolto grandi volumi di roccia.

3.1 Aspetti tettonici generali

Dal punto di vista tettonico l'Appennino settentrionale rappresenta una catena a falde caratterizzata dalla sovrapposizione di porzioni di elementi di differente origine paleogeografica. Nelle aree in studio si possono descrivere due differenti zone delimitate dal margine appenninico.

Quest'ultimo, spesso coincide con la struttura più interna del *Pede-Appenninic Thrust Front* (PTF – Boccaletti et alii, 1985). Il PTF rappresenta una serie di faglie inverse e sovrascorrimenti lungo il fronte appenninico che separa questa fascia con quella più esterna del bacino della Pianura Padana. Il fronte è caratterizzato da stress di tipo compressivo e a valle di esso sono presenti sistemi di thrust ad embrice ciechi a causa del loro seppellimento al di sotto dei depositi alluvionali della Pianura Padana. Le deformazioni importanti prodotte si manifestano per esempio come pieghe e faglie nelle Sabbie di Imola del Pleistocene medio. Inoltre la presenza di depositi alluvionali a quote più elevate rispetto all'alveo attuale indicano che questa zona dell'Appennino è stata interessata recentemente da importanti sollevamenti.

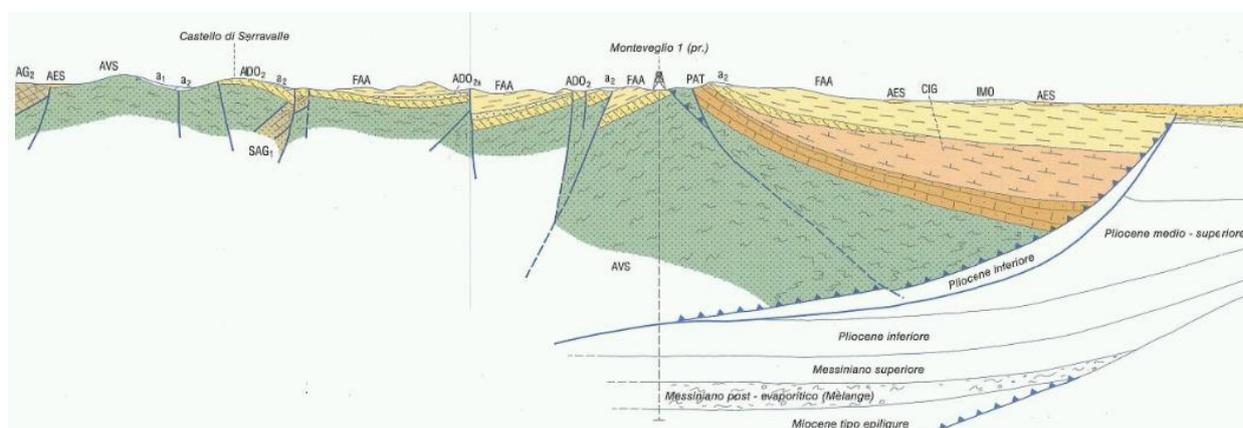


Fig. 10 Profilo trasversale dell'Appennino preso dal foglio 220 – Casalecchio di Reno lungo una sezione posta leggermente a ovest delle zone oggetto del nostro studio

In Fig. 10 si possono notare gli andamenti dei thrust sepolti e delle faglie normali a monte.

Il tratto più continuo del PTF scorre al di sotto dell'abitato di Bazzano, in cui le Sabbie di Imola si immergono verso la pianura, e funge da cerniera strutturale per tutte le unità alluvionali successive, definendo per esse il limite tra depositi intravallivi e depositi di pianura (foglio 220 Casalecchio di Reno).

Le principali strutture tettoniche inoltre risultano tagliate trasversalmente da faglie di trasferimento con andamento antiappenninico, in corrispondenza delle quali si sono innestati gli attuali corsi d'acqua della pianura.

A valle del PTF si trova la fascia sepolta in cui le principali strutture appartengono alla porzione occidentale delle Pieghe Romagnole le quali sono state attive principalmente nel Pliocene, nascoste da gran parte dello spessore dei depositi del Pleistocene inferiore. Questi lineamenti sono caratterizzati da ventagli listrici est-vergenti, i quali vanno ad accavallarsi, tramite il Fronte di Accavallamento Esterno (*External Thrust Front*, ETF), sull'avanpaese padano, rappresentato dalla Monoclinale Pedealpina.

A monte invece affiorano i terreni del dominio ligure esterno. Esso rappresenta il risultato di deformazioni polifasiche iniziate nelle prime fasi di chiusura oceanica proseguendo fino a tempi recenti. Le fasi tettoniche principali che hanno condizionato la deposizione delle successioni del Dominio Ligure sono la fase eoalpina (Cretacico superiore-Eocene inferiore), la fase mesoalpina o ligure (Eocene medio) e neoalpina (Oligocene superiore-Miocene inferiore).

Tutte queste fasi tettoniche, così come i processi di sedimentazione, hanno portato quindi ad una forte variazione dell'assetto morfologico della Pianura Padana, portando alla divagazione dei principali corsi d'acqua. La disposizione del torrente Samoggia per esempio risente delle accrezioni della conoide del Panaro.

In Fig. 11 è rappresentato lo schema tettonico dell'Emilia Romagna con l'ubicazione (rettangolo nero) della zona in esame.

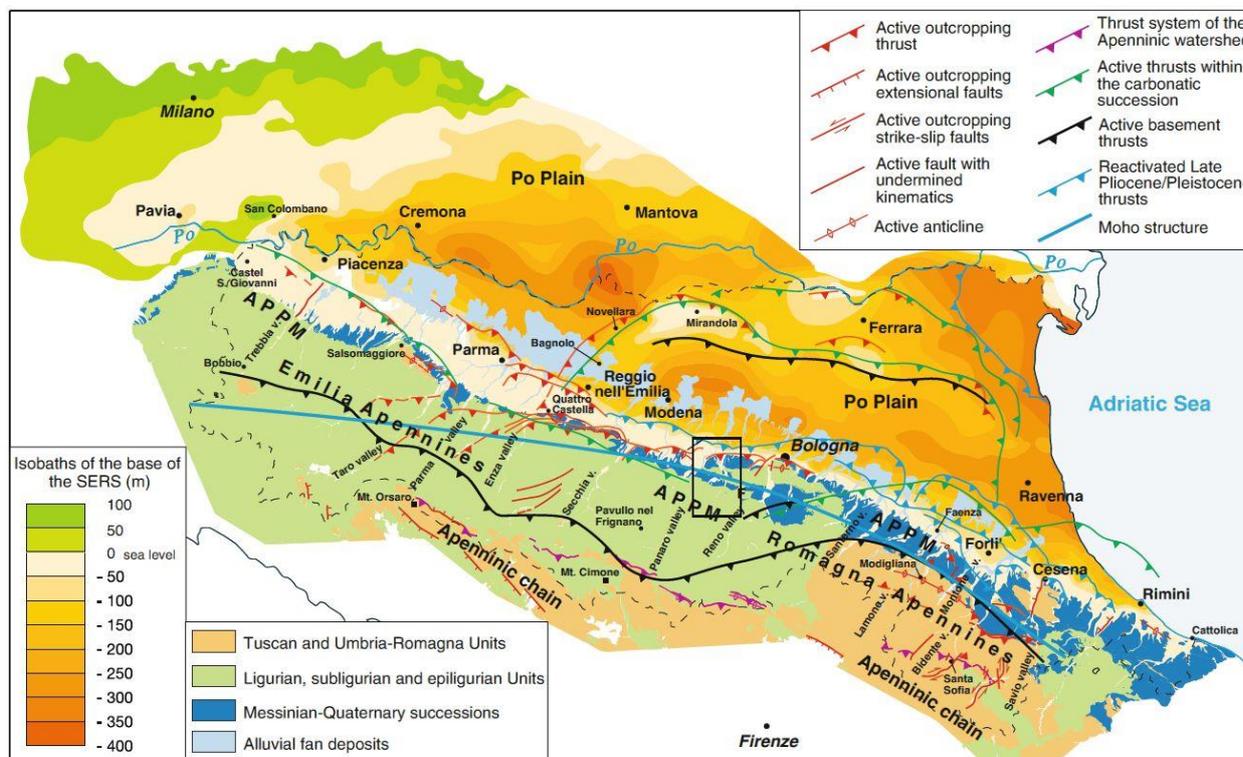


Fig. 11 Schema tettonico generale con indicate le isobate del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS o AES) (da: M. Boccaletti, G. Corti e L. Martelli, 2010; modificato)

3.2 Assetto stratigrafico

Le unità in affioramento nel comune di Valsamoggia, secondo la legenda della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, possono essere suddivise e descritte come segue :

3.2.1. Successione neogenico-quadernaria di margine - Depositi quadernari continentali

- AES8 – “Subsintema di Ravenna” (Pleistocene sup. - Olocene) Si tratta di depositi alluvionali terrazzati prevalentemente composti da tessiture fini per quanto riguarda le zone pianeggianti e di interbacino mentre nei pressi di sbocchi vallivi (es. Torrente Samoggia) sono caratterizzati da ghiaie sabbiose, sabbie e limi. È presente inoltre l'ordine di terrazzo di rango inferiore AES8a “Unità di Modena” (Olocene - Attuale) costituito da ghiaie, sabbie, limi e argille di canale, argine, rotta fluviale e piana inondabile nel settore pianeggiante mentre sono presenti corpi ghiaiosi nelle zone limitrofe agli alvei dei corsi d'acqua come rappresentato in Fig. 17 nell'abitato di Savigno nelle zone limitrofe il Torrente Samoggia.
- AES7b – “Unità di Vignola” (Pleistocene superiore) Composta principalmente da ghiaie, spesse fino a dieci metri, agli sbocchi vallivi dove affiora con maggior continuità. Nel nostro contesto affiora a sud della località Pedretta.
- Depositi di frana – Presenti soprattutto nelle località di Savigno, Villa e Vedegheto, si tratta di depositi detritici e caotici caratterizzati da una matrice prevalentemente fine (argille-limi) con clasti eterometrici ed eterogenei; il materiale è quindi la manifestazione dei litotipi che

costituiscono il versante stesso soggetti a dissesto (alternane di depositi pelitici e lapidei). Si possono distinguere in carta corpi di frana attivi "a1" e quiescenti "a2" con eventuale tipo di movimento che li ha generati. Nel nostro caso specifico, sono predominanti i movimenti di tipo complesso, che hanno quindi subito diversi meccanismi di attivazione.

- Altri depositi di versante – Nell'abitato di Savigno sono presenti depositi riconducibili ad una conoide torrentizia inattiva "i2" e un deposito di versante "a3". Il primo è costituito da un corpo caotico con clasti eterometrici ed eterogenei immersi in una matrice sabbiosa; può essere riconducibile all'attività alluvionale di un corso d'acqua secondario. Il deposito di versante è anch'esso costituito da litotipi eterometrici ed eterogenei più o meno caotici sostenuti da una matrice pelitica; possono essere messi in posto da ruscellamento superficiale e/o soliflusso o ancora da alterazione del substrato roccioso con accumulo per gravità.

3.2.2. Successione neogenica quaternaria di margine – Substrato geologico marino

- IMO2 – "Sabbie di Imola, Membro di Fossoveggia" (Pleistocene) Costituito prevalentemente da peliti di colore grigio, grigio azzurro con subordinate intercalazioni decimetriche di peliti sabbioso limose. Vengono deposte in ambienti di piana alluvionale e di piana deltizia. Nel nostro caso affiorano a sud della località Pedretta, oppure risultano sepolte al di sotto delle coperture alluvionali recenti. Il contatto inferiore è netto con IMO1 (Membro di Monte Castellaccio).
- ADO2 – "Formazione di Monte Adone – Membro delle Ganzole" (Pliocene) Caratterizzato da areniti fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate. È stato suddiviso "Membro di Monte delle Formiche" ADO1 in base al rapporto arenite/pelite e allo spessore medio degli strati. Nel nostro caso affiora solamente ADO2 a Monteveglio alto nei pressi dell'abbazia.

3.2.3. Successione epiligure

- PAT – "Formazione del Pantano" (Burdigaliano sup. – Langhiano inf.) Si tratta di areniti siltose finissime grigie, alternate a peliti marnose e siltose grigio-chiare con presenza di resti di Echinidi, Gasteropodi e Lamellibranchi; la stratificazione risulta poco marcata a causa della bioturbazione. L'ambiente deposizionale è attribuibile ad ambiente litorale e piattaforma esterna. La base di questi depositi è netta, in discordanza sulla Formazione di Contignaco (CTG).
- CTG – "Formazione di Contignaco" (Aquitano - Burdigaliano) Composta da marne carbonatiche e selciose, più o meno siltose di ambiente deposizionale attribuibile a mare poco profondo, di scarpata e piattaforma esterna con sporadici apporti torbiditici. Presenta un colore grigio-verde o grigio azzurro con patine nerastre dovute all'alterazione.

3.2.4. Successione ligure

- SAG1 – "Formazione di Savigno – Membro di Villa" (Ypresiano - Luteziano) Si tratta di torbiditi arenaceo-pelitici in strati medi. Le arenarie sono quarzoso-feldspatiche, fini, da mediamente a poco cementate di colore grigio beige mentre le peliti risultano siltose di colore grigio scuro. L'ambiente di deposizionale è di mare aperto e profondo, con frequenti apporti torbiditici. Risultano in contatto con le Argille Varicolori della Val Samoggia (AVS) mentre il contatto inferiore è rappresentato dai depositi pelitici della Formazione di Poggio (FPG1)
- FPG1 – "Formazione di Poggio – Membro di Rio delle Praterie" (Paleocene – Eocene inf.) Si tratta di depositi di colata, intercalata in argilliti rossastre, con matrice argillosa grigio scura con inclusi di calcilutiti biancastre e areniti. L'ambiente deposizionale è riconducibile alla scarpata o di alto strutturale, con apporti torbiditici silicoclastici.
- AVS – "Argille Varicolori della Val Samoggia" (Cretacico inf. – Eocene inf.) Argilliti talora siltose, grigio scure e nere con bande di argilliti rosse e verde scuro con intercalazioni di arenarie fini.

L'ambiente deposizionale è di piana abissale con scarso apporto torbiditico in condizioni distali.

3.2.5. Successione subligure

- MPA – “Formazione di Montepastore” (Ypresiano – Luteziano) È costituita da torbiditi calcarenitiche-marnose di ambiente marino profondo da sottili a spessi, con base calcarenitica biancastra, passante a marna calcarea. In località Vedegheto sono presenti livelli di biocalciruditi e biocalcareni con resti di foraminiferi. La formazione risulta intensamente tettonizzata ed ha uno spessore di alcune decine di metri.
- AVN – “Argille e calcari del Torrente Lavinello” (Campaniano sup. - Ypresiano) Costituite da argille di colore grigio, rosa che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione (“argille scagliose”). L'ambiente di sedimentazione è marino profondo con processi di correnti di torbida distali e decantazione di argille emipelagiche.
- ARB – “Arenarie di Ponte Bratica” (Chattiano - Aquitaniano) Sono composte da torbiditi arenaceo-pelitiche in strati di norma sottili o medi. L'ambiente sedimentario è riferibile ad una scarpata-bacino con predominanza di correnti di torbida a piccolo volume di carico. Questa formazione risulta fortemente tettonizzata e alterata.

3.3 Contestualizzazione delle aree in studio

In Tab. 2 sono indicate le aree prese in considerazione per le analisi di microzonazione sismica. Attualmente gli ex comuni di Crespellano, Savigno e Monteveglio sono stati unificati nel Comune di Valsamoggia.

Tab. 2 Elenco delle aree considerate nello studio di microzonazione sismica

Codice	Comune	Zona	Area (Km ²)
01	Valsamoggia (ex Crespellano)	Pedretta	0,162
02	Valsamoggia (ex Crespellano)	Case Via Provinciale	0,018
03	Valsamoggia (ex Crespellano)	Ponte Samoggia	0,056
04	Valsamoggia (ex Crespellano)	Calcara	0,569
07	Valsamoggia (ex Moteveglio)	Abbazia Monteveglio	0,015
08	Valsamoggia (ex Savigno)	Savigno	0,393
C	Valsamoggia (ex Savigno)	Villa	0,064
D	Valsamoggia (ex Savigno)	Vedegheto	0,092

3.3.1. Valsamoggia (Crespellano)

All'interno dell'ex comune di Crespellano sono presenti 4 aree oggetto di Microzonazione Sismica con approfondimenti di terzo livello.

3.3.1.1 Località Pedretta

L'area in studio si trova sul margine appenninico a ridosso del Rio Martignone e di un altro rio di dimensioni ridotte che scorre a sud della zona. I depositi affioranti appartengono quasi totalmente al Subsistema di Ravenna (AES8) attribuibili ad un ambiente deposizionale di piana alluvionale con tessiture prevalentemente comprendenti limi argillosi e argille limose con rare intercalazioni di limi sabbiosi. Nella parte ovest affiorano terreni appartenenti al terrazzo di rango inferiore e più recente

AES8a (Unità di Modena). Questa unità rappresenta la porzione sommitale di AES8 e risulta morfologicamente distinta generalmente da una scarpata di erosione fluviale (pochi metri) che in questo caso non è facilmente individuabile a causa di interventi antropici. Essendosi sviluppata in un contesto deposizionale di ambiente interfluviale di piana inondabile, questa unità è anch'essa caratterizzata da materiale fine.

Il contatto basale di AES8 è generalmente caratterizzato da una superficie di discontinuità corrispondente a una lacuna stratigrafica che poggia sul tetto dei depositi ghiaiosi dell'AES7, in questo caso più precisamente sull'AES7b (Unità di Vignola) costituito da depositi di piana intravalliva e di conoide alluvionale.

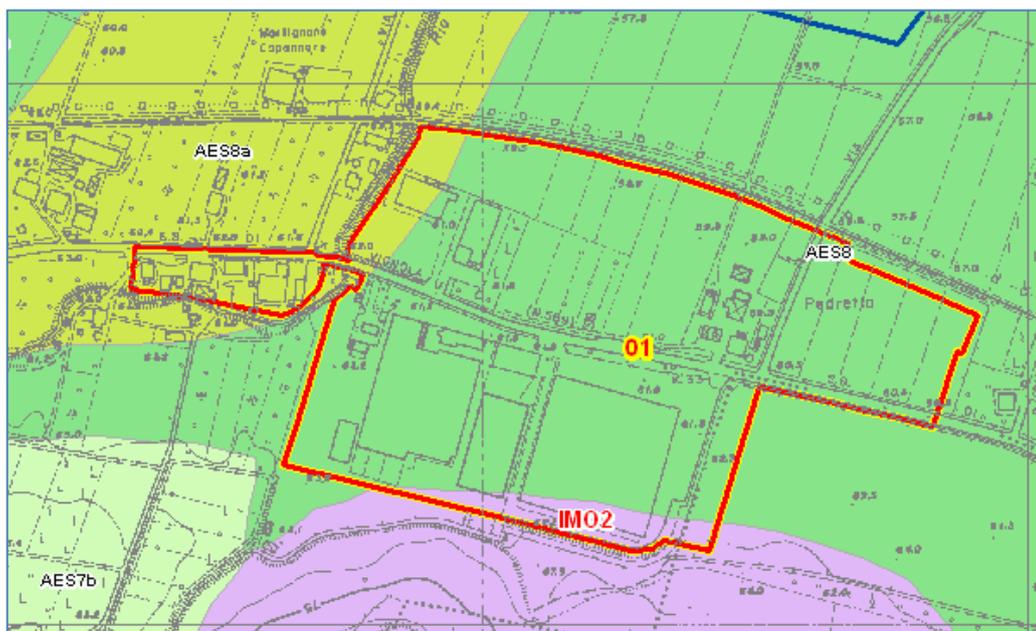


Fig. 12 Area oggetto di studio in località Pedretta

In Fig. 12, i depositi alluvionali del Supersistema Emiliano-Romagnolo si appoggiano in discordanza angolare su i depositi più antichi riconducibili alle Sabbie di Imola, le quali, essendo costituite da una unità litostratigrafica composta sedimentata in vari ambienti è stata suddivisa ulteriormente in tre differenti membri. Dal basso verso l'alto si differenziano: il Membro di Monte Castellaccio (IMO1), Membro di Fassoveggia (IMO2) e il Membro di Castel San Pietro (IMO3).

Questa area quindi, comprendente la località di Predetta, è insediata su depositi di un modesto apparato di conoide del Rio Martignone.

3.3.1.2 Case Via Provinciale

L'area in questione si trova sulla sinistra idrografica del Rio Martignone a est della precedente zona descritta in corrispondenza di un'area pianeggiante. I depositi affioranti sono totalmente appartenenti al Subsistema Emiliano-Romagnolo AES8 che risultano prevalentemente fini: limi e argille con qualche orizzonte di limi sabbiosi. Questi sedimenti di piana alluvionale sono la manifestazione di un contesto deposizionale di ambiente interfluviale.

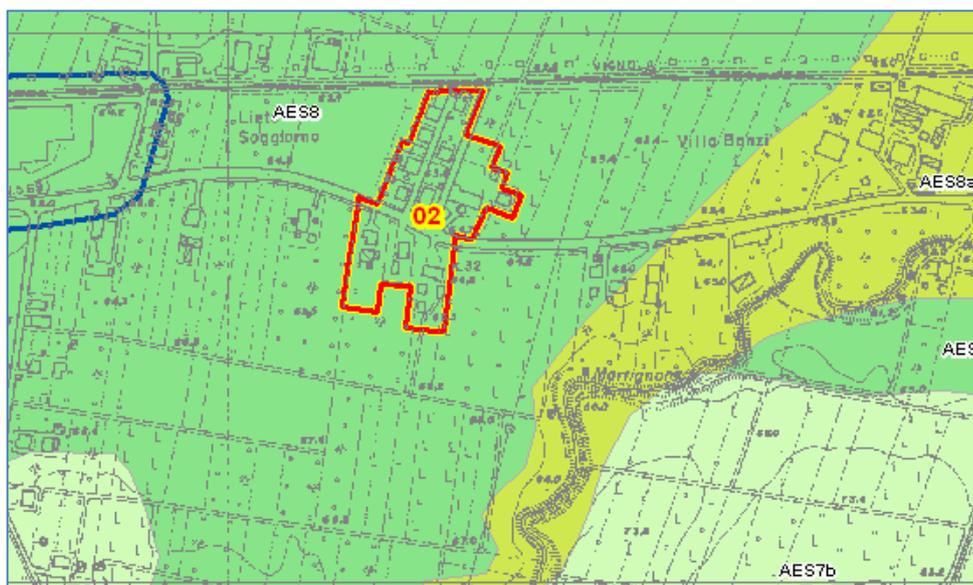


Fig. 13 Ubicazione dell'area in studio

3.3.1.3 Ponte Samoggia

L'abitato di Ponte Samoggia ricade in un contesto di pianura a ridosso del Torrente Samoggia. I depositi affioranti si sono sviluppati in un ambiente deposizionale di canale e di argine.

La cartografia geologica regionale attribuisce i depositi affioranti all'unità alluvionale di rango inferiore AES8a – Unità di Modena. I sedimenti attribuibili all'unità sono composti, prevalentemente, da alternanze di limi, limi sabbiosi e sabbie limose. Queste tessiture sono tipiche di depositi di argine o rotta fluviale e i rapporti tra limi e sabbie varia a seconda delle dimensioni del bacino idrografico. Nel nostro caso sono prevalenti i limi e subordinati i limi sabbiosi.

In Fig. 14 è rappresentata l'zona di studio, in cui si riconoscono i depositi appartenenti all'AES8a e il Torrente Samoggia che scorre a ovest della area.

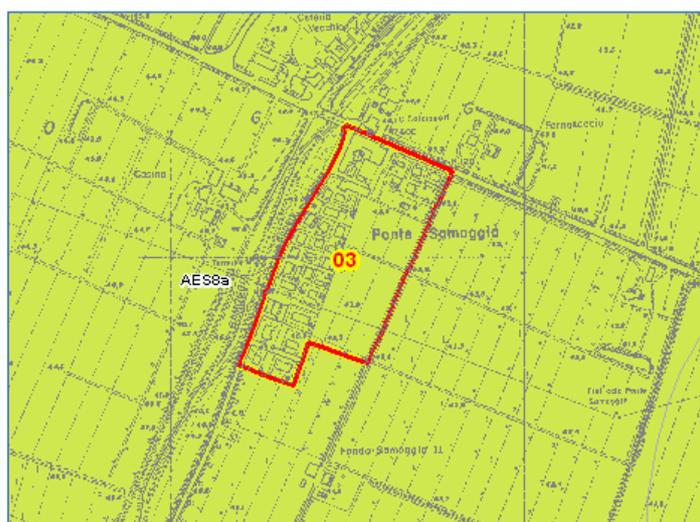


Fig. 14 Area considerata nell'abitato di Ponte Samoggia.

3.3.1.4 Calcara

L'abitato di Calcara è inserito in un contesto pianeggiante a nord del capoluogo di Crespellano e si sviluppa sulle sponde dell'attuale alveo del Torrente Samoggia.

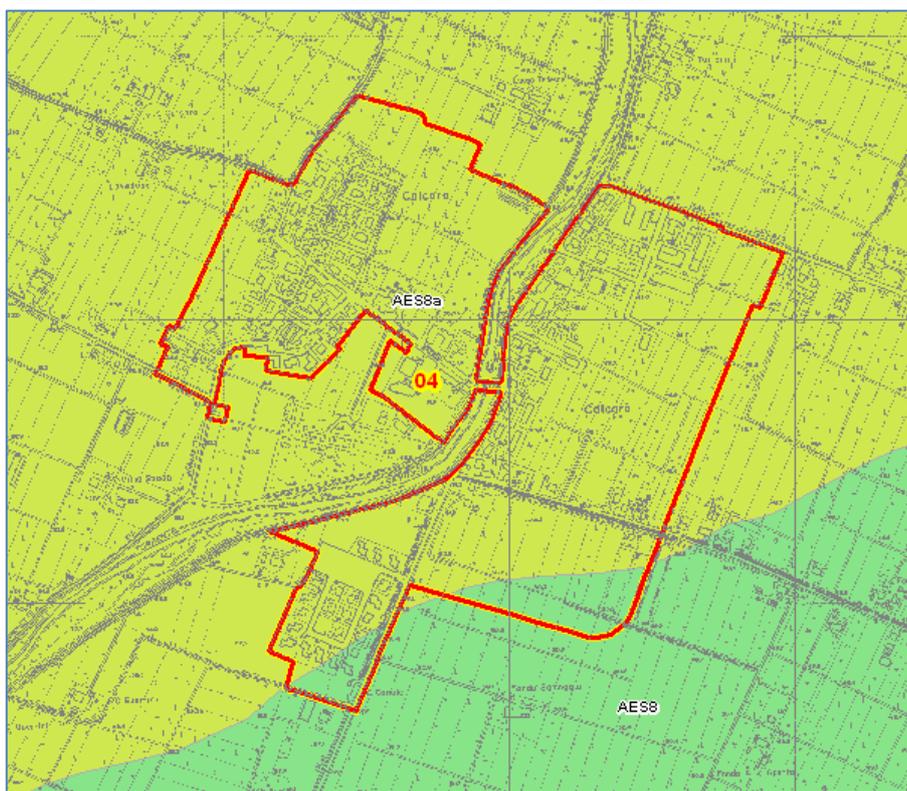


Fig. 15 Dettaglio delle carta geologica in cui ricade la zona di interesse nell'abitato di Calcara

La principale copertura quaternaria affiorante (Fig. 15) è l'Unità di Modena AES8a, delimitata da una scarpata di incisione fluviale poco rilevabile con i sedimenti affioranti a sud-est dell'abitato appartenenti all'Unità di Ravenna AES8 di rango superiore.

L'unità più recente è caratterizzata dalla presenza di alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose e più in profondità da sabbie fini che formano depositi lenticolari e che potrebbero essere riconducibili alla presenza di paleovalle sepolti.

Dalle caratteristiche dei depositi appena descritti, l'area è riconducibile a facies di canale e di argine attribuibili al Torrente Samoggia.

3.3.2. Valsamoggia (Monteveglia)

L'abazia di Monteveglia si trova a est del capoluogo Monteveglia (Località Monteveglia alto), in sinistra idrografica dei torrenti Samoggia e Ghiaie di Serravalle. È insediata su una cresta costituita da bedrock affiorante alterato e tettonizzato della Formazione pliocenica di Monte Adone e più precisamente del suo Membro delle Ganzole (ADO2).

Questo membro è caratterizzato da areniti fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate in strati da medi a molto spessi ed ha uno spessore di circa 200 metri. È possibile che la frequenza e lo spessore delle peliti aumentino verso l'alto, dove è possibile distinguere una litofacies pelitico-arenacea (ADO2a), non presente però nell'area considerata.

La Formazione di Monte Adone è stata suddivisa in 2 membri sulla base del rapporto arenite/pelite, per la presenza di livelli conglomeratici e per lo spessore medio degli strati: Membro di Monte delle Formiche (ADO1) caratterizzato da areniti e subordinati conglomerati in strati da medi a molto spessi e il già citato ADO2.

Il limite inferiore di questa formazione è discontinuo, generalmente posto sulla Formazione di Monterumici (RUM) e mostra evidenze di eteropia con la parte media superiore delle Argille Azzurre

(FAA). In Fig. 16 però la base si trova discordanza con il tetto della Formazione di Pantano (PAT) appartenente al dominio della Successione Epiligure, formatasi tra il Burdigaliano e il Langhiano. Quest'ultima formazione è composta da depositi di ambiente di piattaforma prevalentemente caratterizzati da areniti siltose fini e finissime, di colore grigio, alterate a peliti marnose e siltose grigio-chiare. La base di questi depositi è netta, in discordanza sulla Formazione di Contignago (CTG).

Nell'intorno dell'area in esame si possono notare della instabilità di versante dovute prevalentemente alle litologie delle formazioni presenti. Nella Formazione di Monte Adone, per esempio, possono essere presenti livelli pelitici poco cementati. Inoltre, poco visibili in figura, a sud-ovest dell'area sono presenti affioramenti della Successione Ligure appartenenti riconducibili alle Argille Varicolori della Valsamoggia (AVS – Cretacico inferiore) predisposte allo sviluppo di fenomeni calanchivi.

Sono presenti anche, a nord e a sud della zona in esame, depositi eluvio-colluviali (a4) di materiale detritico fine, probabilmente prodotto da alterazione in sito o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità (subordinata) di limitato spessore. Con "a3" invece sono indicati depositi di versante. Sull'AVS si possono anche notare dei depositi di frana attiva per colamento di fango "a1d".

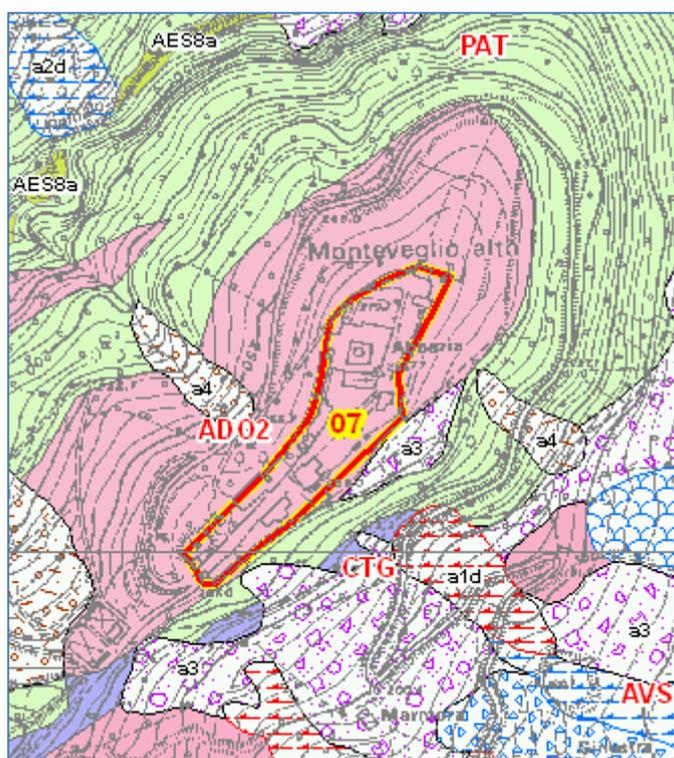


Fig. 16 Zona in esame a sud-ovest di Monteveglio

3.3.3. Valsamoggia (Savigno)

3.3.3.1 Savigno

L'abitato di Savigno ricopre un'area di fondovalle del Torrente Samoggia, nella destra idrografica del medesimo corso d'acqua.

Le principali formazioni geologiche affioranti, oltre ai depositi alluvionali recenti di rango inferiore (AES8a – Unità di Modena), appartengono al Dominio delle liguridi. Quella predominante risulta essere la Formazione di Savigno e più precisamente quella riconducibile al Membro di Villa (SAG1). Si tratta di una formazione torbiditica, deposte tra l'ypresiano e il luteziano, composta da alternanze arenaceo-pelitiche ed interpretabile come un deposito di ambiente marino profondo. Le arenarie sono quarzoso-feldspatiche di colore grigio, marrone se alterate e in genere a grana fine scarsamente cementate; le peliti sono siltose-marnose di colore grigio scuro. La base di questa è rappresentata dal contatto stratigrafico con la Formazione di Poggio (Membro di Rio delle Praterie – FPG1).

3.3.3.2 Villa

La frazione di Villa (Fig. 18) poggia sulla Formazione di Savigno – Membro di Villa precedentemente descritta, caratterizzato dalla presenza (carte regionali del dissesto e delle coperture quaternarie) di fenomeni gravitativi quiescenti secondo differenti meccanismi di movimento (a2g – “Complesso”, secondo Cruden e Varnes, 1994). Anche qui il materiale coinvolto è costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici.

Il versante in questione risulta nord-vergente e gli affioramenti della Formazione di Savigno presentano giaciture immergenti verso nord-est, il quale fa presumere un contesto di probabile assetto a franapoggio.

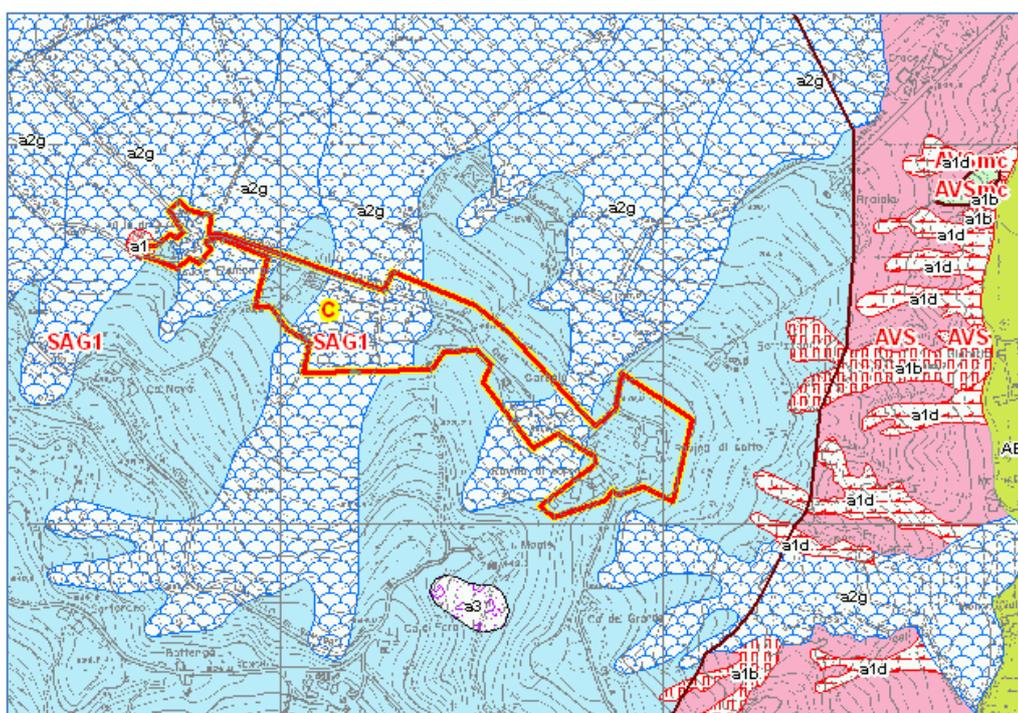


Fig. 18 Frazione di Villa in sinistra idrografica del Torrente Samoggia a ovest di Savigno

3.3.3.3 Vedegheto

L'abitato di Vedegheto si trova su un versante nord-vergente nella parte sud-est nell'ex comune di Savigno in destra idrografica del Torrente Venola.

La frazione ricade in una zona particolarmente caratterizzata dalla presenza di fenomeni gravitativi quiescenti probabilmente collegati alla natura del substrato (bedrock fortemente alterato). Sono infatti presenti depositi di frana quiescente complessa (“a2g”) e per colamento lento (“a2d”). Inoltre si possono riconoscere a margine dell'area depositi di frana attiva per scivolamento e per colamento lento (rispettivamente “a1b” e “a1d”).

Questi depositi si sono sviluppati su un bedrock affiorante riconducibile alle Arenarie del Ponte Bratica (ARB), alla Formazione di Montepastore e sulle unità fortemente tettonizzate denominate Argille e calcari del Torrente Lavinello (AVN).

Le prime (ARB), di età compresa tra il Chattiano e l'Aquitaniense, sono composte da torbiditi arenaceo-pelitici in strati di norma sottili o medi. L'ambiente sedimentario è riferibile ad una scarpata-bacino con predominanza di correnti di torbida a piccolo volume di carico. Questa formazione appartiene al dominio delle Subliguridi e risulta fortemente tettonizzata come le Argille del Torrente Lavinello (Campaniano sup-Ypresiano). Queste ultime sono costituite da argille di colore grigio, rosa che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino

alla scala del campione (“argille scagliose”). L’ambiente di sedimentazione è marino profondo con processi di correnti di torbida distali e decantazione di argille emipelagiche.

Nella parte sud-ovest di Fig. 19 affiora anche la Formazione di Montepastore (Ypresiano – Luteziano). Anch’essa fortemente tettonizzata, è costituita da torbiditi calcarenitico-marnose di ambiente marino profondo in strati da sottili a spessi.

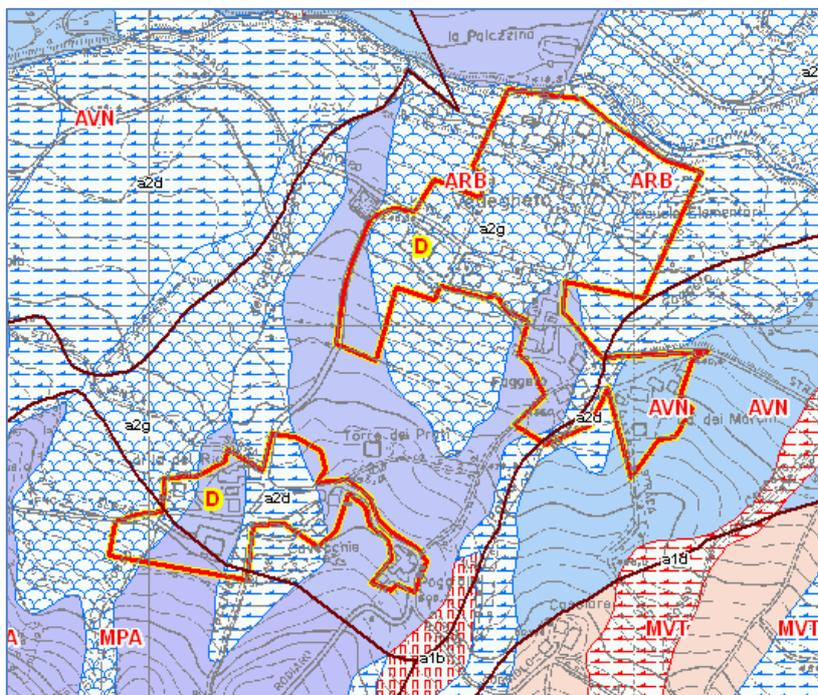


Fig. 19 Ubicazione dell’area in studio nell’abitato di Vedegheto (parte meridionale dell’ex comune di Savigno)

4 Dati geotecnici e geofisici

Le prove pregresse presenti nella zona in esame sono state ottenute dagli archivi del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna SGSS e dall'ufficio tecnico dell'Unione dei Comuni Valle del Samoggia, il quale ha fornito oltretutto le indagini svolte nel 2013 per lo studio di Microzonazione sismica nel Piano Strutturale Comunale degli ex-comuni di Crespellano, Monteveglio e Savigno.

Complessivamente sono state cartografate e analizzate per il comune in esame 94 indagini così suddivise in base alla tipologia:

- n. 39 misure con microtremori a stazione singola (HVSR)
- n. 29 prove penetrometriche statiche (13 CPT, 3 CPE; 3 CPTU)
- n. 12 prove penetrometriche dinamiche (11 DP; 1 DL)
- n. 8 stendimenti geofisici tipo Re.Mi.
- n. 5 sondaggi geognostici (3 SD; 2 SS)
- n. 1 pozzo per acqua (PA)

Visto il livello di approfondimento sono state eseguite ulteriori prove ex-novo per caratterizzare al meglio il territorio anche da un punto di vista dinamico. Nello specifico sono state effettuate prove per determinare gli spessori delle coperture quaternarie (coltri alluvionali e frane), definendo le loro proprietà geofisiche (andamento delle Vs con la profondità) e geotecniche, e caratterizzando il tipo di bedrock sottostante.

È stato quindi ritenuto opportuno integrare con le seguenti prove:

- n. 16 misure con microtremori a stazione singola (HVSR)
- n. 8 prove penetrometriche statiche (CPTU)
- n. 6 stendimenti geofisici (di cui 2 MASW e 4 Sismica a rifrazione)
- n. 3 sondaggi geognostici con prelievo campioni e relative analisi di laboratorio
- n. 2 prove sismica in foto tipo Downhole
- n. 2 installazioni di sonde inclinometriche

4.1 HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

È una tecnica di sismica passiva che si basa sulla misura delle vibrazioni ambientali con lo scopo di determinare le caratteristiche del terreno al di sotto del punto indagato. In sostanza è utilizzata con lo scopo di individuare le frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa dei fenomeni di risonanza, fornendo indicazioni qualitative sull'entità delle risonanze attese.

La procedura di acquisizione si articola in diversi passaggi:

- Fase 1: Ciascuna traccia viene suddivisa in finestre di uguale dimensione e per ciascuna viene calcolato lo spettro (eliminazione componenti nel lungo periodo; tapering; trasformata di Fourier e lisciamento dello stesso per ridurre la variabilità);
- Fase2: Viene valutata la persistenza delle funzioni HVSR nelle diverse finestre spettrali e vengono successivamente calcolati i rapporti spettrali medi nel relativo intervallo di confidenza.

La curva che viene determinata dal dispositivo rappresenta quindi il rapporto tra lo spettro di ampiezza media della componente orizzontale e quello verticale (H/V) in cui si evidenziano maggiormente le frequenze fondamentali (F_0) di risonanza. Questo perché i microtremori sono causati principalmente da onde superficiali (onde di Rayleigh) in cui la componente verticale del moto non risente dei fenomeni di amplificazione in corrispondenza di marcati contrasti di impedenza, mentre avviene per le componenti orizzontali.

In generale, maggiore sarà il contrasto di impedenza, responsabile del fenomeno, e più precisa sarà la misura della frequenza di risonanza. In Fig. 20 sono rappresentati esempi di curve ottenute da diverse analisi di rumore ambientale che hanno individuato dei contrasti di impedenza a diverse profondità.

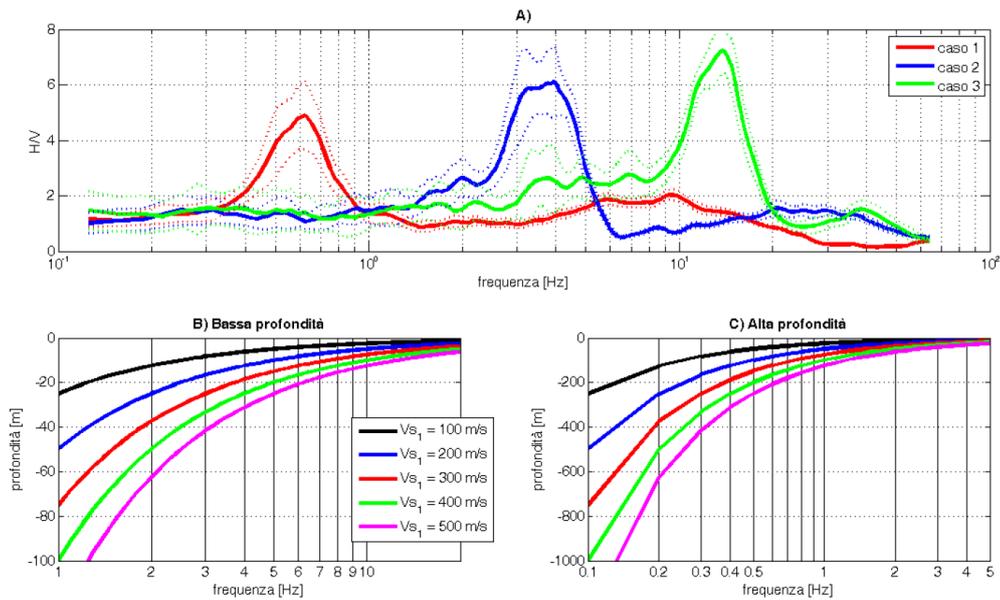


Fig. 20 A) Esempio di bedrock sismico a diverse profondità. Caso 1: bedrock a 300 m di rpfondità. Caso 2: bedrock a 20 m di profondità. Caso 3: bedrock a 4 m di profondità; B) relazione V-F₀-H alle medio-alte frequenze; C) relazione V-F₀-H alle medio-basse frequenze (fonte: D. Albarello e S.Castellaro, 2011)

Per analisi svolte direttamente sul substrato (condizione di bedrock affiorante) la curva non presenterà massimi significativi e quindi non sono attesi effetti di risonanza. Il rapporto H/V sarà all'incirca unitario.

La durata di acquisizione deve essere tale da garantire un campionamento statisticamente adeguato. Se si vuole investigare un campo di frequenze compreso nell'intervallo 0,1÷20 Hz, il campionamento deve durare 15÷40 min in modo tale da analizzare finestre da 30 s di lunghezza e avere così almeno 20-30 su cui effettuare una media.

Per differenziare i picchi di natura stratigrafica da quelli generati da fonti di disturbo si può osservare nella componente spettrale verticale un minimo locale con una forma "a ogiva" che è indicativa di risonanza stratigrafiche.

4.2 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

La tecnica MASW (Park et al., 1999) prevede la registrazione simultanea di 12 o più canali (separati da 0,5m a 10m), fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità (l'energizzazione è prodotta da una massa battente di almeno 8-10 Kg).

Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di distinguere e evidenziare, durante l'analisi, le onde di Rayleigh presenti nel record che, normalmente, sono caratterizzate da un'elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si distribuisce in onde di superficie). Una particolare analisi spettrale, "overtone analysis", produce un grafico Velocità di fase-frequenza in cui si può distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs per successiva inversione 1-D.

La tecnica permette inoltre di eseguire misure ripetute spostandosi nella direzione di allineamento per risalire ad un profilo bidimensionale che evidenzia le variazioni laterali delle Vs.

Per le indagini di nuova realizzazione, l'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 12 canali (PASI 16SG12) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4,5 Hz, con spaziatura tra i geofoni di 4 m., durata di acquisizione di 1 sec. Con passo di campionamento di 0,25 ms.

Dato l'utilizzo di un sismografo a 12 canali è stata effettuata una doppia acquisizione e i due dataset (da 12 tracce ciascuna) sono stati sommati per ottenere un unico dataset che "simula" un'acquisizione a 24 tracce.

Per ottenere questo risultato la sorgente è stata spostata (allontanata) di una lunghezza pari a metà della distanza intergeofonica (ed i geofoni restano immobili), come riportato in Fig. 21.

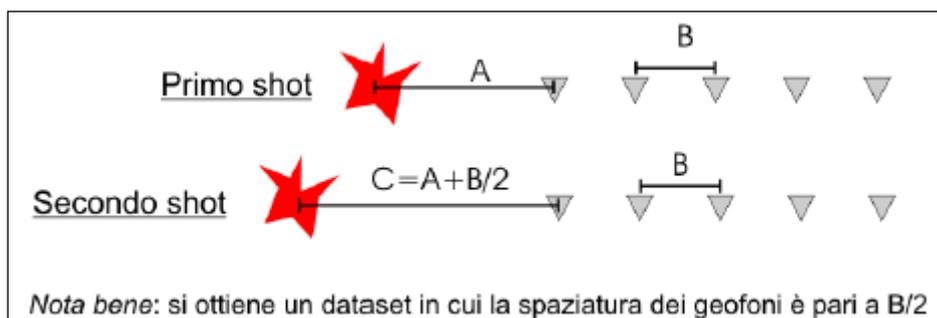


Fig. 21 Metodo per la somma di un dataset

L'energizzazione, realizzata a distanze di, 6, 8, 10, 12 e 16, 18 m. dal primo geofono, è stata ottenuta con una massa battente di 10 kg.

4.3 Prova sismica in foro Down Hole (DH)

Per ottenere il profilo delle Vs in profondità sono state svolte delle prove sismiche in foro di sondaggio di tipo Down Hole.

La prova prevede una sorgente energetica in superficie e un geofono all'interno del foro di sondaggio. Vengono quindi misurati i tempi di arrivo delle onde (P e S) alle varie profondità in cui è posizionato il geofono stesso.

La sorgente è in grado di generare sia onde S, attraverso l'uso di una trave metallica aderente alla superficie del terreno che viene colpita con una massa battente ad entrambe le estremità, che onde P utilizzando in questo caso una semplice piastra di acciaio colpita verticalmente.

Il geofono è composto da una terna di trasduttori di velocità orientati secondo le componenti di una terna cartesiana ortonormale (uno verticale e due orizzontali). Almeno uno dei due trasduttori orizzontali deve essere perpendicolare all'asse della sorgente.

L'acquisizione è effettuata tramite un sistema multicanale, collegato ai tre trasduttori, in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda. È presente inoltre un sensore collegato al sistema di acquisizione dati chiamato Trigger il quale fornisce il tempo zero dell'acquisitore, quindi permette di far partire la registrazione del segnale sismico acquisito dai geofoni nell'istante in cui la sorgente viene attivata.

Dai dati ottenuti da questa prova è possibile ricavare ulteriori parametri grazie ad opportune correlazioni empiriche.

4.4 Profilo sismico a rifrazione

Le prove sismiche a rifrazione sono composte anche in questo caso da: una sorgente, un sistema di ricezione composto da un gruppo di geofoni, da un sistema di acquisizione dati e da un trigger.

L'indagine consiste nel misurare il tempo impiegato dalla perturbazione sismica indotta nel terreno dalla sorgente, a percorrere la distanza tra quest'ultima e ciascun geofono opportunamente spaziato lungo il profilo indagato. Nello specifico le onde che arrivano al geofono sono onde dirette, riflesse e onde coniche o birifratte, queste ultime sono quelle analizzate perché incontrano la superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico venendo così rifratte parallelamente alla stessa e successivamente vengono nuovamente rifratte con lo stesso angolo verso la superficie.

Attraverso la relazione che lega la velocità d'onda e la distanza sorgente-geofono (dromocrona) è possibile, applicando determinate formule matematiche, risalire agli spessori degli strati e quindi alla stratigrafia della zona in esame.

4.5 Prova penetrometrica statica (CPTU)

La prova consiste nell'infliggere nel terreno uno strumento dotato di punta elettrica e piezocono la quale, permette di misurare anche il valore della pressione interstiziale u presente nel terreno. La spinta avviene attraverso un martinetto, ad una velocità costante compresa tra 10 e 20 mm/s. Durante la prova vengono misurate, ad intervalli regolari di 2 cm, la resistenza alla penetrazione della punta q_c (o R_p) e l'attrito laterale q_s (o R_l) misurato lungo la superficie laterale del manicotto, espresse entrambe in MPa.

Per le prove di nuova realizzazione è stata utilizzata una punta "Teconopenta-G1-CPTL2IN" con diametro di 35,7 mm, angolo di apertura 60° e un manicotto laterale di 13,37 cm avente una superficie complessiva di 150 cm².

La stratigrafia dei terreni può essere ottenuta mediante diagrammi proposti da diversi autori mentre i parametri geotecnici vengono ottenuti da correlazioni predisposte per diversi tipi di terreno incontrato.

L'utilizzo di questa prova è stato soprattutto utile per determinare il potenziale di liquefazione dei depositi alluvionali presenti nelle aree oggetto del nostro studio (vedi Cap. 7.3).

4.6 Sondaggio geognostico

I sondaggi geognostici, correlati ad altre prove indirette, hanno permesso di effettuare una più corretta ricostruzione della successione litostratigrafica dell'area in studio; più precisamente sono stati effettuati per caratterizzare i corpi gravitativi presenti.

La prova è stata effettuata attraverso l'avanzamento a carotaggio continuo di carotieri con diametro nominale 101 mm.

Il materiale estratto è stato sistemato in apposite cassette catalogatrici in cui sono state indicate le profondità di riferimento.

In allegato sono presenti i certificati delle prove effettuate con la descrizione completa dei terreni attraversati alle varie profondità.

5 Modello del sottosuolo

Le prove effettuate nel corso del presente studio di microzonazione sismica, il patrimonio informativo preesistente, integrati al rilievo e alla cartografia regionale hanno permesso una più chiara caratterizzazione del sottosuolo delle aree di interesse.

5.1.1. Località Pedretta

Questa area è insediata su depositi sabbiosi di un modesto apparato di conoide del Rio Martignone e di un altro rio di dimensioni ridotte che scorre a sud della zona. A conferma di questo le prove penetrometriche statiche svolte individuano nei primi metri di sottosuolo lenti più o meno sabbiose intercalate a depositi prevalentemente fini.

Le indagini tomografiche effettuate non hanno individuato riflettori superficiali in grado di amplificare il moto sismico, ma si osserva che i valori della frequenza di risonanza sono di 0,8 Hz per quasi tutte le indagini considerate, e nonostante l'ampiezza del picco della curva H/V indichi bassi contrasti di impedenza, può essere comunque ipotizzata la presenza di un riflettore (bedrock) ad una profondità di circa 80 m. Quest'ultimo è riconducibile all'Unità delle Sabbie di Imola - Membro di Fassoveggia (IMO2).

Le indagini realizzate nel presente studio di microzonazione hanno permesso quindi di confermare le precedenti analisi in cui si erano individuate aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione rispetto alle quali sono stati condotti gli approfondimenti di terzo livello.

Le velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri ricavate da indagini pregresse è di 267,8 m/s.

La soggiacenza della falda, misurata da prove pregresse, ha valori compresi tra 3,1 e 3,85m.

5.1.2. Case Via Provinciale

L'area in questione si trova sulla sinistra idrografica del Rio Martignone e si trova su depositi appartenenti al Subsistema Emiliano-Romagnolo AES8 e riconducibili ad un contesto deposizionale di ambiente interfluviale. Le tessiture risultano prevalentemente fini: limi e argille con qualche orizzonte di limi sabbiosi.

Le prove penetrometriche effettuate individuano nei primi 15 metri livelli di sabbie e limi sabbiosi potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefazione rispetto ai quali sono stati condotti gli approfondimenti di terzo livello.

Considerando le prove HVSR, la profondità del substrato anche in questa zona è ipotizzabile si trovi ad una profondità di circa 80 metri.

5.1.3. Ponte Samoggia

L'area si trova a ridosso del Torrente Samoggia sull'unità alluvionale di rango inferiore AES8a – Unità di Modena.

Le indagini penetrometriche statiche effettuate nella zona individuano nei primi metri alternanze di limi sabbiosi e argille, con sabbie limose riconducibili a facies di canale e di argine. Le nuove indagini hanno avuto lo scopo di quantificare il potenziale di liquefazione dei depositi in condizioni dinamiche.

Le prove geofisiche non hanno individuato particolari contrasti di impedenza nelle porzioni più superficiali del terreno; le amplificazione maggiori si individuano a basse frequenze (0,9 ÷ 1 Hz) testimoniando la presenza di un riflettore sismico molto profondo (bedrock presumibilmente riconducibile al Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore SERI o AEI). La prova ReMi pregressa, effettuata nel precedente studio di microzonazione, individua una Vs30 pari a 201 m/s.

La falda è stata individuata da indagini pregresse a 3 m dal livello campagna.

5.1.4. Calcara

L'area si trova in un contesto pianeggiante e si insedia sulle sponde dell'attuale alveo del Torrente Samoggia. Affiorano i depositi alluvionali appartenenti all'Unità di Modena AES8a, mentre a sud-est dell'abitato l'Unità di Ravenna AES8 di rango superiore. L'ambiente deposizionale è riconducibile a facies di canale e di argine del già citato corso d'acqua. Per la descrizione completa si rimanda al capitolo 3.3.1.4.

Nell'area sono presenti diverse indagini pregresse che hanno fornito molte informazioni riguardo tessiture e spessore di livelli in grado di amplificare il moto sismico. Le CPT eseguite infatti indicano la presenza di alternanze di limi sabbiosi saturi nei primi 10 m di sottosuolo, attribuibili ad involuppi di paleoalvei sepolti del Torrente Samoggia. Per questo motivo sono state eseguite ulteriori prove per quantificare il potenziale di liquefazione dei depositi.

Le indagini HVSR, considerando le prove pregresse e quelle realizzate ex-novo, evidenziano amplificazione del segnale sismico sia per basse frequenze ($0,6 \div 1,1$ Hz), riferite presumibilmente al bedrock in questo caso profondo oltre 100 m, che per frequenze più alte ($3,7 \div 4,5$ Hz), attribuibili ai paleoalvei sabbiosi superficiali già precedentemente individuati.

La distribuzione della velocità delle onde di taglio nei primi 30 m è stata determinata tramite prove ReMi pregresse: 037061L9REMI9 $V_{s30}=188$ m/s, e 037061L10REMI10 $V_{s30}=223$ m/s.

La falda è stata individuata da indagini pregresse a 2,85 m dal livello campagna.

5.1.5. Monteveglio

Come già descritto nel capitolo 3 l'area è situata su una cresta costituita da bedrock affiorante della Formazione pliocenica di Monte Adone e più precisamente del suo Membro delle Ganzole (ADO2).

Le indagini tomografiche HVSR non hanno evidenziato picchi di ampiezza significativi, mentre gli stendimenti geofisici hanno permesso di determinare uno spessore di deposito (riconducibile in gran parte al bedrock alterato) in grado di amplificare il moto sismico di 18,4 metri. La $V_{s18,4}$ è uguale a 296,2 m/s. Quanto detto risulta in contrasto con le precedenti analisi di microzonazione sismica di secondo livello del 2013 in cui era stato individuato un bedrock rigido affiorante.

Queste informazioni, integrate con il rilievo geologico, hanno permesso di definire la formazione affiorante come "SFALS – Alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato" (vedi carta Geologico-Tecnica in allegato).

5.1.6. Savigno

L'area di interesse si trova lungo il fondovalle del Torrente Samoggia, nella destra idrografica del medesimo corso d'acqua.

Come già precedentemente descritto, la zona in esame è caratterizzata da coperture quaternarie di diverso genere: nei pressi del torrente sono presenti depositi alluvionali recenti AES8a prevalentemente ghiaiosi; verso est sono invece presenti accumuli di frana e verso sud si individua un deposito di conoide torrentizia inattiva messo in posto dall'attività alluvionale di un corso d'acqua secondario. Quest'ultima costituisce il deposito detritico più recente in sovrapposizione ai più antichi corpi caotici messi in posto da movimenti gravitativi. Secondo la cartografia regionale è presente inoltre un deposito di versante "a3" al piede del pendio, costituito da caotico in cui litotipi eterogenei ed eterometrici sono immersi in matrice fine. Questo deposito è probabilmente riconducibile ad un accumulo di un più antico corpo di frana.

Le coperture poggiano su un substrato marino appartenente alla successione delle liguridi e in particolare alla Formazione delle Argille Varicolori della Val Samoggia (AVS), la Formazione di Savigno – Membro di Villa (SAG1) e alla Formazione di Poggio - Membro di Rio delle Praterie (FPG1). L'AVS risulta

in contatto tettonico con la SAG1 la quale si trova a sua volta in contatto stratigrafico con i depositi pelitici della Formazione di Poggio.

Le prove effettuate hanno contribuito a determinare lo spessore delle coperture, e acquisire informazioni sulle formazioni che formano il bedrock. Lungo il fondovalle, le prove ReMi pregresse ubicate sui depositi alluvionali, hanno individuato uno spessore di circa 20 m ed una velocità delle onde di taglio di circa 330 m/s. Questi spessori comprendono i depositi alluvionali superficiali e anche i depositi dei dissesti gravitativi. A monte infatti si evidenzia la presenza di depositi caotici composti prevalentemente da litotipi eterogenei ed eterometrici immersi in una matrice fine, ed è quello che costituisce direttamente le formazioni presente nel versante (alternanze di depositi pelitici e lapidei attribuibili ai flysch della Formazioni di Savigno e delle Argille Varicolori). Dalle stesse prove geofisiche si evince inoltre che la distribuzione delle Vs nel substrato SAG1

Il sondaggio geognostico eseguito (037061P13S13) nel presente studio di microzonazione ha permesso di caratterizzare con più dettaglio il materiale presente nel corpo di frana quiescente complessa (secondo Cuden & Varnes, 1994) posto più a sud, su cui sono state costruite anche delle sezioni geologiche longitudinali e trasversali. Dal carotaggio si osserva che il materiale è composto da argille debolmente limose grigie e marroni con presenza di clasti e trovanti arenacei, concrezioni calcaree e diffuse tracce di ossidazione color ocra. Queste caratteristiche si estendono sino alla profondità di 19,5 m oltre alla quale si nota il passaggio ad argille grigie, grigie-azzurre, consistenti, umide con rare tracce di ossidazione e concrezioni calcaree. Da 26 a 29 m le argille, consistenti e molto umide, presentano variegature marroni con presenza di frammenti argillitici e arenacei millimetrici e raramente centimetrici. Nell'ultimo metro di sondaggio (29÷30 m) è presente un'argilla grigia azzurra, dura e umida.

Le prove geofisiche svolte nelle zone limitrofe al sondaggio, realizzate con il preciso scopo di caratterizzare i corpi franosi, hanno individuato ad una profondità di 19 m circa un aumento delle Vs da 313 a 516 m/s, e considerando quelle già effettuate nel fondovalle che indicavano velocità del substrato dello stesso ordine di grandezza, possiamo ipotizzare che a questa profondità sia presente il bedrock non rigido riconducibile alla Formazione di Savigno (SAG1).

Anche le Formazioni AVS e FPG1, sono state considerate come bedrock non rigido da precedenti studi e indagini effettuati rispettivamente nel fondovalle del Torrente Samoggia (nella sua sinistra idrografica) e nella porzione più orientale dell'area oggetto del presente studio.

Le indagini con tecnica HVSR hanno permesso di confermare l'impostazione del sottosuolo analizzato, infatti individuano frequenze di risonanza a 3,4÷4,3 Hz registrando modesti contrasti di impedenza.

La sezione geologica passante per il sondaggio (Sez. 1 - Carta delle sezioni) si basa sulle informazioni ricavate dalle prove in sito, dirette e indirette, e schematizza il modello del sottosuolo utilizzato per le verifiche di stabilità. Le indagini hanno permesso inoltre di eseguire una modellazione del sottosuolo sufficientemente dettagliata per l'elaborazione della risposta sismica locale.

5.1.7. Villa

Le indagini realizzate nel presente studio di microzonazione hanno permesso di caratterizzare la frazione di Villa, la quale si trova in un versante nordvergente con diversi dissesti indentificati come corpi franosi quiescenti complessi che si sono sviluppati sul substrato riconducibile alla Formazione di Savigno – Membro di Villa (SAG1).

La Formazione è costituita da giaciture immergenti verso nord-est, il quale fa presumere un contesto di probabile assetto a franapoggio. Questo può essere la testimonianza della forte instabilità della zona in esame.

I materiali incontrati dal sondaggio 037061P14S14 effettuato nell'area sono costituiti nei primi 2 metri di profondità da limi con sabbie fini in inclusione, alterati e di colore marrone-nocciola; da 2 a 6 m limo argilloso di colore grigio, molto consistente con trovante alterato e fratturato; da 6 a 17,5 m argilla

limosa umida, di colore grigio, abbastanza consistente con variazione di tonalità con la profondità e presenza di frammenti di argilliti. Alla profondità di 7,30 m, con uno spessore di circa un metro, è presente un livello molto umido e molto tenero, attribuibile probabilmente ad una superficie di scorrimento secondaria. Oltre i 17,5 m sono state trovate alternanze di arenaria media fine, di colore grigio, poco fratturata, con piccole vene di calcite e argilliti di colore grigio attribuibili al bedrock SAG1.

La dissipazione delle onde di taglio nel sottosuolo è stata determinata attraverso una prova Down Hole nel foro di sondaggio il cui risultato attribuisce al substrato (non rigido) una $V_s=534$ m/s. A 7 metri circa, in corrispondenza della presunta superficie di scorrimento, le V_s diminuiscono repentinamente da 392 a 226 m/s, confermando la precedente ipotesi.

Le indagini HVSr effettuate nelle vicinanze del sondaggio evidenzia un'amplificazione del segnale sismico alla frequenza di 5 Hz a dimostrare un riflettore sismico la cui profondità è stimata a circa 17,5 metri. Infatti, considerando i risultati della prova down-hole, $V_{s17,5}=349,7$ m/s, la relazione:

$$H = \frac{V_s}{4F_0}$$

conferma quanto è stato determinato dalle prove in sito.

5.1.8. Vedegheto

L'abitato di Vedegheto si trova in un contesto caratterizzato dalla presenza di frane quiescenti che interessano le aree in studio. Classificate come complesse e per colamento lento, secondo Cruden & Varnes, questi corpi gravitativi sono stati studiati attraverso un sondaggio a carotaggio continuo (037061P15S17) e prove geofisiche.

Il sondaggio, nei primi metri di sottosuolo, individua materiali fini a granulometria limo argillosa di colore marrone con piccoli inclusi e argille limose di colore grigio-nocciola, umide, moderatamente consistenti con tracce di ossidazione, inclusi detritici di piccole dimensioni e la sporadica presenza di livelli sabbiosi fini. Oltre i 5 metri le argille sono di colore grigio con sfumature marroni, di consistenza variabile, da umida a tratti molto umida e con rari inclusi spigolosi mentre dopo i 12 m c'è abbondanza di clasti spigolosi di natura calcarea immersi in un argilla limosa (con inclusi di sabbia fine) umida, di colore nocciola con un aumento della tonalità bianca con la profondità. A 18,6 m il sondaggio incontra arenaria di colore grigio, con piccole vene di calcite a tratti fratturata, alternata ad argille bagnate di colore grigio con abbondanti clasti spigolosi arenacei e calcarei. Quest'ultima porzione di carotaggio indica la presenza di un substrato riconducibile alla Formazione delle Arenarie di Ponte Bratica - ARB (alternanze di livelli lapidei e pelitici).

Il bedrock individuato, sulla base dei risultati delle indagini geofisiche effettuate in foro di sondaggio, risulta non rigido a causa dell'intensa tettonizzazione e alterazione; le V_s estrapolate hanno infatti un valore di circa 450 m/s.

Le indagini HVSr hanno confermato la complicata geometria del sottosuolo individuando blande amplificazioni a diverse frequenze comprese tra 2,3-4 Hz. I bassi valori di amplificazione della curva H/V, sinonimo di bassi contrasti di impedenza, confermando la presenza di un bedrock alterato.

L'indagine "037061P147HVSr152" evidenzia inoltre un'amplificazione a 5 Hz che conferma la presenza di un riflettore a circa 17/18 metri.

Il substrato non è rappresentato sempre da ARB ma è costituito anche dalla Formazione di Monte Pastore (MPA) e dall'unità fortemente tettonizzata delle Argille e Calcari del Torrente Lavinello (AVN).

Nella carta delle sezioni sono riportati due profili interpretativi delle aree in esame. La sez. 9 è stata sviluppata considerando le prove realizzate lungo il corpo di frana interessato (sismica a rifrazione e sondaggio geognostico), mentre la sez. 8 è stata costruita sulla base delle informazioni di tipo geologico e morfologico acquisite durante il rilievo in campagna, e della carta geologica regionale.

6 Interpretazione e incertezze

Il programma delle indagini geognostiche e geofisiche è stato in larga parte finalizzato allo studio della profondità del bedrock o dello pseudo bedrock sismico. Nelle aree sub-pianeggianti il substrato geologico ($V_s > 800\text{m/s}$) si trova però ad una profondità molto elevata e ben superiore al potenziale di investigazione delle indagini a disposizione. Questo ha portato alla necessità formulare alcune assunzioni soprattutto sul modello del sottosuolo comunque indispensabili per l'attivazione delle successive fasi di analisi. In alcuni casi infatti la profondità del substrato, così come previsto dalle linee guida è stata determinata attraverso la costruzione di linee di tendenza sull'ultimo tratto delle V_s derivanti dalle prove eseguite.

7 Metodologie e elaborazione risultati

7.1 Analisi di RSL con metodi numerici monodimensionali (EERA)

Considerando le NTC 2008 paragrafo 3.2.2 “Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l’effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi..” in questo studio di microzonazione sismica di terzo livello sono state effettuate analisi numeriche della RSL con un codice di calcolo che simula la propagazione (e l’amplificazione) delle onde sismiche all’interno dei depositi di terreno presenti al di sopra del substrato rigido.

Lo scopo del presente studio è infatti quello di determinare le modifiche che un segnale sismico $u_B(t)$ partendo dalla base (B) di un deposito subisce fino a raggiungere la superficie, S, trasformandosi in un segnale, amplificato o deamplificato, $u_S(t)$. Nel modello vengono inseriti ed analizzati uno o più sismi in input $u_R(t)$.

Per spiegare questo è necessario parlare della *funzione di trasferimento* (o impropriamente funzione di amplificazione), la quale rappresenta una funzione complessa nel dominio della frequenza, ed esprime il rapporto tra la trasformata di Fourier del moto sismico in superficie al deposito e la trasformata del moto su roccia affiorante, per cui l’ampiezza, o modulo, della funzione di trasferimento è pari al rapporto tra le ampiezze degli spettri di Fourier rispettivamente in superficie e su roccia affiorante.

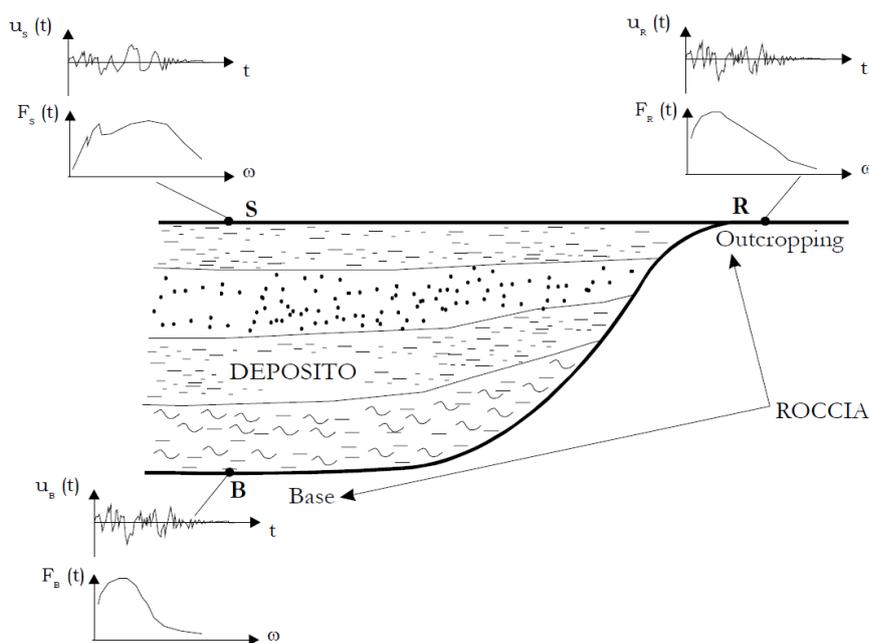


Fig. 22 Rappresentazione tipo per la determinazione della risposta sismica locale (fonte: J. Facciorusso)

Studiare la risposta sismica locale quindi vuol dire definire la funzione di trasferimento o la funzione di amplificazione rappresentativa della situazione geologico strutturale al di sotto del sito in esame. Bisogna dunque stabilire una relazione fra la struttura del sottosuolo e la funzione di amplificazione o di trasferimento. Si presume che la forma di queste due funzioni sia legata alle modalità di trasmissione delle onde all’interno dello strato superficiale ed in particolare alle interferenze che si generano fra queste onde. Le caratteristiche del processo sono controllate dall’impedenza sismica (Fig. 23).

Una tipica situazione capace di amplificare il moto del suolo è quella di un basamento rigido coperta da sedimenti soffici. In questo caso, l’onda emergente dal basso rimane intrappolata all’interno dello strato

sedimentario a causa della presenza di forti contrasti di impedenza sismica sia alla base che in superficie. Se il contrasto alla base è molto grande, l'intrappolamento è perfetto e tutta l'energia rimane all'interno del sedimento. Le onde all'interno interferendo tra loro possono generare amplificazioni.

In un intrappolamento perfetto delle onde, l'amplificazione è massima per certe frequenze (chiamate Frequenze di risonanza) che dipendono dallo spessore dello strato e dalle velocità delle onde al suo interno. Per minori contrasti di impedenza, parte dell'energia intrappolata riesce ad uscire dal sistema. L'entità di amplificazione dipende dunque dal contrasto alla base del sistema.

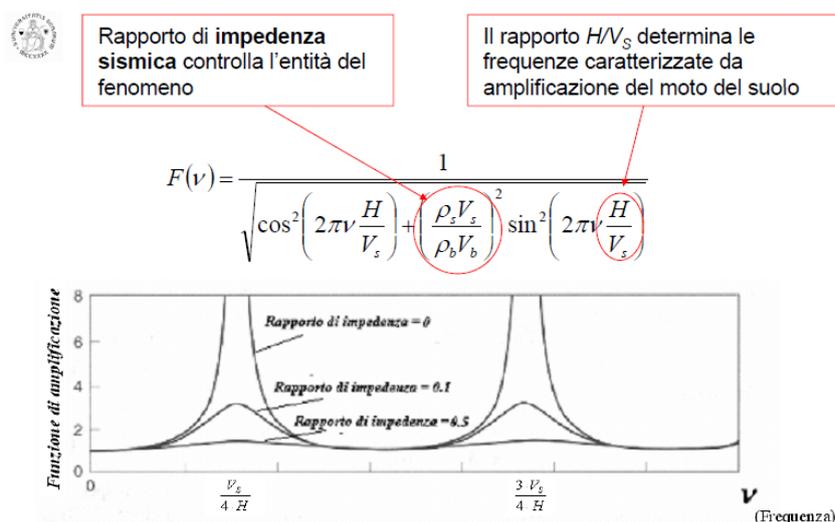


Fig. 23 Rappresentazione della funzione di amplificazione in cui compaiono i parametri chiave del rapporto di impedenza sismica e il rapporto dello spessore e la velocità delle onde di taglio (fonte: D. Albarello, 2013)

La valutazione della RSL solo in termini di ampiezze massime è poco significativa. La funzione di trasferimento infatti indica quali sono le componenti del moto sismico che, attraversando il deposito, vengono maggiormente modificate (amplificandole o attenuandole). Il deposito agisce quindi da filtro smorzante o amplificante per determinate frequenze, con un valore massimo corrispondente alla frequenza caratteristica del deposito.

In un sistema monodimensionale e in campo lineare la funzione di trasferimento rappresenta la proprietà intrinseca del deposito, legata alle sue caratteristiche geometriche e meccaniche, in grado di fornire informazioni di tipo qualitativo. Nella maggior parte dei casi, la risposta sismica, a causa della non linearità del terreno, è funzione delle specifiche caratteristiche dell'input sismico e non si può definire una funzione di trasferimento.

Il codice di calcolo utilizzato per il presente studio è EERA (Equivalent –linear Earthquake Response Analysis) sviluppato da J.P. Bardet, K. Ichii e C.H. Lin nel 2000, e costruito con lo stesso concetto del precedente SHAKE. I programmi monodimensionali 1D si basano su un serie di ipotesi e principalmente si assume che:

- il bedrock sia orizzontale e indefinitamente esteso
- il deposito sia omogeneo o al più stratificato orizzontalmente
- la sollecitazione sismica sia costituita da sole onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale (SH) incidenti il bedrock con direzione di propagazione verticale.

Adotta il modello fisico a strati continui ed omogenei a comportamento viscoelastico linearizzato di Kelvin-Voigt in cui ogni strato è omogeneo, isotropo, ed è caratterizzato da uno spessore h , densità ρ , dal modulo di taglio G e dal rapporto di smorzamento D .

Lavora inoltre nel campo delle tensioni totali e quindi non tiene conto delle sovrappressioni interstiziali generate dal sisma che possono influenzare direttamente le caratteristiche di rigidità dei terreni.

Il calcolo della RSL viene effettuato dal codice di calcolo attraverso il metodo della funzione di trasferimento e si articola in quattro fasi (vedi Fig. 24):

- 1 : Calcolo della trasformata di Fourier dell'accelerogramma di input al bedrock attraverso la quale quest'ultimo è trasformato in una somma infinita di armoniche;
- 2 : Calcolo della funzione di amplificazione tra il basamento e la superficie del deposito;
- 3 : Calcolo della trasformata di Fourier della risposta in accelerazione alla superficie del deposito come prodotto della funzione di amplificazione per la trasformata di Fourier dell'input;
- 4 : Calcolo della trasformata inversa di Fourier della trasformata ottenuta al punto 3, ottenendo l'accelerogramma in superficie.

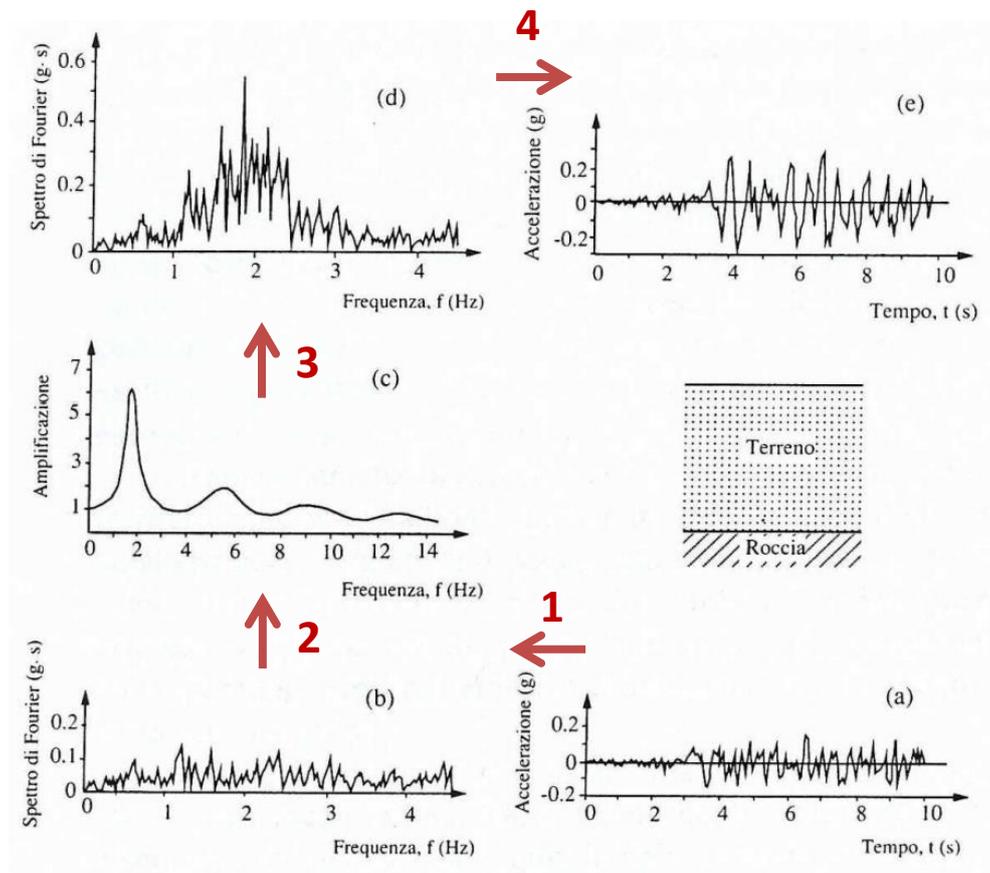


Fig. 24 Schema riassuntivo delle fasi di calcolo usate dal codice di calcolo EERA

Il comportamento del terreno risulta però spesso non lineare, e per ovviare a questo problema (pur mantenendo un'impostazione lineare delle equazioni del moto, applicando il metodo della trasformata di Fourier) si applica una procedura iterativa (modello lineare equivalente), ovvero: nel programma di calcolo i moduli G e D si ottengono da iterazioni che sono funzione del livello di deformazione " γ " indotto in tutti gli strati; quindi, non essendo costanti, variano fino a raggiungere un valore uguale al livello di deformazione indotto dal sisma. Il processo termina quando i valori di γ , G e D trovati all' i -esima iterazione e quelli trovati all'iterazione precedente sono trascurabili.

I valori in input richiesti da EERA sono:

1. stratigrafia dell'area in analisi (numero e spessore strati, e peso di volume)
2. modulo di taglio G e rapporto di smorzamento D per ciascun materiale considerato
3. profondità del bedrock

4. velocità delle onde S per ciascuno strato
5. accelerogrammi di riferimento

La maggior parte di questi dati in ingresso sono ottenuti dalle prove in campagna (n. 1, 3, 4) mentre per quanto riguarda il modulo di taglio e il fattore di smorzamento, sono stati considerati le curve proposte da Vucetic (P.I. = 50 %) per le argille, Seed e Idriss per sabbie e Rollins et al. (1998) per le ghiaie.

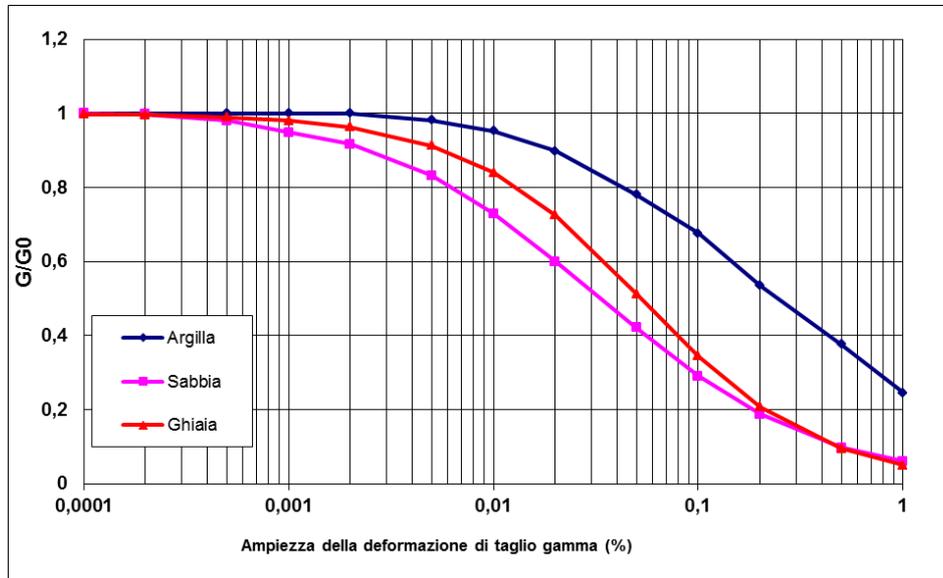


Fig. 25 Curve di decadimento normalizzate del rapporto dei moduli di taglio con γ per determinati terreni

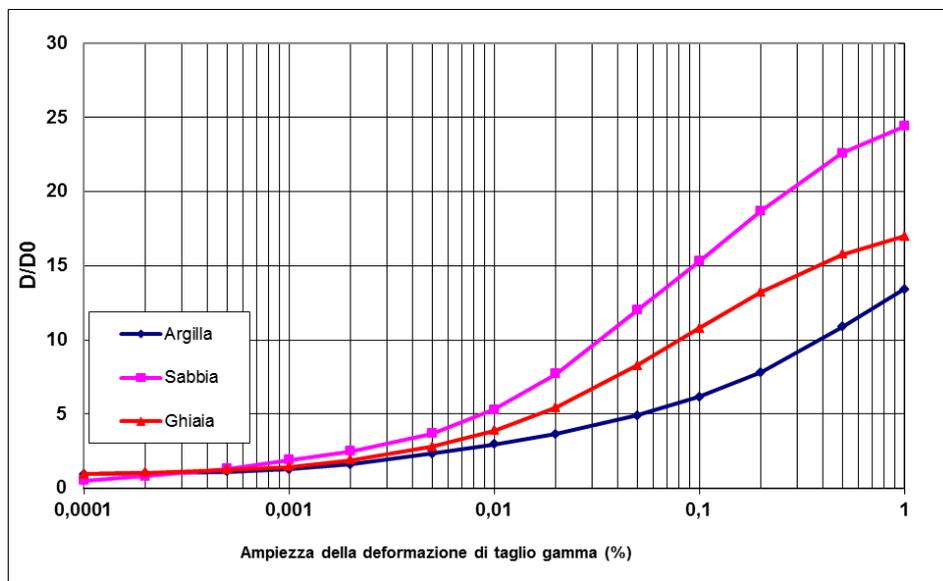


Fig. 26 Curve del rapporto di smorzamento con γ per determinati terreni

Gli accelerogrammi di riferimento normalizzati sono stati reperiti nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale, e si riferiscono all'ultimo aggiornamento del DAL n.112/2007 dalla Delibera Giunta regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015. Questi segnali sismici sono rappresentativi dello scuotimento atteso, per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A ($V_s > 800$ m/s) definita dalla NTC08.

Per la determinazione della RSL, la Regione fornisce inoltre gli spettri rappresentativi della zona in esame da utilizzare come riferimento. Per la definizione del moto di riferimento vengono infatti forniti:

la forma dello spettro di risposta in accelerazione (smorzamento pari al 5%) normalizzato, e mediato sul territorio regionale, rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni in Emilia-Romagna e i valori di accelerazione massima orizzontale a_{refg} , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g , con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Entrambi i dati sono stati elaborati e calcolati da INGV.

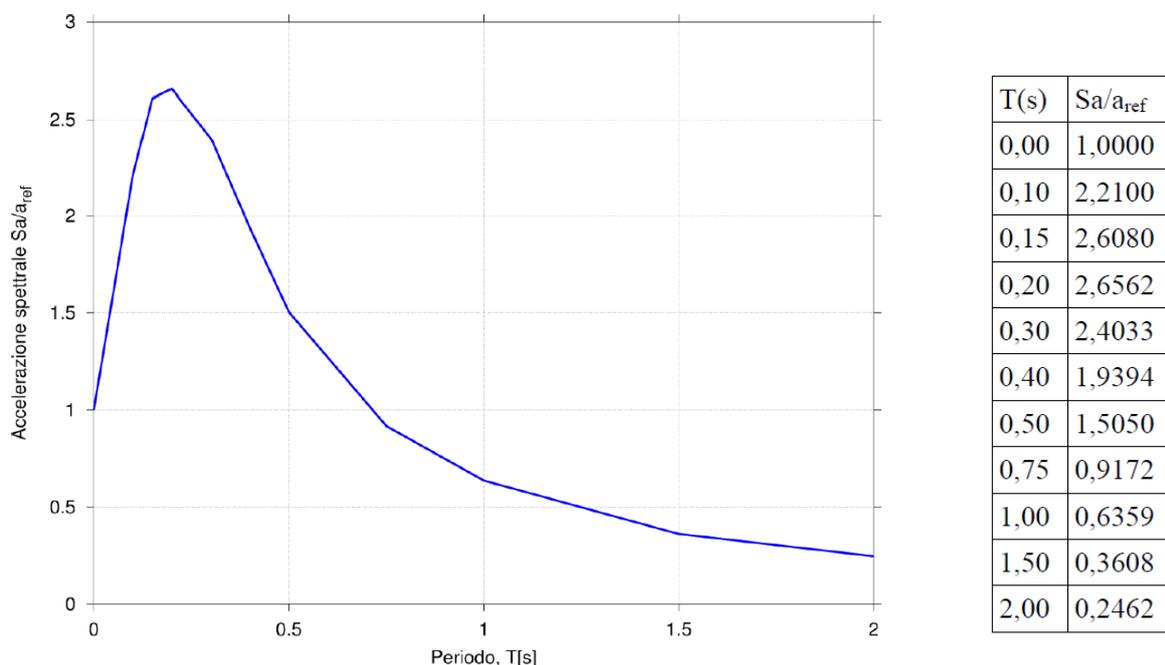


Fig. 27 Spettro di risposta normalizzato per l'Emilia-Romagna con i relativi valori in tabella (fonte: DGR n.2193/2015)

Per ottenere lo spettro di risposta in accelerazione a probabilità uniforme (con smorzamento di 5%) che si riferisce al moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni nel sito in esame, si moltiplica i valori proposti dalla Regione nella tabella in Fig. 27 per il valore di a_{refg} . I valori di a_{refg} sono forniti in una maglia a punti con passo 0,05 gradi e sono stati scelti in base alla vicinanza al sito in esame:

- $a_{refg} = 0,1632$ Ponte Samoggia
- $a_{refg} = 0,1639$ Calcara
- $a_{refg} = 0,1622$ Loc. Pedretta, Case Via Provinciale
- $a_{refg} = 0,1629$ Abbazia Monteveglio
- $a_{refg} = 0,1600$ Savigno, Villa
- $a_{refg} = 0,1592$ Vedegheto

Il vantaggio dato da un'analisi numerica della RSL attraverso codici di calcolo monodimensionale è dato dalle informazioni in output:

- a) variazione con la profondità dei valori massimi dell'accelerazione massima, della tensione e della deformazione di taglio;
- b) la storia temporale dell'accelerazione, spostamento e velocità relativa, delle tensioni e delle deformazioni di taglio per ciascuno strato e per il bedrock;
- c) la funzione di trasferimento del deposito;
- d) lo spettro di Fourier;

- e) lo spettro di risposta in termini di accelerazione, velocità e spostamento per ciascuno strato e per il bedrock.

Grazie ai valori ottenuti possiamo così ottenere i fattori di amplificazione sismica necessari per la costruzione della carta di microzonazione sismica di terzo livello. Questi sono espressi in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale FA_{PGA} e rapporto di Intensità di Housner per prefissati intervalli di periodi:

$$FA_{PGA} = \frac{PGA}{PGA_0}$$
$$FA_{T1-T2} = \frac{SI}{SI_0}$$

PGA_0 , SI_0 rappresentano rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento ricavati dal sito della regione;

PGA (Peak Ground Acceleration) e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati;

L'Intensità di Housner è definita da:

$$SI = \int_{T1}^{T2} PSV(\xi, T) dT$$

Dove PSV è lo pseudo-spettro di risposta in velocità, ξ è lo smorzamento e T il periodo proprio.

Nei calcoli è stato impostato uno smorzamento del 5% e tre intervalli di periodi ottenendo tre valori di intensità spettrale:

- SI1: $0,1s \leq T \leq 0,5s$
- SI2: $0,5s \leq T \leq 1,0s$
- SI3: $0,5s \leq T \leq 1,5s$

7.1.1. Risultati

Per ciascuna area sono state effettuate diverse simulazioni con riferimento alle stratigrafie derivanti dalle differenti prove geofisiche disponibili; in altre situazioni di minore complessità è stato utilizzato un unico profilo di velocità in corrispondenza di più aree limitrofe. Le verticali di indagine sono quindi ubicate in corrispondenza di prove realizzate ex-novo o prove pregresse effettuate in precedenti studi.

Per ogni area sono stati comunque selezionati, ai fini della redazione delle carte di microzonazione, i parametri di amplificazione più cautelativi (valori più elevati).

7.1.1.1 Località Pedretta

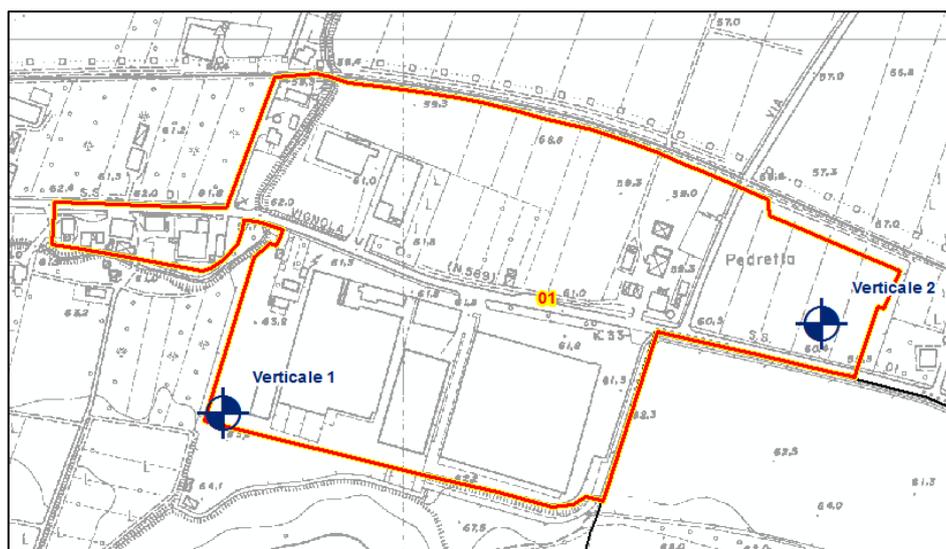


Fig. 28 Ubicazione verticali di indagine per le analisi di risposta sismica locale

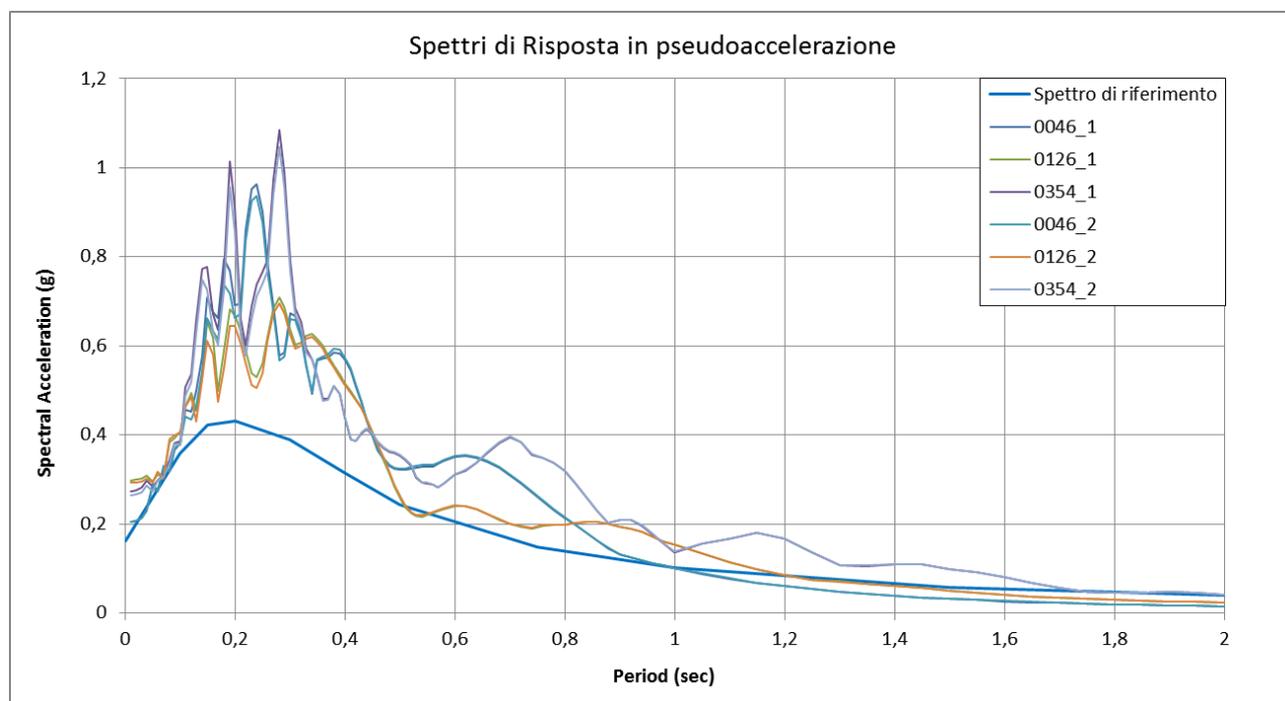
Le successive tabelle rappresentano le stratigrafie utilizzate per le verticali di indagine.

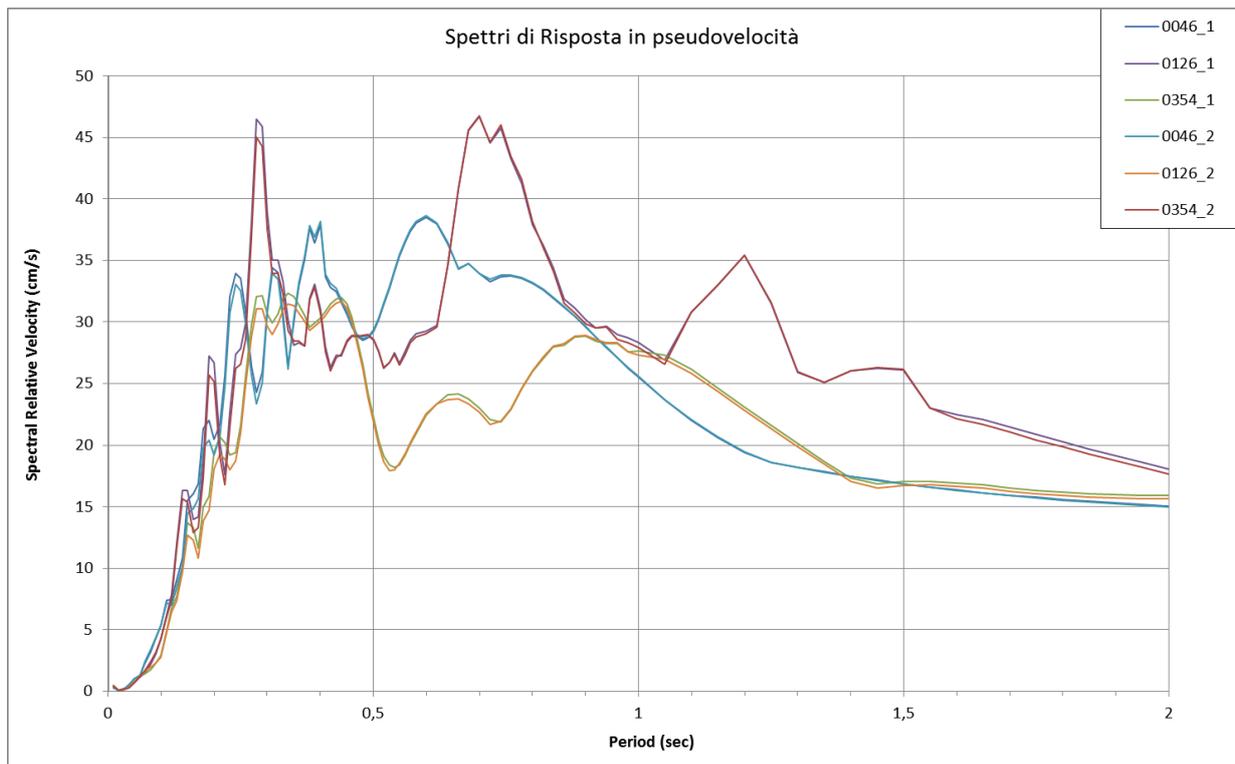
Tab. 3 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 1 (0046_1, 0126_1 e 0354_1)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	2,7	63,69		18,80	182,3			1,4	25,38
	2	1	1,1	62,23		18,80	180,2			3,3	61,10
	3	2	1,4	60,82		18,60	179,1			4,5	84,46
	4	1	1,1	64,09		19,60	179,1			5,8	108,26
	5	1	1,1	100,52		19,60	224,3			6,8	129,82
	6	1	2,3	101,54		19,80	224,3			8,6	163,37
	7	1	1,1	153,42		19,80	275,7			10,3	197,03
	8	1	1,9	156,51		20,20	275,7			11,8	227,11
	9	1	0,3	201,99		20,20	313,2			12,9	249,33
	10	1	5,0	197,99		19,80	313,2			15,5	301,86
	11	1	0,9	197,99		19,80	313,2			18,5	360,27
	12	1	7,2	241,96		20,00	344,5			22,5	441,18
	13	1	9,1	280,76		20,00	371,1			30,6	604,18
	14	1	44,8	326,20		20,00	400			57,6	1143,18
Bedrock	15	0		904,43	1	21,00	650	Outcrop		80,0	1591,18

Tab. 4 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 2 (0046_2, 0126_2 e 0354_2)

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1		1,0	65,04		19,20	182,3			0,5	9,60
	2	1		1,7	66,40		19,60	182,3			1,9	35,86
	3	1		0,3	64,88		19,60	180,2			2,9	55,46
	4	1		1,5	61,90		18,70	180,2			3,8	72,43
	5	1		1,0	61,15		18,70	179,1			5,0	95,80
	6	2		0,5	66,38		20,30	179,1			5,8	110,23
	7	1		0,3	62,45		19,10	179,1			6,2	118,17
	8	1		0,7	97,95		19,10	224,3			6,7	127,72
	9	2		0,8	104,62		20,40	224,3			7,4	142,56
	10	1		1,2	95,90		18,70	224,3			8,4	161,94
	11	1		0,4	97,95		19,10	224,3			9,2	176,98
	12	1		1,6	147,99		19,10	275,7			10,2	196,08
	13	1		1,4	154,97		20,00	275,7			11,7	225,36
	14	1		1,6	199,99		20,00	313,2			13,2	255,36
	15	1		2,5	188,99		18,90	313,2			15,3	294,99
	16	2		0,5	209,99		21,00	313,2			16,8	323,86
	17	1		1,6	196,99		19,70	313,2			17,8	344,87
	18	1		1,6	238,33		19,70	344,5			19,4	376,39
	19	1		6,4	241,96		20,00	344,5			23,4	456,15
	20	1		8,6	280,76		20,00	371,1			30,9	606,15
	21	1		44,8	326,20		20,00	400			57,6	1140,15
Bedrock	22	0			904,43	1	21,00	650	Outcrop		80,0	1588,15





n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_1	2001	0,1622	0,205	1,26	1,73	1,62	1,61
0126_1	2001	0,1622	0,297	1,83	1,73	1,71	1,66
0354_1	2001	0,1622	0,273	1,68	1,73	1,72	1,60
0046_2	2001	0,1622	0,205	1,26	1,71	1,63	1,62
0126_2	2001	0,1622	0,292	1,80	1,70	1,72	1,67
0354_2	2001	0,1622	0,264	1,63	1,70	1,73	1,60

Fig. 29 Spettri di risposta in pseudo-accelerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella.

L'amplificazione ottenuta con metodi monodimensionali mostra un valore massimo dell'FA PGA di 1,83. Anche i valori dell'intensità spettrale (Housner) si aggirano attorno a quei valori.

7.1.1.2 Case Via Provinciale

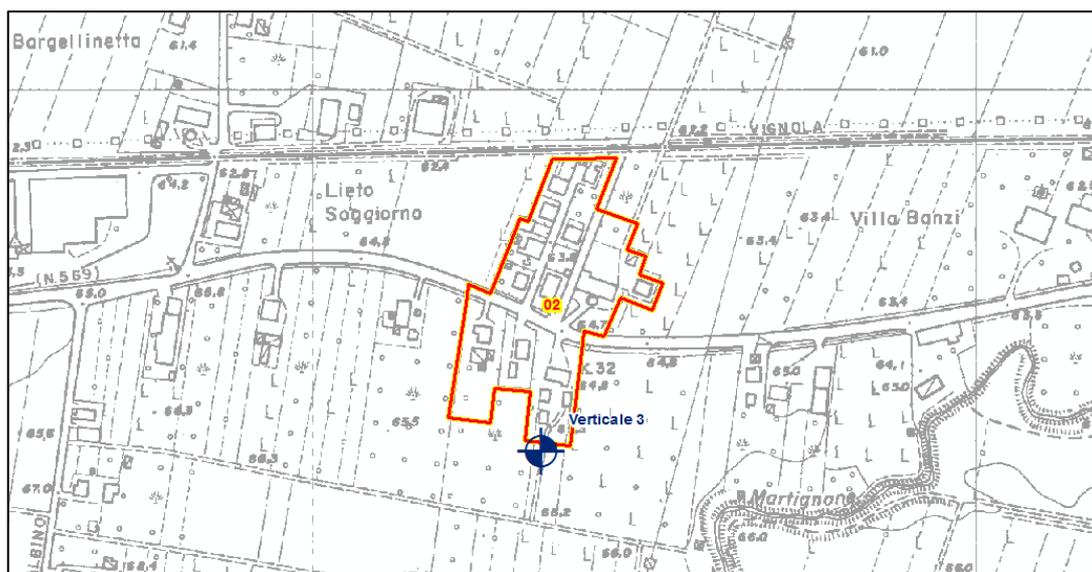
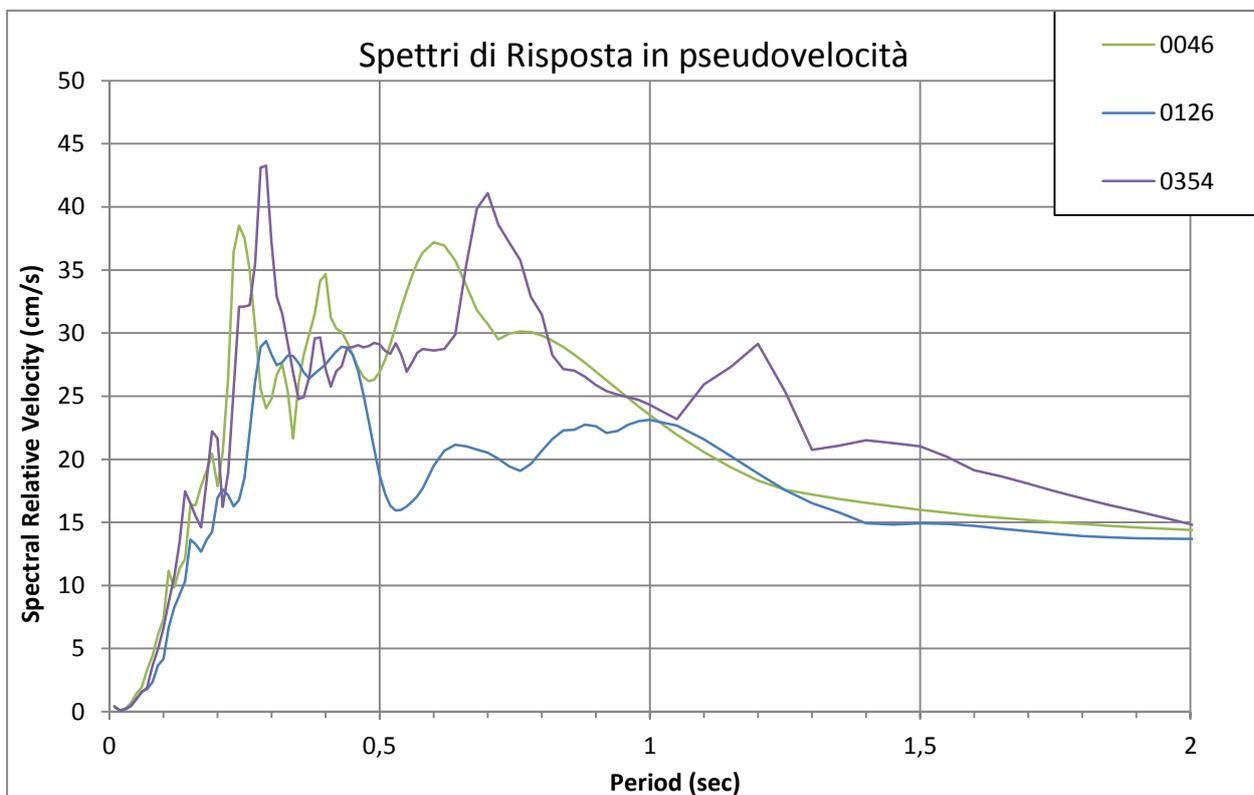
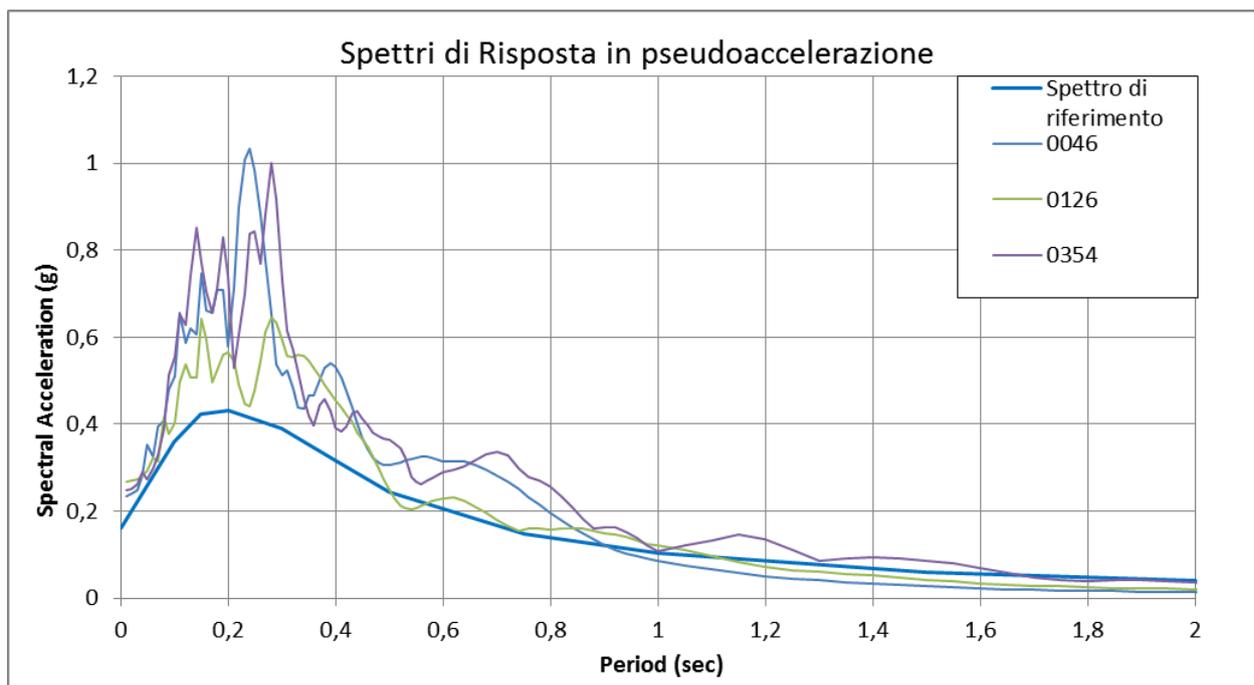


Fig. 30 Ubicazione verticali di indagine per le analisi di risposta sismica locale

La tabella successiva rappresenta la stratigrafia utilizzata per la verticale di indagine.

Tab. 5 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 3 (0046, 0126 e 0354)

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1		2,5	49,03		19,49	157,1			1,3	24,36
	2	1		2,5	80,51		19,49	201,3			3,8	73,09
	3	1		0,9	83,07		20,11	201,3			5,4	106,50
	4	1		0,7	163,60		20,11	282,5			6,3	122,59
	5	1		0,8	169,46		20,83	282,5			7,0	137,96
	6	1		1,2	165,71		20,37	282,5			8,0	158,51
	7	2		0,3	181,33		22,29	282,5			8,8	174,08
	8	2		3,1	206,68		22,29	301,6			10,4	211,97
	9	1		1,0	180,07		19,42	301,6			12,5	256,23
	10	2		0,4	200,01		21,57	301,6			13,2	270,25
	11	1		1,1	184,99		19,95	301,6			13,9	285,54
	12	2		0,3	193,61		20,88	301,6			14,6	299,64
	13	1		0,5	180,63		19,48	301,6			15,0	307,65
	14	1		4,2	379,04		19,48	436,9			17,4	353,42
	15	1		4,1	431,77		19,48	466,3			21,5	434,27
	16	1		11,4	428,26		19,48	464,4			29,3	585,24
	17	1		45,0	509,68		20,00	500			57,5	1146,27
Bedrock	18	0			904,43	1	21,00	650	Outcrop		80,0	1596,27



n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					<u>0,1-0,5</u>	<u>0,5-1</u>	<u>0,5-1,5</u>
0046	2002	0,1622	0,236	1,45	1,65	1,48	1,44
0126	2002	0,1622	0,268	1,65	1,56	1,44	1,40
0354	2002	0,1622	0,247	1,53	1,66	1,46	1,33

Fig. 31 Spettri di risposta in pseudo-accellerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella

L'amplificazione ottenuta con metodi monodimensionali mostra un valore massimo dell'FA PGA di 1,65. Anche i valori dell'intensità spettrale (Housner) si aggirano attorno a quei valori nel periodo tra 0,1-0,5 s mentre risultano leggermente inferiori nell'intervallo 0,5-1 s..

7.1.1.3 Ponte Samoggia

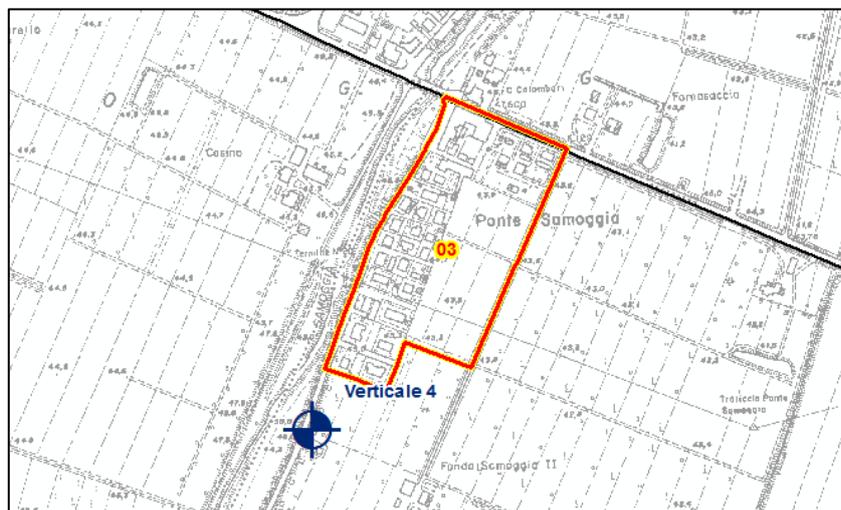
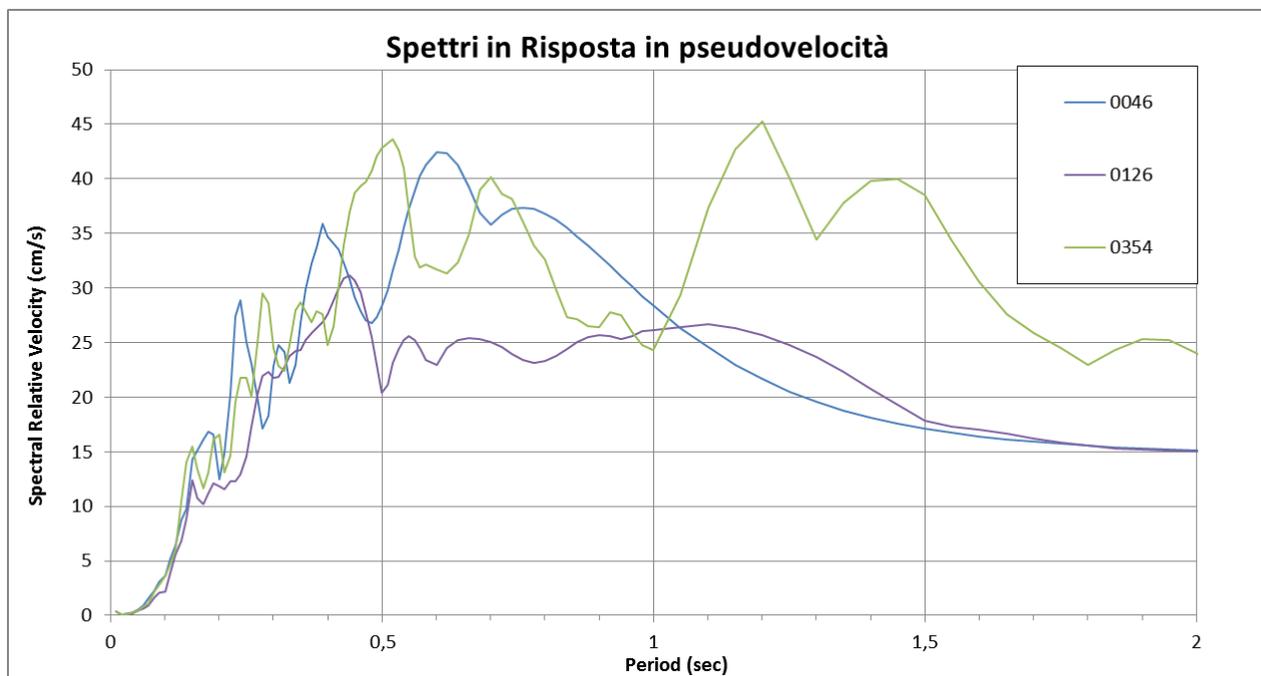
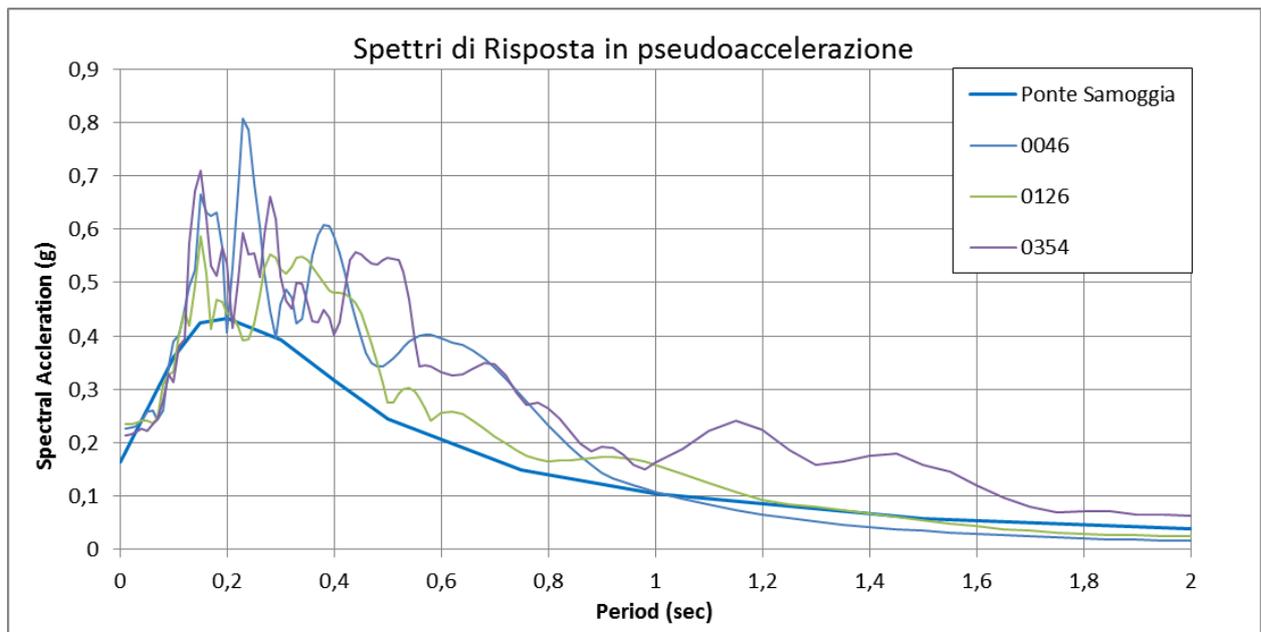


Fig. 32 Ubicazione verticali di indagine per le analisi di risposta sismica locale

Le successive tabelle rappresentano le stratigrafie utilizzate per le verticali di indagine.

Tab. 6 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 4 (0046, 0126 e 0354)

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1		2,2	39,11		18,25	145			1,1	20,08
	2	1		2,0	33,90		18,25	135			3,2	58,40
	3	1		1,0	58,28		18,25	177			4,7	85,78
	4	1		3,3	57,45		17,99	177			6,8	124,58
	5	1		1,0	57,55		18,02	177			9,0	163,28
	6	1		4,0	66,31		18,02	190			11,5	208,33
	7	2		1,0	70,14		19,06	190			14,0	253,90
	8	2		1,0	68,56		18,63	190			15,0	272,74
	9	1		4,5	89,53		19,00	215			17,8	324,81
	10	1		6,0	137,82		20,00	260			23,0	427,56
	11	1		4,5	148,62		20,00	270			28,3	532,56
	12	1		4,5	154,18		20,00	275			32,8	622,56
	Bedrock	13	1		65,0	183,49		20,00	300			67,5
14		0			904,43	1	21,00	650	Outcrop		100,0	1967,56



n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046	2004	0,1632	0,226	1,39	1,53	1,78	1,76
0126	2004	0,1632	0,235	1,44	1,53	1,69	1,71
0354	2004	0,1632	0,215	1,31	1,57	1,66	1,87

Fig. 33 Spettri di risposta in pseudo-accellerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella.

Il massimo valori di amplificazione FAPGA è di 1,44. L'intensità spettrale risulta essere più elevata a periodi compresi tra 0,5-1 s in cui raggiunge 1,78 e di 1,87 da 0,5-1,5 s.

7.1.1.4 Calcara

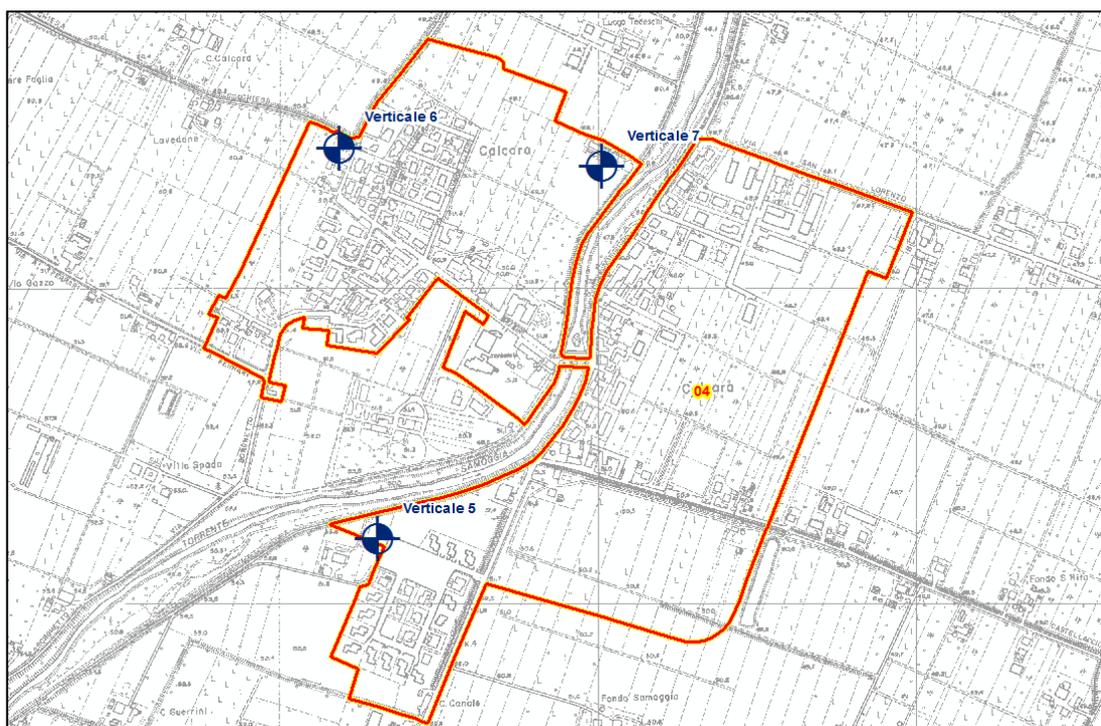


Fig. 34 Ubicazione verticali di indagine per le analisi di risposta sismica locale

Le successive tabelle rappresentano le stratigrafie utilizzate per le verticali di indagine.

Tab. 7 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 5 (0046_1, 0126_1 e 0354_1)

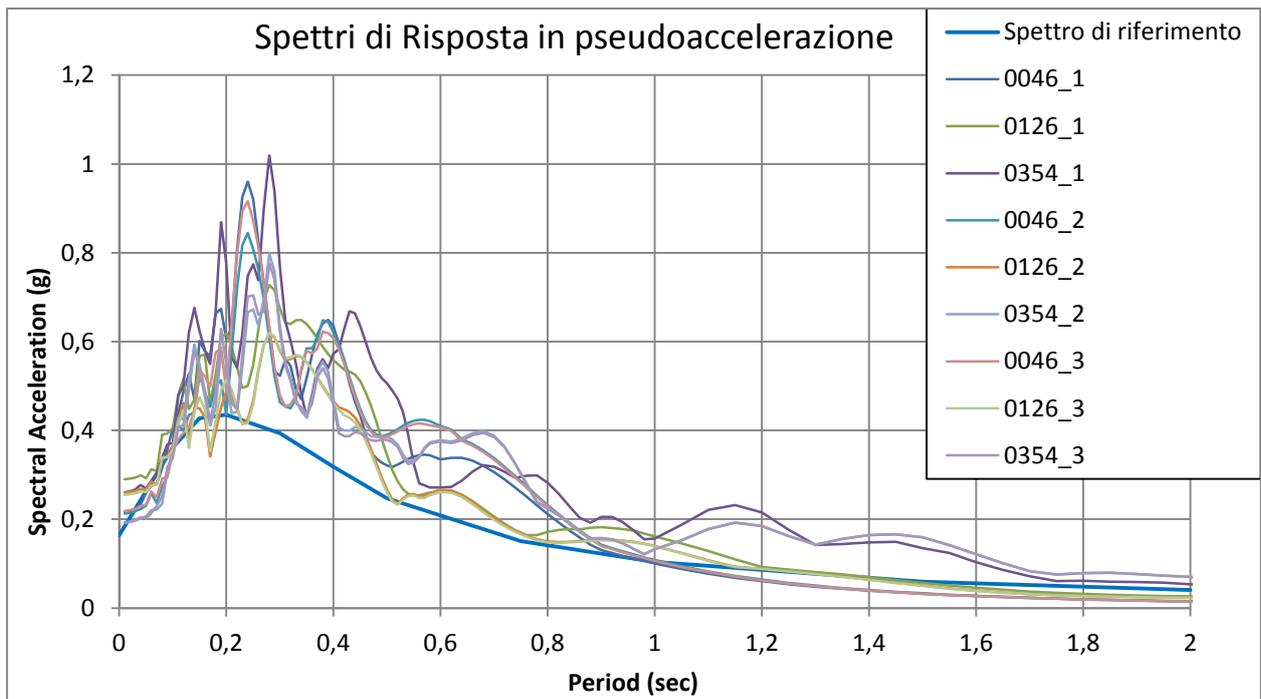
Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1,5	46,36		18,88	155,2			0,8	14,16
	2	2	0,5	50,85		20,71	155,2			1,8	33,50
	3	1	0,8	45,03		18,34	155,2			2,4	46,01
	4	1	2,8	47,68		18,34	159,7			4,2	79,02
	5	1	2,2	67,99		18,34	190,7			6,7	124,87
	6	2	0,2	69,06		18,63	190,7			7,9	146,91
	7	1	1,7	69,06		18,63	190,7			8,9	164,61
	8	1	3,9	101,66		19,00	229,1			11,7	217,49
	9	1	7,0	134,66		20,00	257			17,1	324,54
	10	1	9,5	165,25		20,00	284,7			25,4	489,54
	11	1	4,9	201,01		20,00	314			32,5	633,54
Bedrock	12	1	65,0	249,75		20,00	350			67,5	1332,54
	13	0		904,43	1	21,00	650	Outcrop		100,0	1982,54

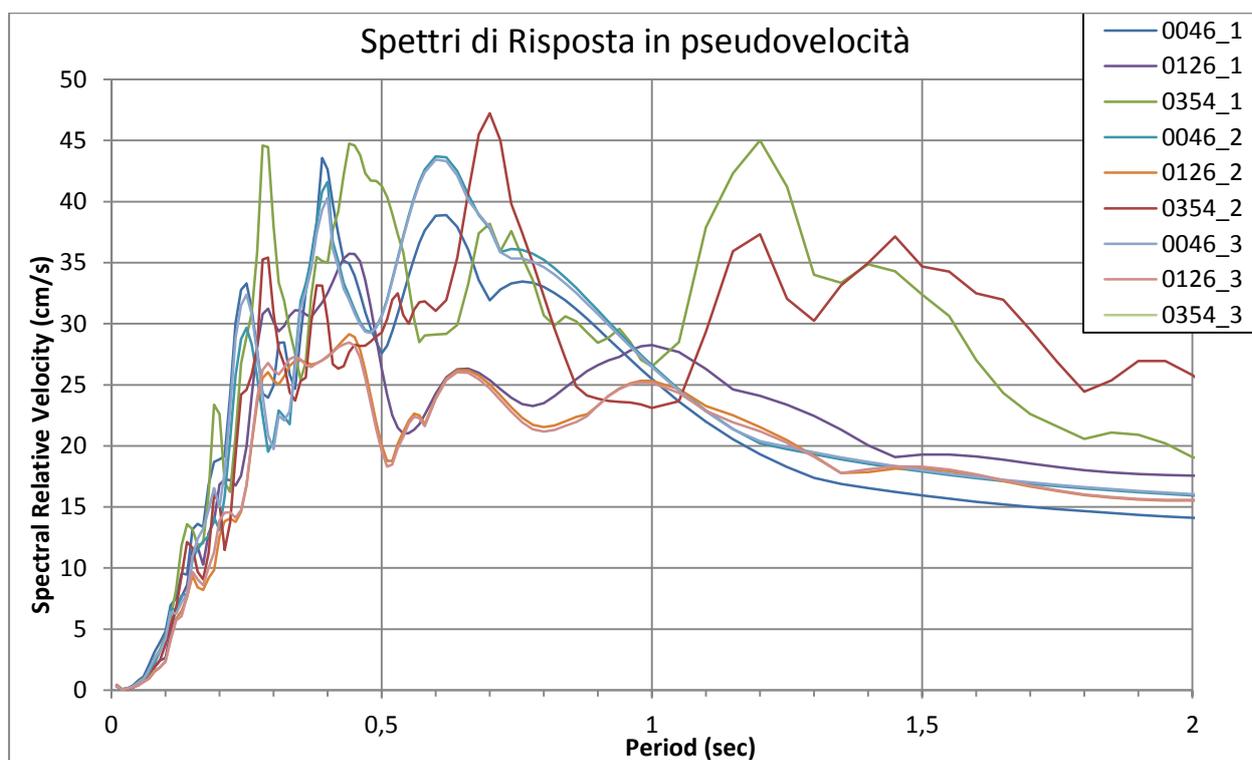
Tab. 8 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 6 (0046_2, 0126_2 e 0354_2)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1,0	25,83		18,96	115,6			0,5	9,48
	2	1	0,8	24,08		17,68	115,6			1,4	26,03
	3	1	1,7	32,89		17,68	135,1			2,7	48,13
	4	1	0,5	41,53		17,68	151,8			3,8	67,58
	5	1	2,8	44,07		18,76	151,8			5,4	98,26
	6	1	1,2	61,89		18,76	179,9			7,4	135,78
	7	2	1,6	62,24		19,51	176,9			8,8	162,65
	8	1	0,7	57,26		17,95	176,9			9,9	184,54
	9	1	2,5	81,00		17,95	210,4			11,6	213,26
	10	1	0,9	83,57		18,52	210,4			13,3	244,03
	11	1	3,1	90,13		18,52	218,5			15,3	281,07
	12	1	2,0	90,52		18,60	218,5			17,8	328,38
	13	1	3,2	91,06		18,71	218,5			20,4	376,91
	14	1	8,0	99,19		19,00	226,3			26,0	482,85
	15	1	5,0	106,60		19,00	234,6			32,5	606,35
	16	1	65,0	127,42		20,00	250			67,5	1303,85
Bedrock	17	0		904,43	1	21,00	650	Outcrop		100,0	1953,85

Tab. 9 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 7 (0046_3, 0126_3 e 0354_3)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1,8	26,40		19,38	115,6			0,9	17,44
	2	1	0,2	36,06		19,38	135,1			1,9	36,82
	3	1	1,5	33,92		18,23	135,1			2,8	52,43
	4	1	1,5	42,82		18,23	151,8			4,3	79,78
	5	1	1,8	43,29		18,43	151,8			5,9	110,04
	6	1	3,2	58,79		18,43	176,9			8,4	156,11
	7	1	0,3	56,49		17,71	176,9			10,1	188,26
	8	1	2,7	79,92		17,71	210,4			11,6	214,82
	9	1	0,7	84,16		18,65	210,4			13,3	245,26
	10	1	2,3	90,76		18,65	218,5			14,8	273,23
	11	1	3,6	88,53		18,19	218,5			17,8	327,42
	12	2	0,3	90,67		18,63	218,5			19,8	362,96
	13	1	2,1	89,94		18,48	218,5			21,0	385,16
	14	1	8,0	99,19		19,00	226,3			26,0	480,56
	15	1	5,0	106,60		19,00	234,6			32,5	604,06
	16	1	65,0	127,42		20,00	250			67,5	1301,56
Bedrock	17	0		904,43	1	21,00	650	Outcrop		100,0	1951,56





n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_1	2004	0,1639	0,217	1,32	1,69	1,58	1,58
0126_1	2004	0,1639	0,290	1,77	1,83	1,69	1,72
0354_1	2004	0,1639	0,260	1,59	1,88	1,59	1,74
0046_2	2004	0,1639	0,21238	1,30	1,64	1,80	1,75
0126_2	2004	0,1639	0,25993	1,59	1,52	1,55	1,56
0354_2	2004	0,1639	0,192297	1,17	1,48	1,56	1,69
0046_3	2004	0,1639	0,218082	1,33	1,66	1,77	1,72
0126_3	2004	0,1639	0,25491	1,56	1,51	1,53	1,54
0354_3	2004	0,1639	0,192977	1,18	1,47	1,55	1,69

Fig. 35 Spettri di risposta in pseudo-accelerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella

L'amplificazione ottenuta con metodi monodimensionali mostra un valore massimo dell'FA PGA di 1,77 mentre i valori massimi dell'intensità spettrale (Housner) raggiungono valori di 1,88 per i primi periodi.

Queste amplificazioni sono state attribuite anche alle limitrofe aree MOPS 2003 per le analogie di spessore dei sedimenti presenti. Di conseguenza è stato assegnato lo stesso spettro in output.

7.1.1.5 Monteveglio

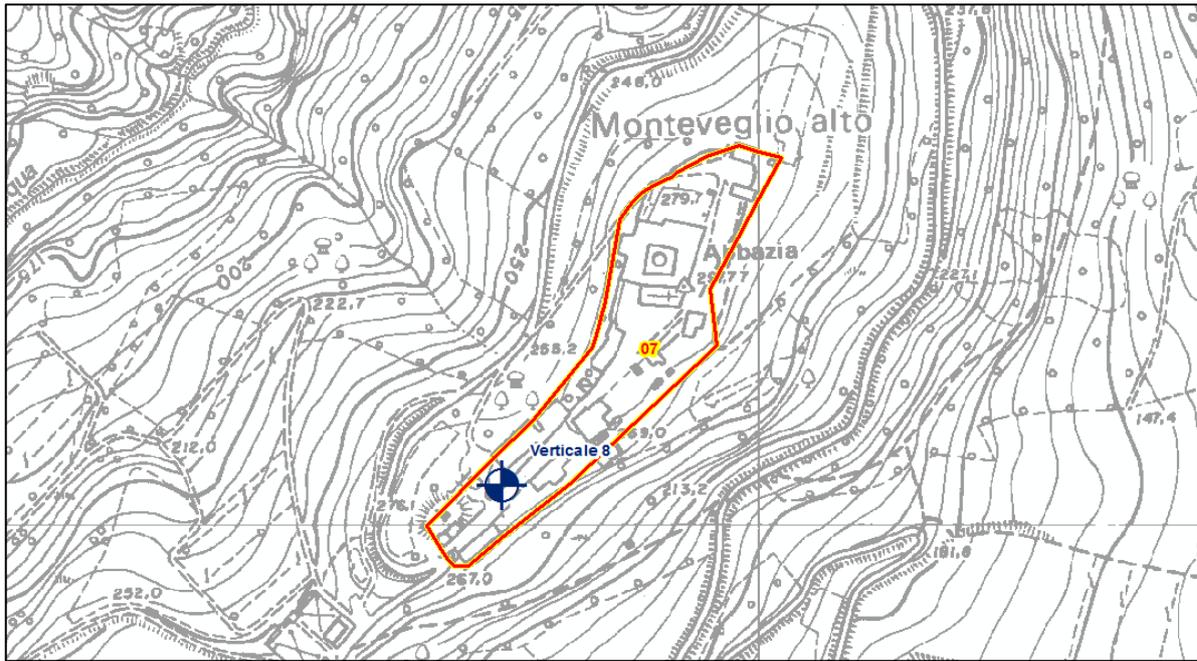
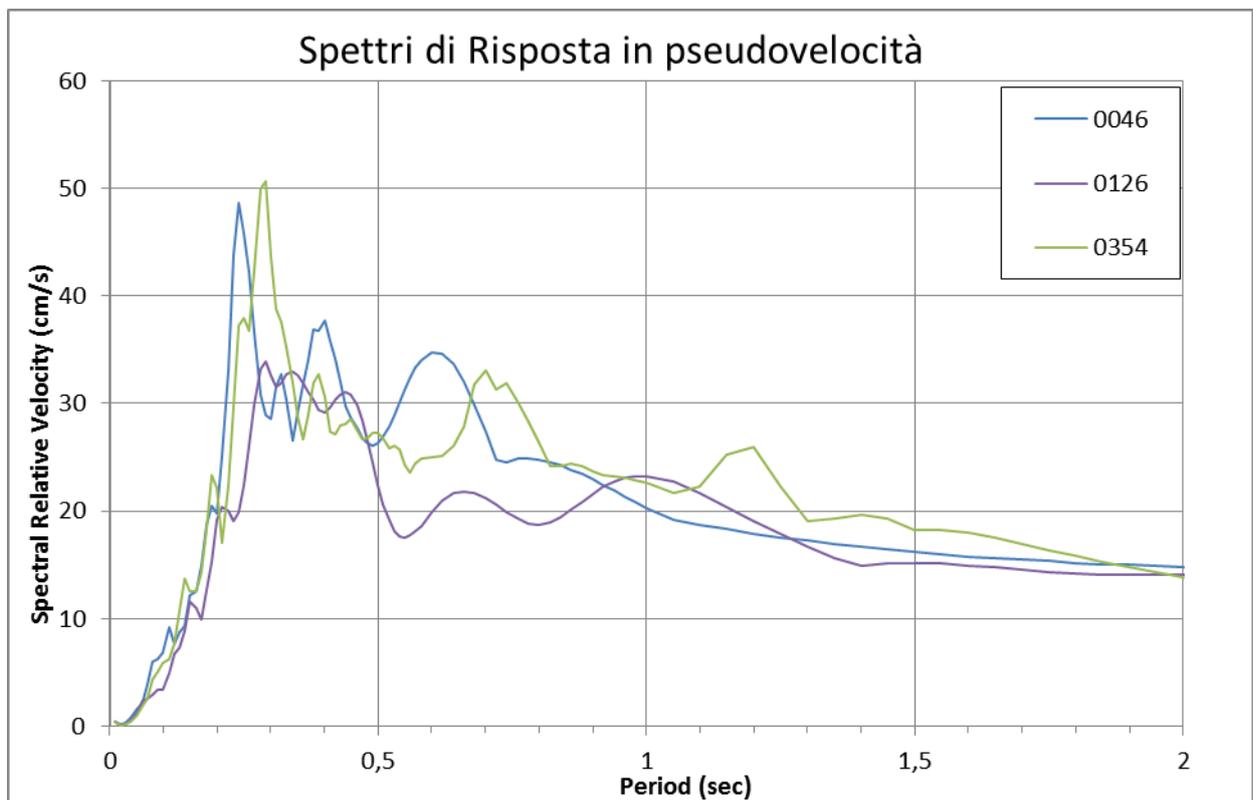
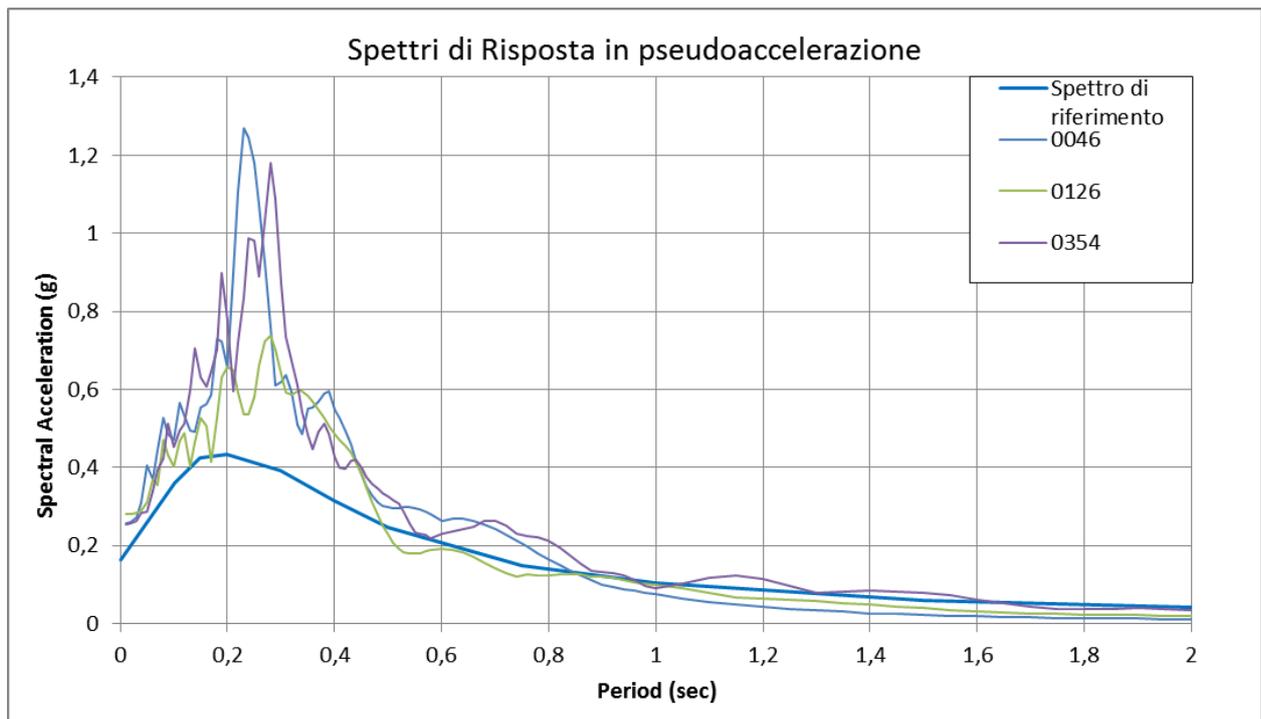


Fig. 36 Ubicazione verticali di indagine per le analisi di risposta sismica locale

La tabella sottostante rappresenta la stratigrafie utilizzata per la verticale di indagine.

Tab. 10 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 8 (0046, 0126 e 0354)

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1		0,7	49,95		18,00	165	Outcrop		0,3	6,03
	2	1		1,6	97,18		19,00	224		1,5	27,26	
	3	1		1,6	119,12		19,00	248		3,1	57,66	
	4	2		2,2	174,31		19,00	300		5,0	93,76	
	5	2		2,7	244,07		20,00	346		7,4	141,66	
	6	1		1,4	97,18		19,00	224		9,5	181,96	
	7	1		1,4	119,12		19,00	248		10,9	208,56	
	8	2		5,4	289,76		20,00	377		14,3	275,86	
	9	2		1,4	438,93		20,00	464		17,7	343,86	
Bedrock	10	0			1213,78	1	21,00	753		18,4	357,86	



n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046	2099	0,1629	0,257	1,58	1,79	1,27	1,22
0126	2099	0,1629	0,280	1,72	1,64	1,16	1,16
0354	2099	0,1629	0,254	1,56	1,76	1,18	1,11

Fig. 37 Spettri di risposta in pseudo-accellerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella.

A Montevoglio, grazie alle prove effettuate ex-novo è stato possibile determinare un'amplificazione dell'accelerazione al suolo di 1,72. Per l'intensità di Housner i valori risultano più elevati a periodi compresi tra 0,1 e 0,5 secondi (1,79).

Questi valori risulta superiori a quelli determinati con le tabelle nel precedente lavoro di MS del 2013.

7.1.1.6 Savigno

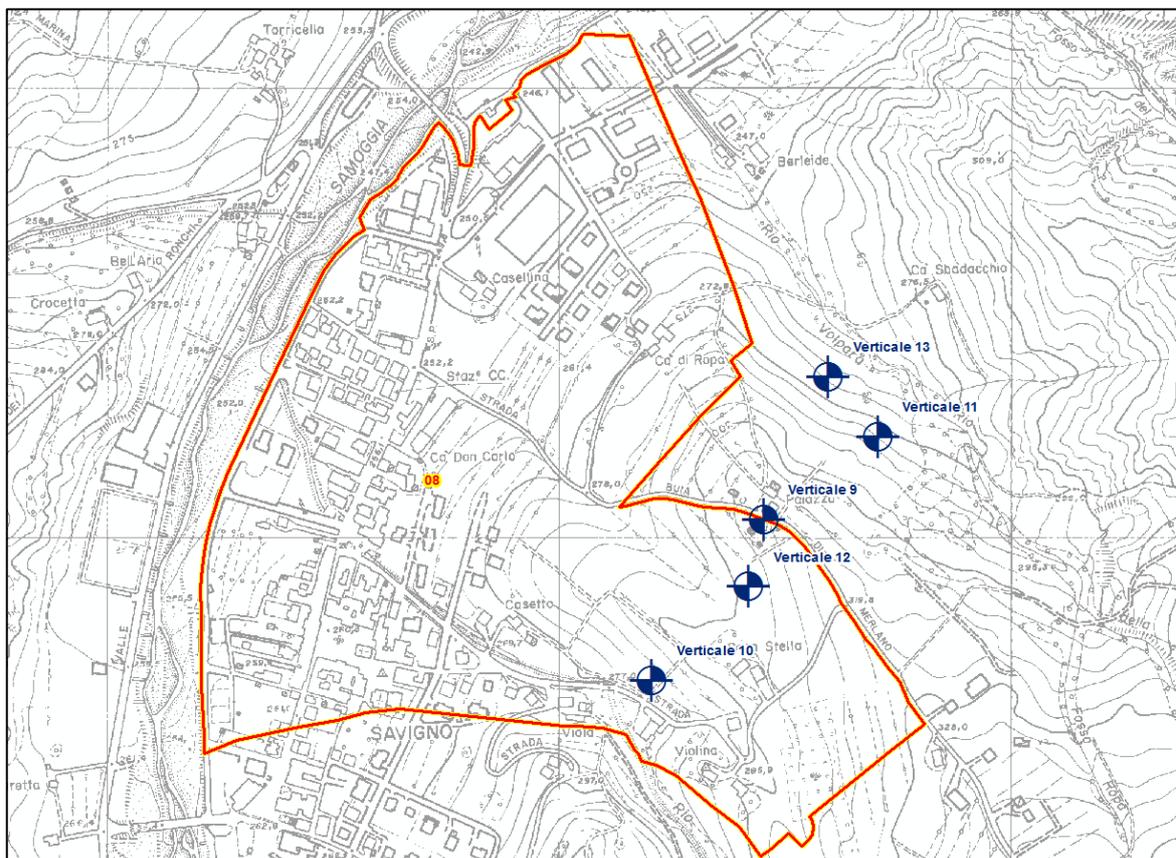


Fig. 38 Ubicazione verticali di indagine per le analisi di risposta sismica locale

Le successive tabelle rappresentano le stratigrafie utilizzate per le verticali di indagine.

Tab. 11 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 9 (0046_1, 0126_1 e 0354_1)

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1		1,7	95,45		19,00	222			0,9	16,15
	2	1		1,6	124,95		19,00	254			2,5	47,50
	3	1		2,9	131,94		19,00	261			4,8	90,25
	4	2		2,0	293,08		19,00	389			7,2	136,80
	5	1		2,1	106,96		19,00	235			9,3	175,75
	6	1		1,8	70,49		18,00	196			11,2	211,90
	7	1		2,0	93,74		19,00	220			13,1	247,10
	8	1		2,5	107,87		19,00	236			15,3	289,85
	9	1		13,4	199,73		20,00	313			23,3	447,60
Bedrock	10	0			542,83	1	20,00	516	Outcrop		30,0	581,60

Tab. 12 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 10 (0046_2, 0126_2 e 0354_2)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1,7	95,45		19,00	222			0,9	16,15
	2	1	1,6	124,95		19,00	254			2,5	47,50
	3	1	2,9	131,94		19,00	261			4,8	90,25
	4	2	2,0	293,08		19,00	389			7,2	136,80
	5	1	2,1	106,96		19,00	235			9,3	175,75
	6	1	1,8	70,49		18,00	196			11,2	211,90
	7	1	2,0	93,74		19,00	220			13,1	247,10
	8	1	2,5	107,87		19,00	236			15,3	289,85
	9	2	1,8	199,73		20,00	313			17,5	331,60
Bedrock	10	0		542,83	1	20,00	516	Outcrop		18,4	349,60

Tab. 13 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 11 (0046_3, 0126_3 e 0354_3)

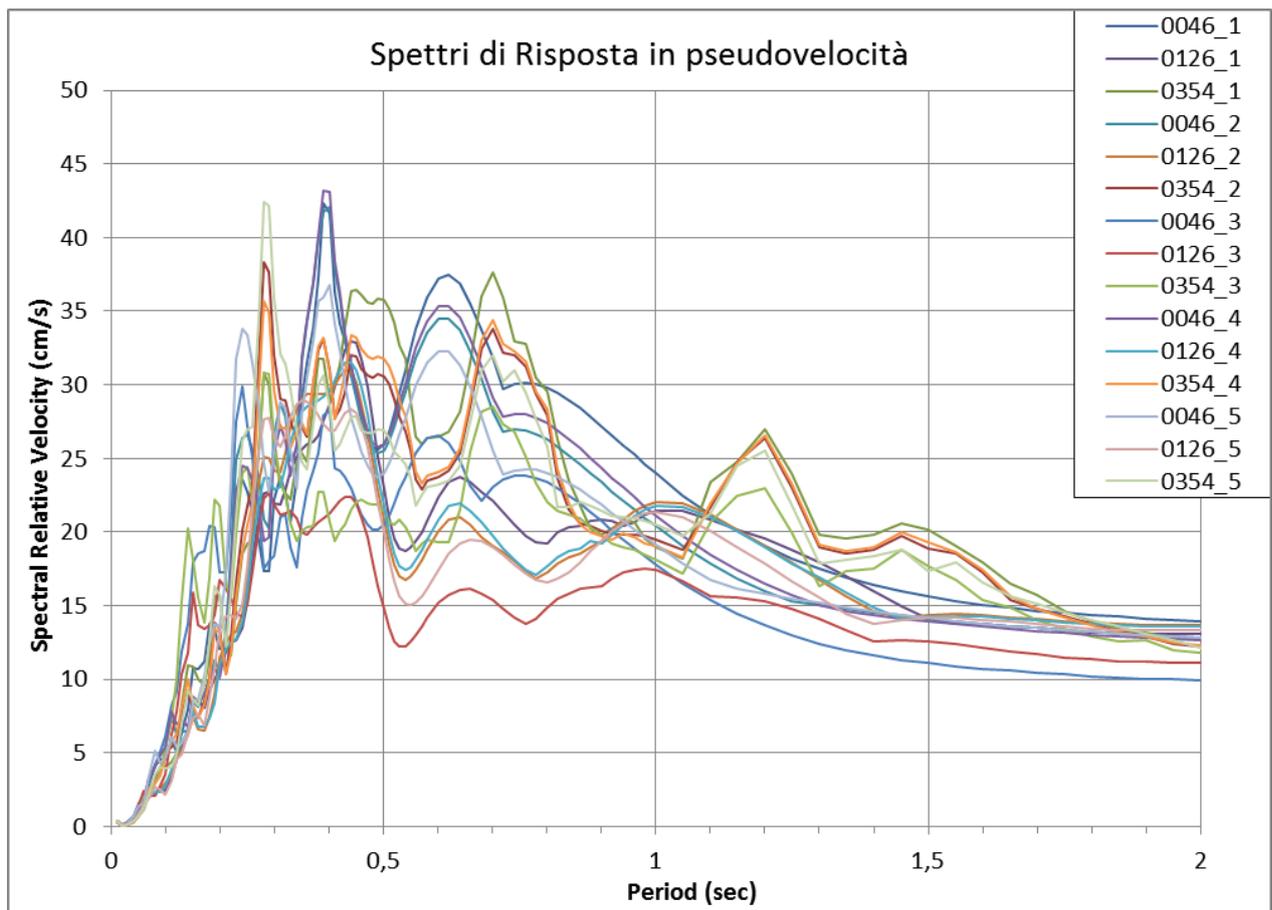
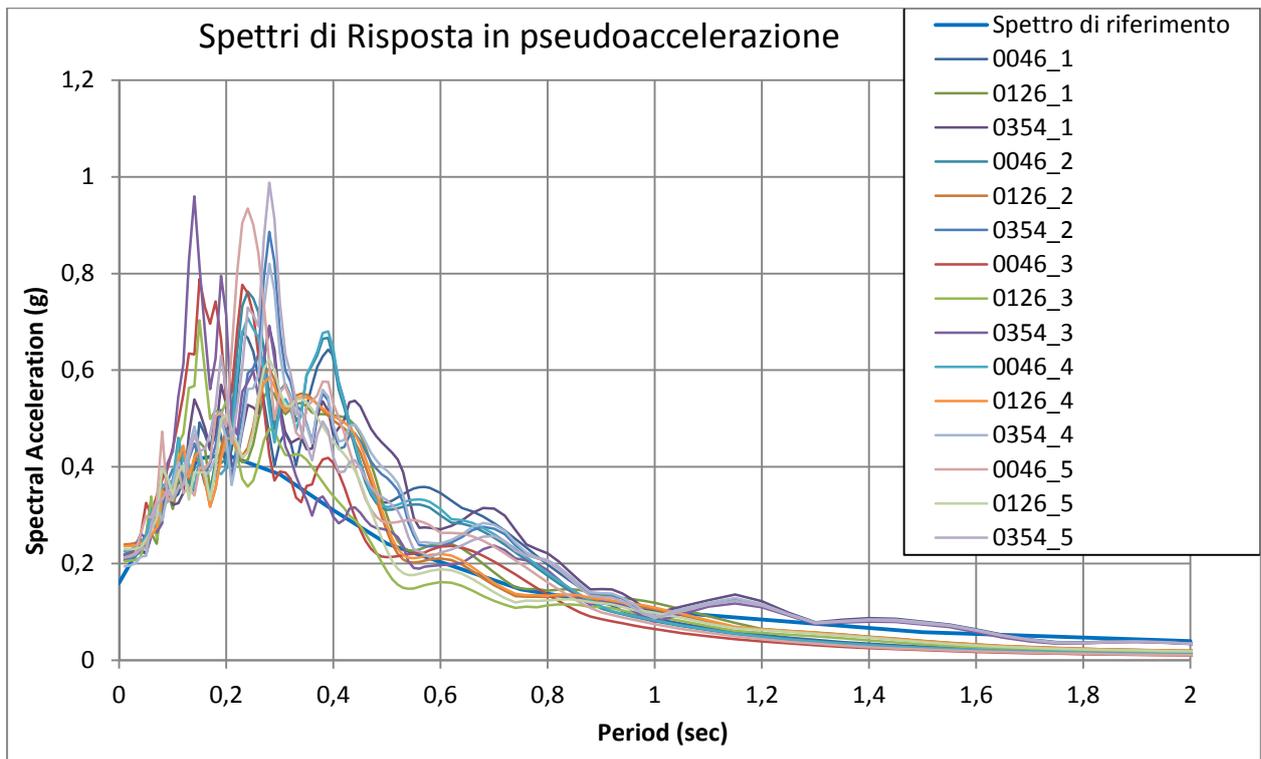
Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1,7	95,45		19,00	222			0,9	16,15
	2	1	1,6	124,95		19,00	254			2,5	47,50
	3	1	2,9	131,94		19,00	261			4,8	90,25
	4	2	2,0	293,08		19,00	389			7,2	136,80
	5	1	1,8	106,96		19,00	235			9,1	172,90
Bedrock	6	0		542,83	1	20,00	516	Outcrop		10,0	190,00

Tab. 14 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 12 (0046_4, 0126_4 e 0354_4)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1,7	95,45		19,00	222			0,9	16,15
	2	1	1,6	124,95		19,00	254			2,5	47,50
	3	1	2,9	131,94		19,00	261			4,8	90,25
	4	2	2,0	293,08		19,00	389			7,2	136,80
	5	1	2,1	106,96		19,00	235			9,3	175,75
	6	1	1,8	70,49		18,00	196			11,2	211,90
	7	1	2,0	93,74		19,00	220			13,1	247,10
	8	1	2,5	107,87		19,00	236			15,3	289,85
	9	2	3,4	199,73		20,00	313			18,3	347,60
Bedrock	10	0		542,83	1	20,00	516	Outcrop		20,0	381,60

Tab. 15 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 13 (0046_5, 0126_5 e 0354_5)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1,7	95,45		19,00	222			0,9	16,15
	2	1	1,6	124,95		19,00	254			2,5	47,50
	3	1	2,9	131,94		19,00	261			4,8	90,25
	4	2	2,0	293,08		19,00	389			7,2	136,80
	5	1	2,1	106,96		19,00	235			9,3	175,75
	6	1	1,8	70,49		18,00	196			11,2	211,90
	7	1	2,0	93,74		19,00	220			13,1	247,10
	8	2	0,9	199,73		20,00	313			14,5	275,10
Bedrock	9	0		542,83	1	20,00	516	Outcrop		15,0	284,10



n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_1	2011	0,16	0,216	1,35	1,50	1,54	1,50
0126_1	2011	0,16	0,219	1,37	1,57	1,44	1,37

0354_1	2011	0,16	0,207	1,29	1,54	1,39	1,26
0046_2	2010	0,16	0,219	1,37	1,58	1,38	1,34
0126_2	2010	0,16	0,239	1,50	1,56	1,28	1,24
0354_2	2010	0,16	0,207	1,29	1,56	1,24	1,16
0046_3	2013	0,16	0,211	1,32	1,31	1,07	1,06
0126_3	2013	0,16	0,205	1,28	1,26	1,05	1,04
0354_3	2013	0,16	0,219	1,37	1,31	1,05	1,03
0046_4	2012	0,16	0,225	1,41	1,56	1,42	1,38
0126_4	2012	0,16	0,236	1,47	1,57	1,32	1,28
0354_4	2012	0,16	0,194	1,21	1,55	1,27	1,18
0046_5	2013	0,16	0,213	1,33	1,56	1,26	1,23
0126_5	2013	0,16	0,230	1,44	1,48	1,17	1,16
0354_5	2013	0,16	0,213	1,33	1,54	1,18	1,11

Fig. 39 Spettri di risposta in pseudo-accelerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella.

A Savigno l'amplificazione massima FAPGA determinata con metodi numerici monodimensionali è di 1,5. L'intensità spettrale ha valori piuttosto variabili, raggiungendo il massimo di 1,58 nel range 0,1-0,5 secondi.

7.1.1.7 Villa

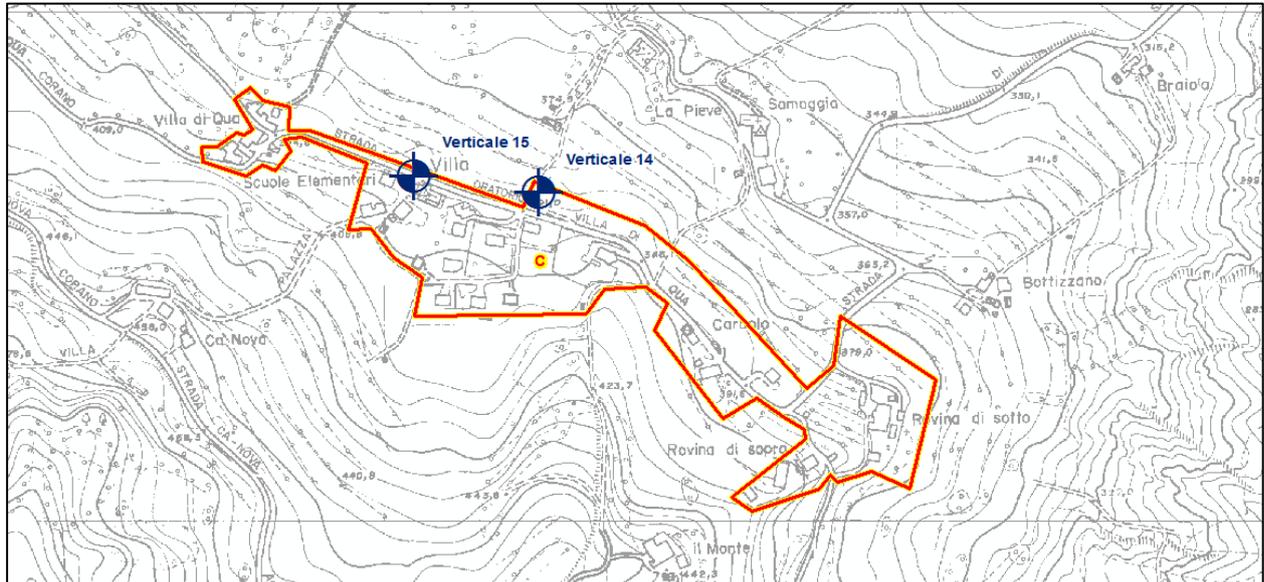


Fig. 40 Ubicazione verticali di indagine per le analisi di risposta sismica locale

Le successive tabelle rappresentano le stratigrafie utilizzate per le verticali di indagine.

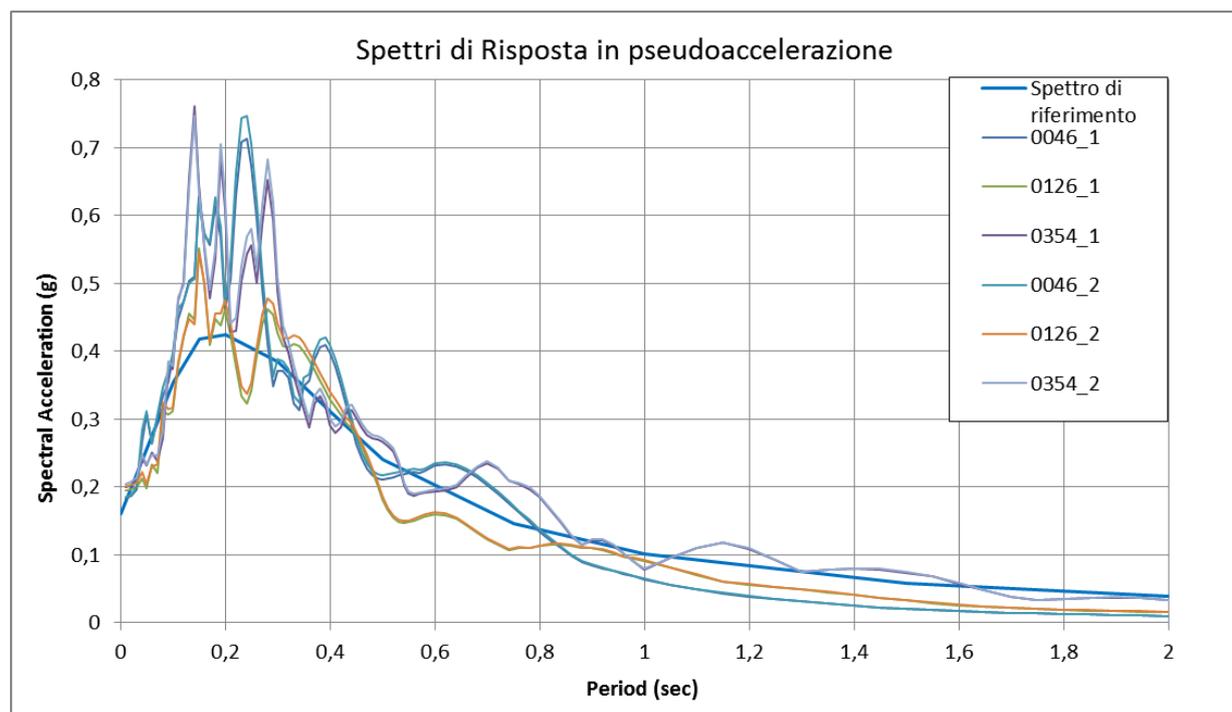
La stratigrafia delle due verticali si differenzia in base al fatto che la 14 si trova su un corpo di frana mentre la 15 su uno pseudo-bedrock.

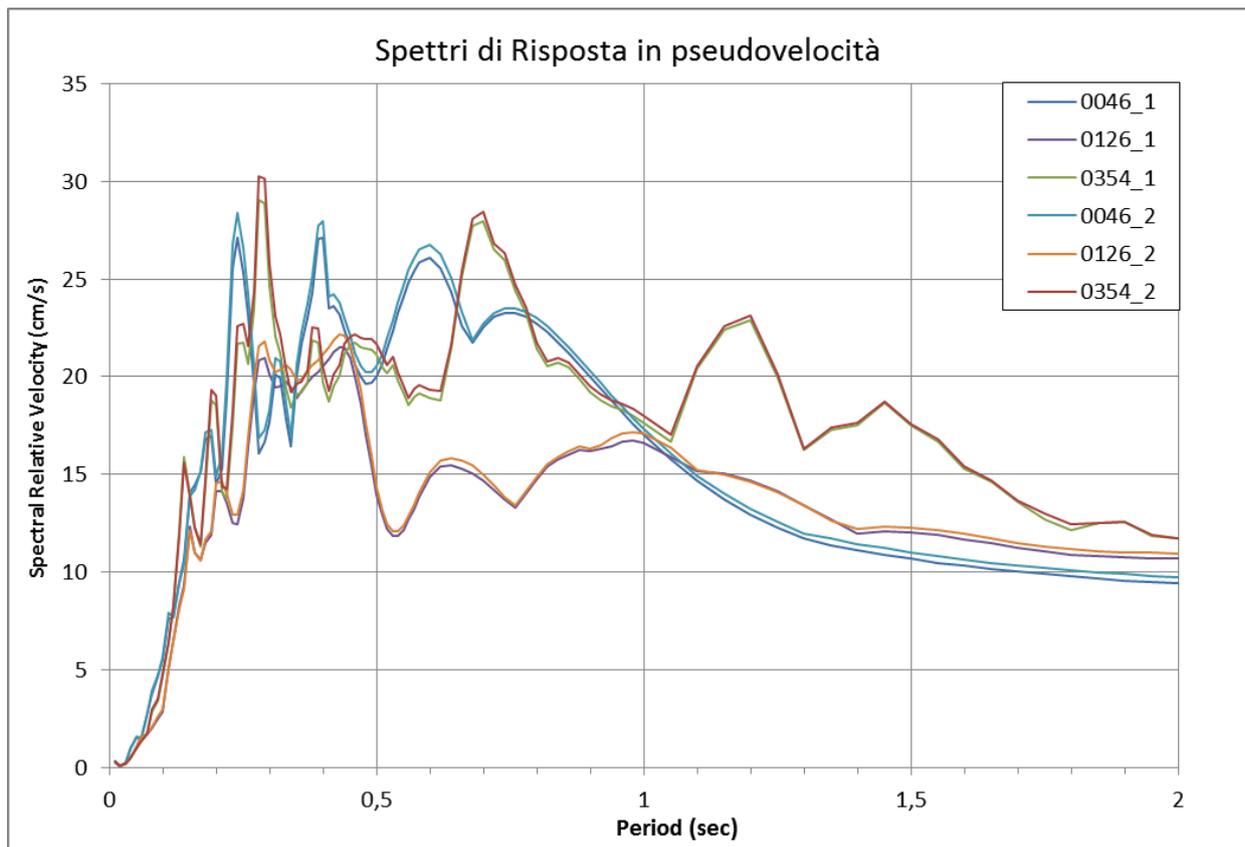
Tab. 16 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 14 (0046_1, 0126_1 e 0354_1)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface											
1	2		1,0	63,45		19,00	181			0,5	9,50
2	1		1,0	145,41		19,00	274			1,5	28,50
3	1		1,0	167,41		19,00	294			2,5	47,50
4	1		1,0	255,21		19,00	363			3,5	66,50
5	1		1,0	273,82		19,00	376			4,5	85,50
6	1		1,0	297,62		19,00	392			5,5	104,50
7	1		1,0	132,95		19,00	262			6,5	123,50
8	1		1,0	98,92		19,00	226			7,5	142,50
9	1		1,0	216,06		19,00	334			8,5	161,50
10	1		1,0	290,07		19,00	387			9,5	180,50
11	1		1,0	303,72		19,00	396			10,5	199,50
12	1		1,0	319,25		19,00	406			11,5	218,50
13	1		1,0	316,12		19,00	404			12,5	237,50
14	1		1,0	325,58		19,00	410			13,5	256,50
15	1		1,0	316,12		19,00	404			14,5	275,50
16	1		1,0	336,79		19,00	417			15,5	294,50
17	1		1,5	340,03		19,00	419			16,8	318,25
18	1		2,5	358,11		19,00	430			18,8	356,25
Bedrock	0			464,86	1	21,00	466	Outcrop		20,0	380,00

Tab. 17 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 15 (0046_2, 0126_2 e 0354_2)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface											
1	1		1,0	288,58		19,00	386			0,5	9,50
2	1		1,0	296,10		19,00	391			1,5	28,50
3	1		1,0	338,41		19,00	418			2,5	47,50
4	1		1,0	311,44		19,00	401			3,5	66,50
5	1		1,0	344,91		19,00	422			4,5	85,50
6	1		1,0	341,65		19,00	420			5,5	104,50
7	1		1,0	361,45		19,00	432			6,5	123,50
Bedrock	0			465,03	1	19,00	490	Outcrop		7,0	133,00
										18,0	342,00





n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_1	2014	0,16	0,183	1,14	1,22	1,06	1,05
0126_1	2014	0,16	0,195	1,22	1,18	1,04	1,04
0354_1	2014	0,16	0,200	1,25	1,22	1,04	1,03
0046_2	2014	0,16	0,185	1,16	1,26	1,08	1,06
0126_2	2014	0,16	0,202	1,26	1,21	1,05	1,05
0354_2	2014	0,16	0,204	1,28	1,25	1,06	1,04

Fig. 41 Spettri di risposta in pseudo-accelerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella.

I valori di FAPGA risultano essere limitati a valori di 1,28, così come l'intensità spettrale che si aggira sui medesimi valori di amplificazione.

7.1.1.8 Vedegheto

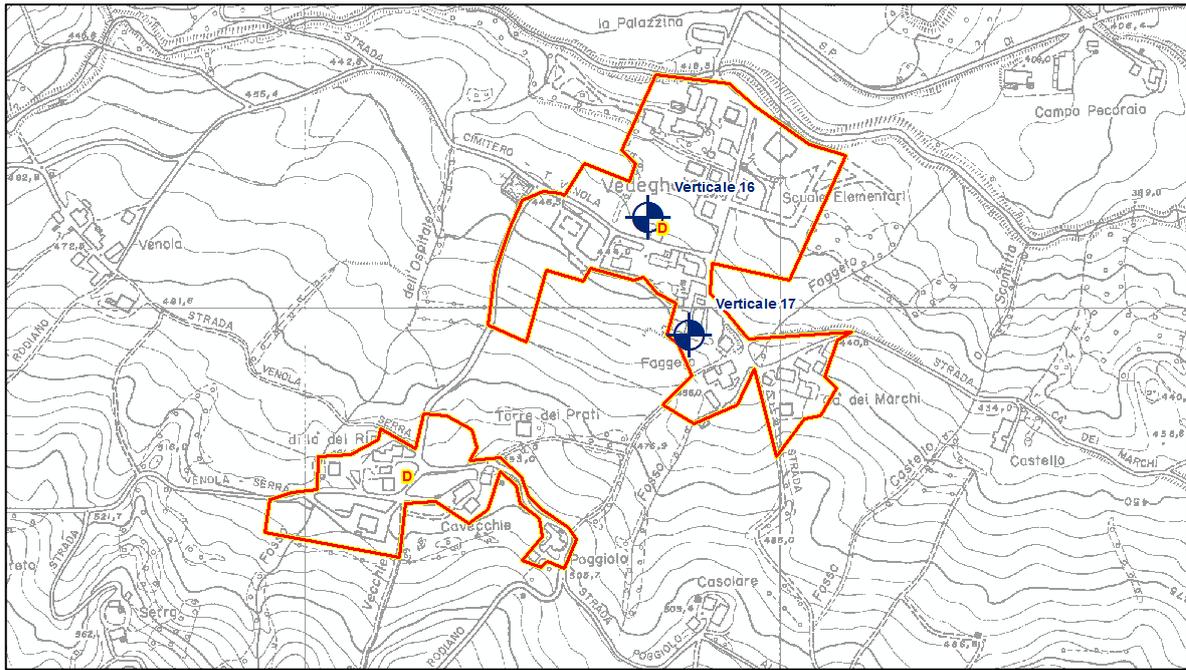


Fig. 42 Ubicazione verticali di indagine per le analisi di risposta sismica locale

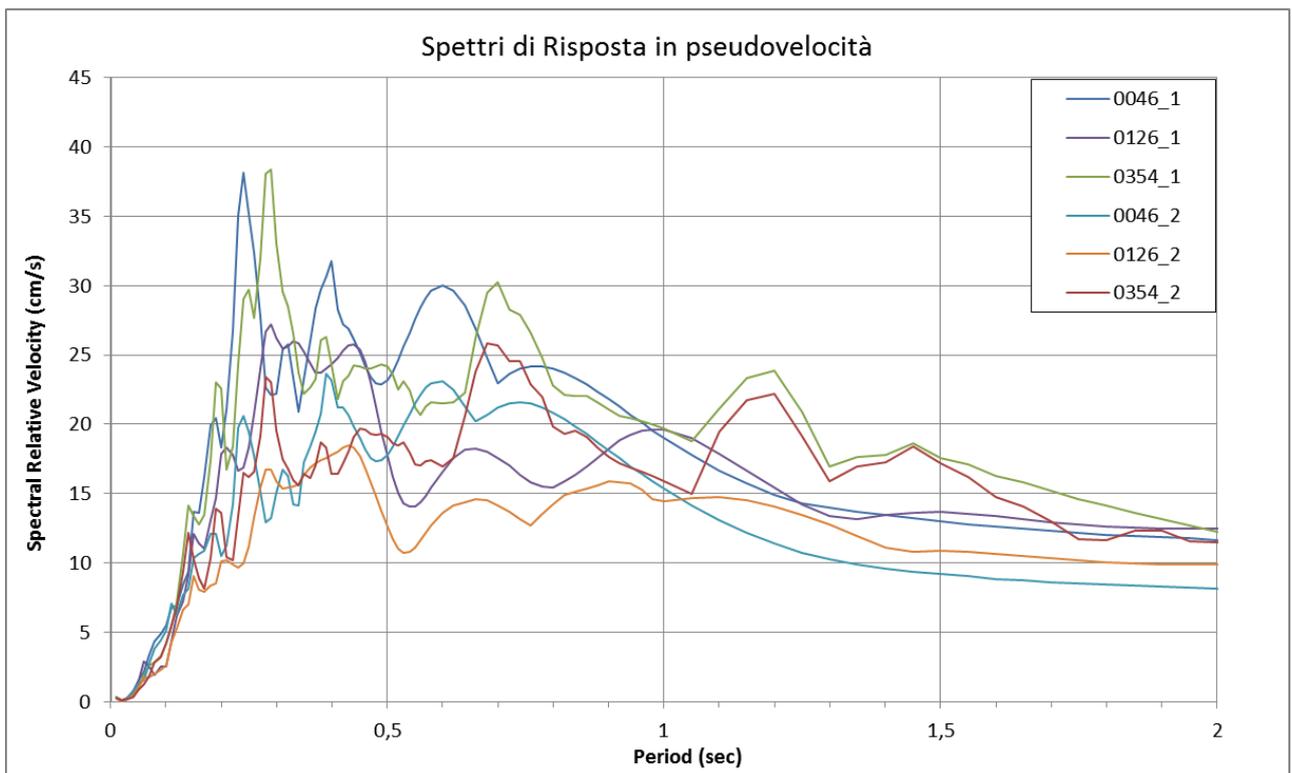
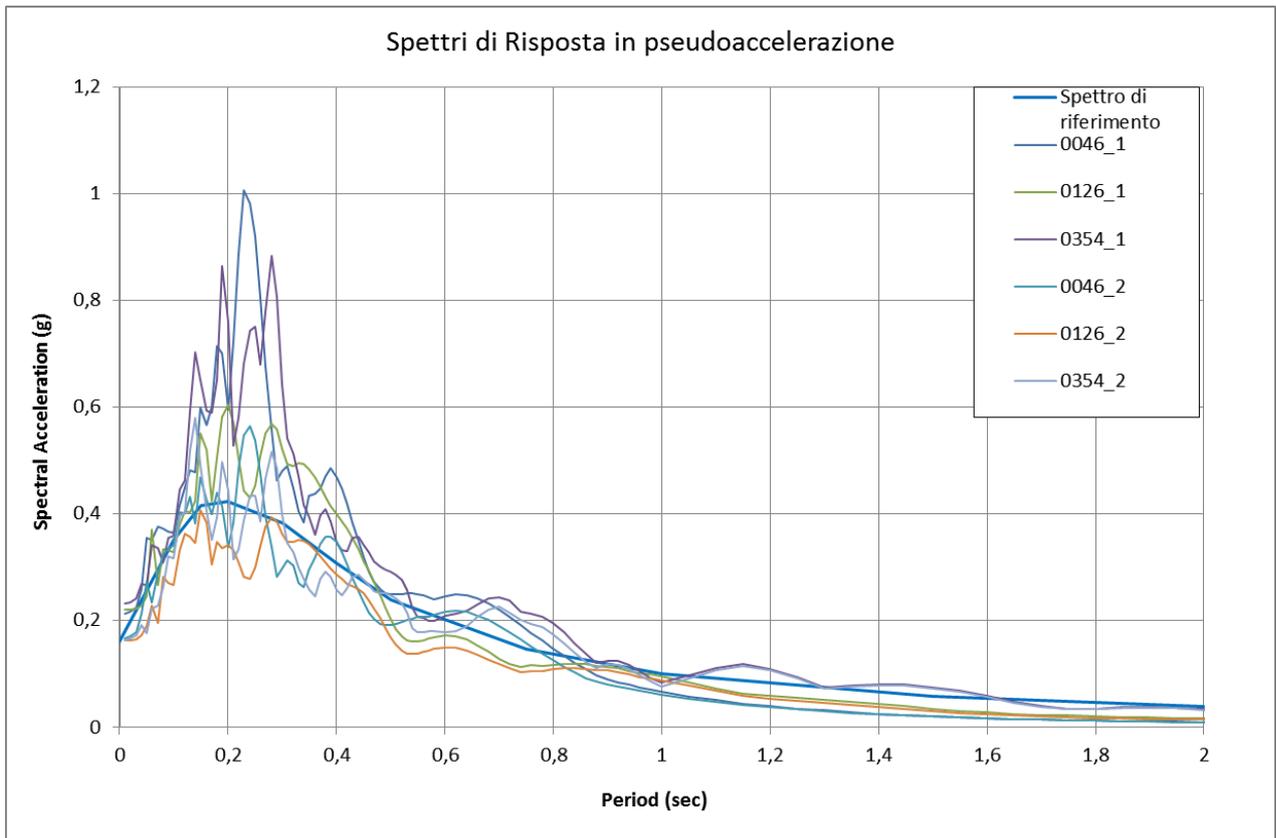
Le successive tabelle rappresentano le stratigrafie utilizzate per le verticali di indagine.

Tab. 18 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 16 (0046_1, 0126_1 e 0354_1)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface											
1	1	1,0	43,58	19,00	150	0,5	9,50				
2	1	1,0	69,18	19,00	189	1,5	28,50				
3	1	1,0	82,19	19,00	206	2,5	47,50				
4	1	1,0	115,31	19,00	244	3,5	66,50				
5	2	1,0	262,29	19,00	368	4,5	85,50				
6	1	1,0	108,79	19,00	237	5,5	104,50				
7	1	1,0	100,68	19,00	228	6,5	123,50				
8	1	1,0	61,37	19,00	178	7,5	142,50				
9	1	1,0	67,73	19,00	187	8,5	161,50				
10	1	1,0	144,35	19,00	273	9,5	180,50				
11	1	1,0	181,35	19,00	306	10,5	199,50				
12	1	1,0	288,58	19,00	386	11,5	218,50				
13	1	1,0	296,10	19,00	391	12,5	237,50				
14	1	1,0	338,41	19,00	418	13,5	256,50				
15	1	1,0	311,44	19,00	401	14,5	275,50				
16	1	1,0	344,91	19,00	422	15,5	294,50				
17	1	1,0	341,65	19,00	420	16,5	313,50				
18	1	1,0	361,45	19,00	432	17,5	332,50				
Bedrock	0		465,03	1	19,00	490	18,0	342,00	Outcrop		

Tab. 19 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 17 (0046_2, 0126_2 e 0354_2)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface											
1	1	1,0	288,58	19,00	386	0,5	9,50				
2	1	1,0	296,10	19,00	391	1,5	28,50				
3	1	1,0	338,41	19,00	418	2,5	47,50				
4	1	1,0	311,44	19,00	401	3,5	66,50				
5	1	1,0	344,91	19,00	422	4,5	85,50				
6	1	1,0	341,65	19,00	420	5,5	104,50				
7	1	1,0	361,45	19,00	432	6,5	123,50				
Bedrock	0		465,03	1	19,00	490	7,0	133,00	Outcrop		
							18,0	342,00			



n.	MOPS	arefg	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_1	2015	0,1592	0,213	1,34	1,50	1,16	1,13
0126_1	2015	0,1592	0,220	1,38	1,41	1,10	1,10
0354_1	2015	0,1592	0,231	1,45	1,48	1,11	1,07
0046_2	2099	0,1592	0,166	1,05	1,02	1,00	1,00

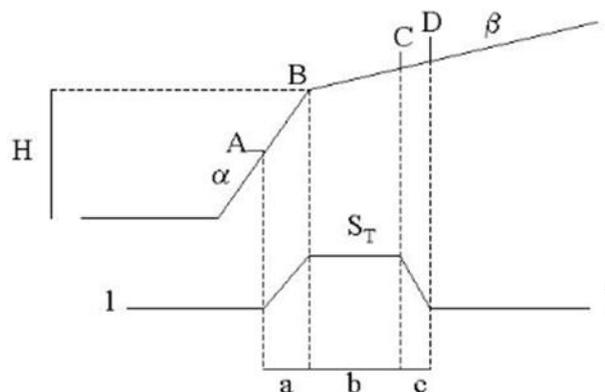
0126_2	2099	0,1592	0,163	1,02	1,01	1,00	1,00
0354_2	2099	0,1592	0,164	1,03	1,02	1,00	1,00

Fig. 43 Spettri di risposta in pseudo-accelerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella

Lungo le due verticali di analisi effettuate a Vedegheto è stato trovato un valore massimo di FAPGA di 1,45 mentre per l'intensità di Housner l'amplificazione massima risulta essere di 1,50 nell'intervallo 0,1-0,5 secondi.

7.2 Calcolo degli effetti topografici

Secondo la Delibera dell'Assemblea legislativa n° 112 del 2007 (e confermata poi dalla DGR n.2193/2015) gli effetti di amplificazione topografica devono essere considerati per pendii con inclinazione media superiore ai 15° e possono essere trascurati per quelli con inclinazione media inferiore. La risposta sismica locale quindi, determinata con analisi specifiche a seconda del livello di dettaglio, dovrà essere moltiplicata per un coefficiente di amplificazione topografica S_T calcolato in base all'andamento morfologico del sito in esame attraverso il seguente metodo (Fig. 44)



$$S_T = 1 + 0.8(\alpha - \beta - 0.4) \text{ sul segmento BC}$$

$$b: \text{valore minimo tra } 20\alpha \text{ e } \frac{H+10}{4}$$

α e β sono i gradienti della parte più ripida e meno ripida, rispettivamente:

$$S_T = 1 \text{ in A (} a = H/3 \text{)}$$

$$S_T = 1 \text{ in D (} c = H/4 \text{)}$$

S_T : si impone comunque un valore compreso tra 1 e 1.4

Fig. 44 Schema esemplificativo per il calcolo del coefficiente S_T (D.A.L. 112/2007)

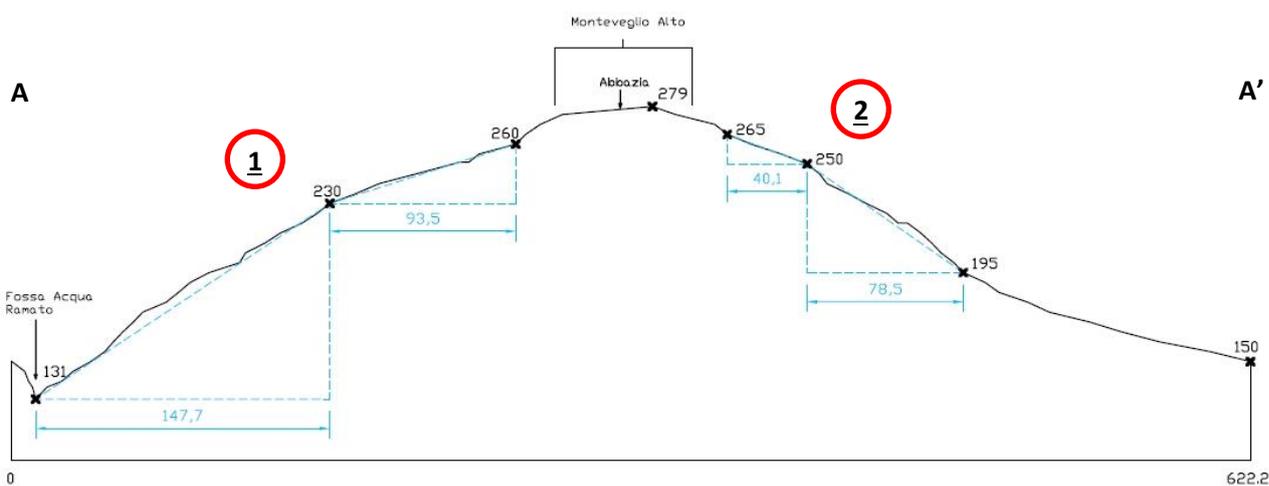
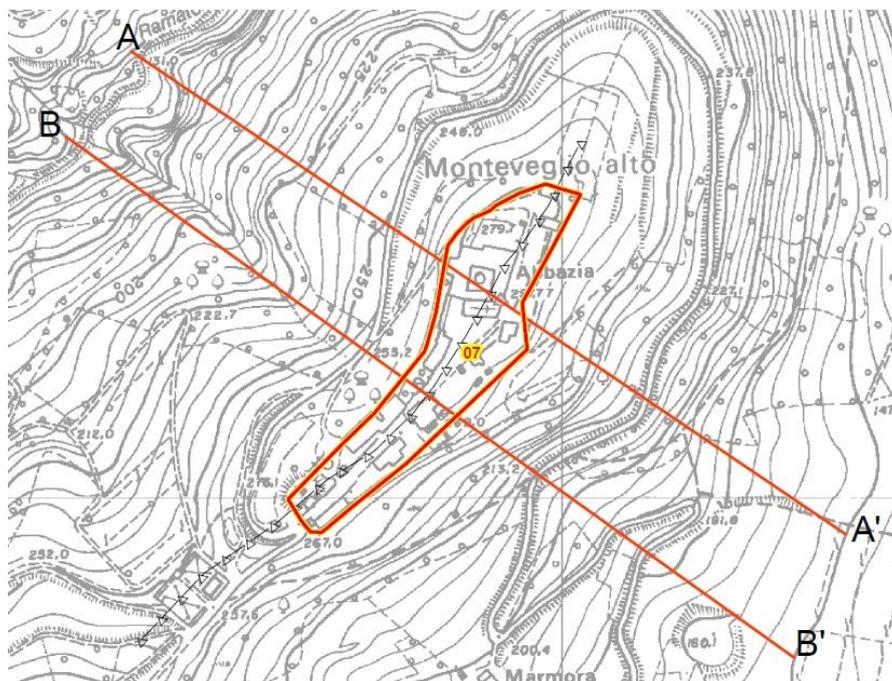
Per determinare questo fattore si opera semplificando la topografia considerando evidenti irregolarità morfologiche in modo tale da applicare la metodologia sopra descritta.

In base alle informazioni fornite dalla Carta Tecnica Regionale sono state quindi tracciate due sezioni topografiche di dettaglio in cui successivamente si sono verificate le effettive amplificazioni.

La zona in esame si trova lungo una cresta morfologica, con pendii che superano anche i 30° di inclinazione e può essere quindi soggetta ad amplificazione topografica. Ricade inoltre nell'area di influenza sull'evoluzione del dissesto ("zona 5" dell'Articolo 6.2 del PTCP di Bologna, il quale recepisce e integra l'art. 5 del PSAI) mentre nella fascia limitrofa sono preseti zone instabili che il PTCP identifica come: "QP" aree potenzialmente instabili e soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e

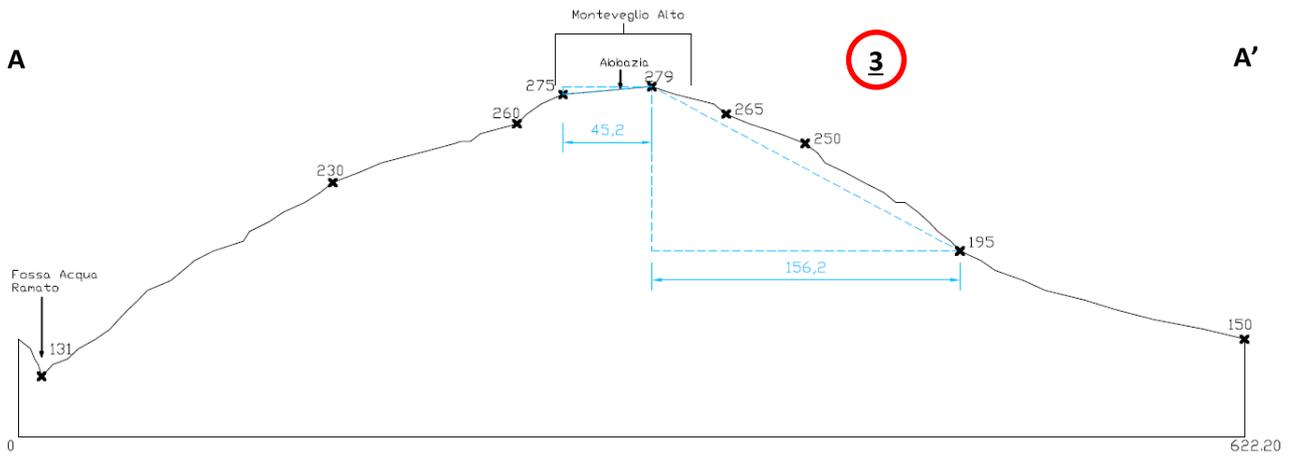
topografiche; "P" aree potenzialmente soggette ad amplificazione per caratteristiche topografiche in riferimento a pendii di substrato rigido con acclività compresa tra 30° e 50° (art 6.14 PTCP di Bologna). Queste ultime due sono da tenere in considerazione, nonostante non rientrino nell'area in studio, perché possono essere potenzialmente in grado di influenzare i risultati della microzonazione sismica.

Dalla figura sottostante (Fig. 45) è possibile notare la morfologia molto acclive del territorio e la linea perpendicolare alle due sezioni che indica l'asse di cresta in cui è inserito l'abitato (le misure sono espresse in metri sul livello del mare per quote topografiche e in metri per le distanze progressive).

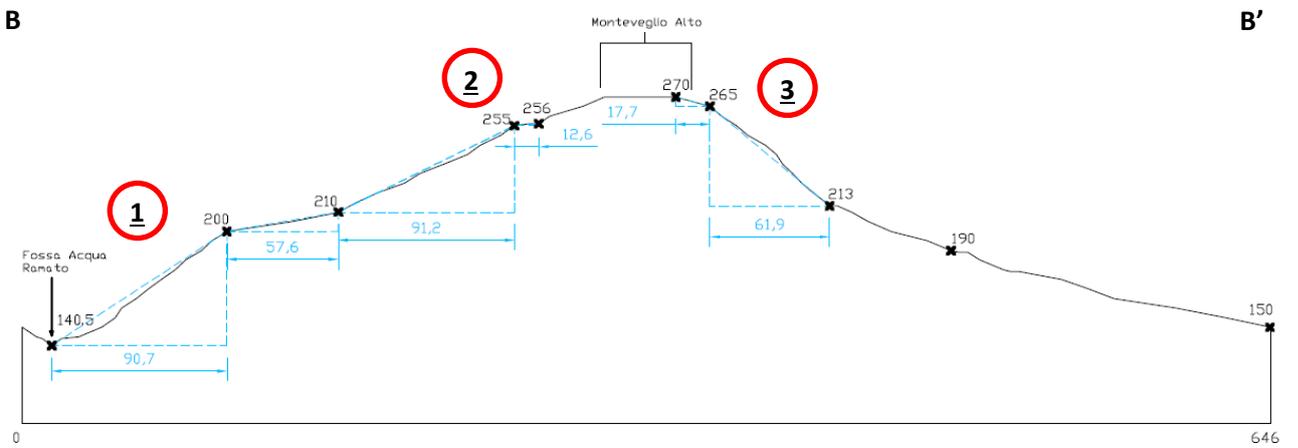


<u>1</u>			
H=	99	St	1
L α	147,7		
h α	99		
L β	93,5		
h β	30		
α=	0,6702		
β=	0,3208		

<u>2</u>			
H=	55	St	0,9
L α	78,5		
h α	55		
L β	40,1		
h β	15		
α=	0,7006		
β=	0,3741		



<u>3</u>		
H= 84	St	1,2
L α 156,2		
h α 84		
L β 45,2		
h β -4		
α= 0,5378		
β= -0,0885		



<u>1</u>		
H= 59,5	St	1,1
L α 90,7		
h α 59,5		
L β 57,6		
h β 10		
α= 0,6560		
β= 0,1736		

<u>2</u>		
H= 45	St	1
L α 91,2		
h α 45		
L β 12,6		
h β 1		
α= 0,4934		
β= 0,0794		

<u>3</u>		
H= 52	St	1,1
L α 61,9		
h α 51,8		
L β 17,7		
h β 5		
α= 0,8368		
β= 0,2824		

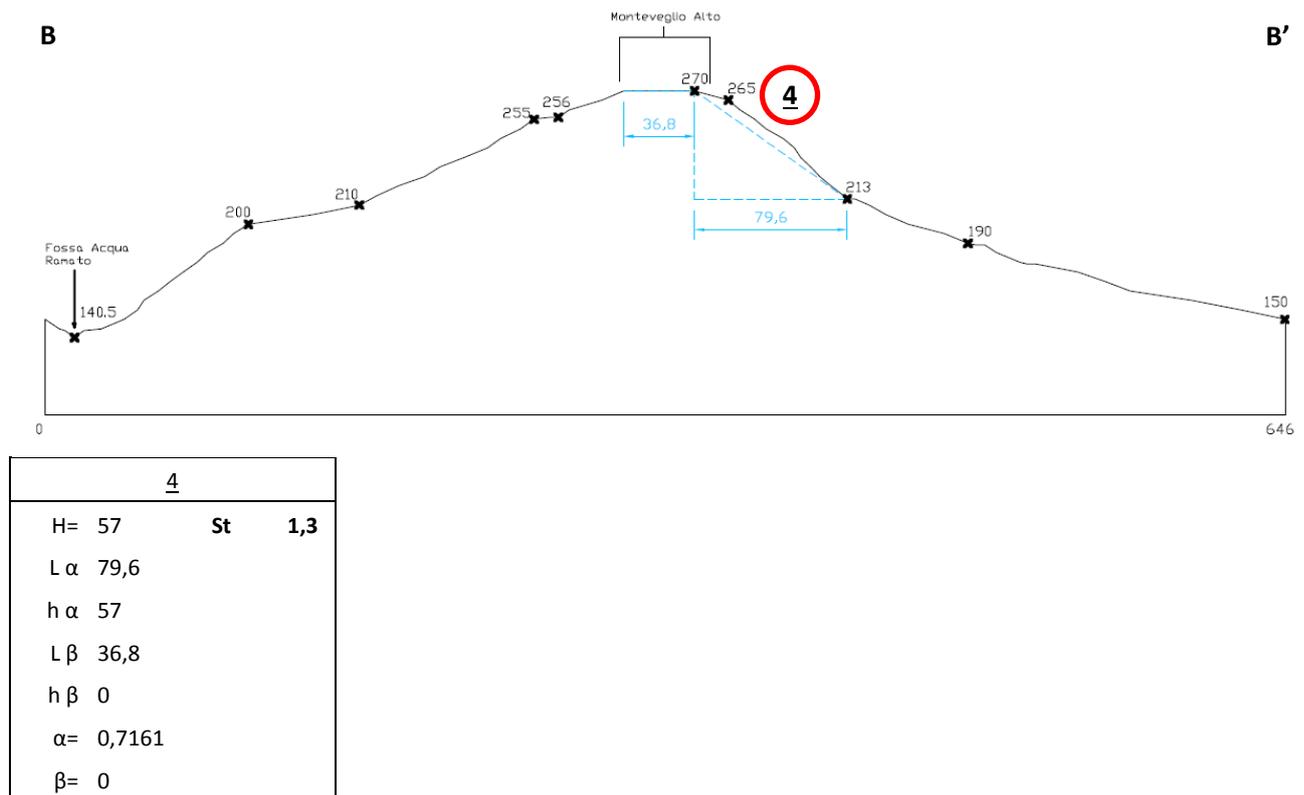


Fig. 45 Sezioni topografiche A-A' e B-B' in pianta e relative sezioni. Sono inoltre presenti le tabelle per ogni zona indagata per la determinazione del fattore S_T

Il valore più gravoso ottenuto dalle analisi è di 1,3 per il tratto della sezione topografica B-B', che, aggiunti a quelli precedentemente ottenuti con i metodi semplificati dagli studi di microzonazione sismica di secondo livello, aumenteranno ulteriormente l'effetto di amplificazione. Per quanto riguarda la sezione A-A' il coefficiente ha un valore inferiore di 1,2 ma, sempre in maniera cautelativa si è deciso di estendere le zone soggette ad amplificazione nella sezione B-B' anche su quest'ultima.

7.3 Verifica alla possibilità di liquefazione

La liquefazione rappresenta lo stato raggiunto da terreni sabbiosi sciolti saturi quando perdono la loro resistenza al taglio come conseguenza di un incremento delle pressioni interstiziali. Tali fenomeni possono verificare grandi deformazioni del terreno, comportando danni sia lievi che catastrofici.

Secondo le NTC08 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 46(a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ (granulometria uniforme) ed in Fig. 46(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (granulometria estesa).

Altre considerazioni possono essere fatte sull'età del deposito, sulla storia sismica, sul grado di addensamento e sulla granulometria. Un terreno con un basso grado di addensamento (indice dei vuoti elevato e bassa densità relativa) per esempio avrà maggiore probabilità che raggiunga lo stato di liquefazione; di conseguenza un deposito antico, a parità di condizioni, sarà meno soggetto a liquefazione perché nella sua storia avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti.

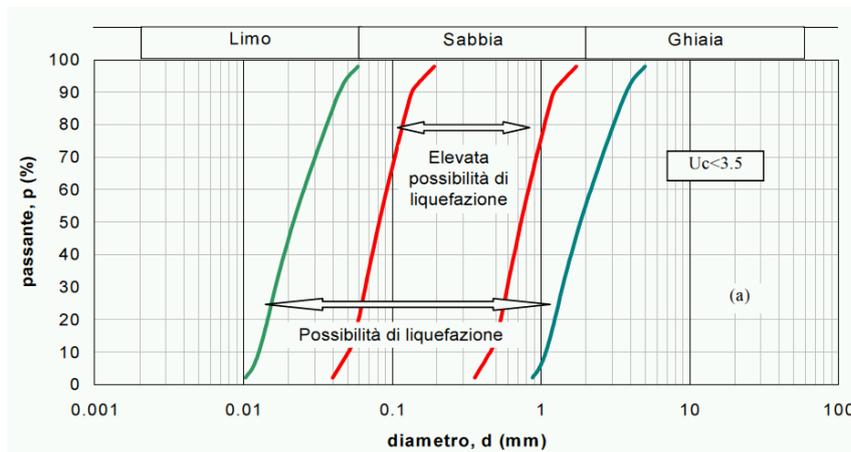
Il verificarsi o meno della liquefazione viene verificato utilizzando metodi semplificati, calcolando il fattore di sicurezza F_s , inteso come rapporto tra la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico (CRR – Cyclic Resistance Ratio) e la domanda sismica corrispondente al terremoto atteso di progetto, espressa come sollecitazione di taglio massimo indotta dal sisma (CSR – Cyclic Stress Ratio), e valutando se esso sia minore di uno (liquefazione) o maggiore di uno (non liquefazione). E' da osservare che anche quando $F_s > 1$ si possono avere dopo il terremoto cedimenti permanenti del terreno.

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} MSF$$

Secondo le normative europea (EC8) e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico ($CSR > 0.80CRR$) che ha provocato liquefazione durante terremoti passati e quindi deve risultare $F_s < 1,25$ perché ciò avvenga. Pertanto, il valore minimo del Fattore di sicurezza alla liquefazione è $F_s > 1.25$.

Tab. 20 Differenti fattori di correzione utilizzati per diversi metodi semplificati.

Magnitudo	Seed H. B. & Idriss I. M. (1982)	Ambraseys N. N. (1988)	NCEER (Seed R. B. et al.) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7	1,08	1,30	1,19
7,5	1	1	1
8	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73



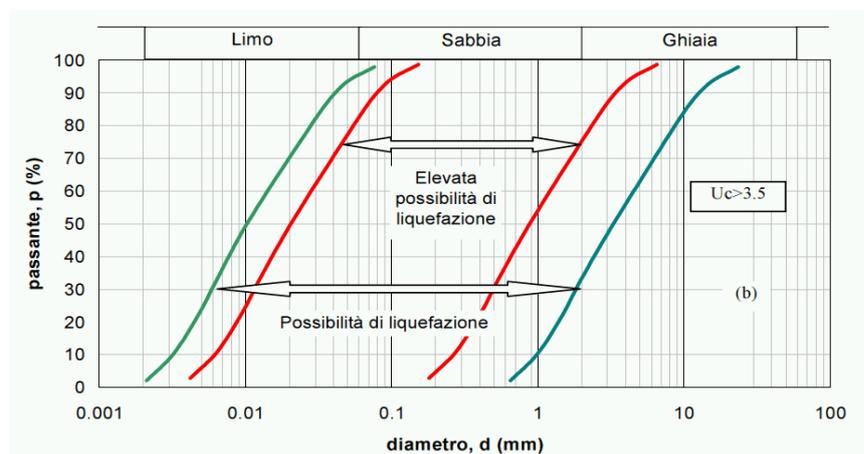


Fig. 46 Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno a differente coefficiente di uniformità: a) $U_c < 3,5$; b) $U_c > 3,5$ (fonte: AGI, 2005)

Questi metodi analizzano i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, privilegiando correlazioni della resistenza alla liquefazione basati su parametri desunti da prove in situ.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove statiche (CPT) o prove di misurazione delle onde di taglio Vs.

Nell'approccio deterministico, in primo luogo, la curva di resistenza alla liquefazione (o curva di stato limite) che esprime la resistenza del terreno, in termini di rapporto di tensione ciclica (CRR) in funzione del parametro misurato (con le opportune correzioni e normalizzazioni), viene determinata tracciando una curva che discrimina i casi di liquefazione osservati da quelli di non liquefazione, utilizzando (nei primi metodi) un criterio "visuale" o procedendo (nei metodi più recenti) ad una regressione statistica dei dati, senza alcun trattamento probabilistico delle variabili che concorrono a determinare la resistenza alla liquefazione CRR (Fig. 47).

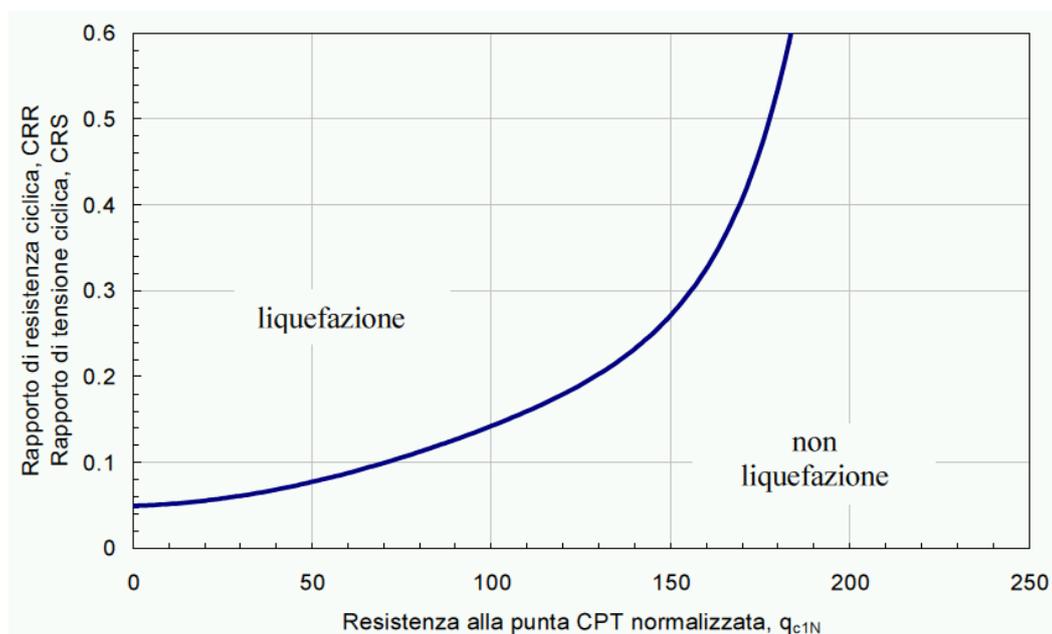


Fig. 47 Carte per la stima della resistenza normalizzata alla liquefazione CRR di un terreno sabbioso saturo in funzione dei valori di resistenza alla punta q_c (D.A.L. 112/2007).

Il metodo utilizzato nel caso di studio è quello proposto da **Robertson e Wride (1997)**, il quale utilizza l'**indice di comportamento per il tipo di suolo I_c** che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula basata sui risultati della prova penetrometrica statica:

$$I_c = \left[(3.47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1.22)^2 \right]^{0.5}$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} 100$$

Dove:

q_c è la resistenza alla punta misurata.

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{v0} .

f_s è l'attrito del manicotto.

n è l'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume $n = 1$, come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di I_c con la formula sopra riportata.

Se $I_c > 2,6$ il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma dato che il suolo non è liquefacibile.

Se $I_c \leq 2,6$, vuol dire che l'ipotesi assunta è errata e I_c deve essere ricalcolato nuovamente con la seguente formula:

$$Q = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

Si presume che il terreno sia granulare e si assume $n = 0,5$.

Se è ancora $I_c \leq 2,6$, significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece $I_c > 2,6$, vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. I_c deve essere nuovamente ricalcolato ponendo $n = 0,75$.

Calcolato I_c , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata q_c mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

dove n è lo stesso del calcolo di I_c .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene valutata con:

- se il metodo utilizzato è il Robertson e Wride classico

$$(q_{c1N})_{CS} = K_c \cdot q_{c1N}$$

$$K_c = -0.403 I_c^4 + 5.581 I_c^3 - 21.63 I_c^2 + 33.75 I_c - 17.88$$

- se il metodo utilizzato è il Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N}$$

dove K_c dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$K_c = 0 \quad \text{per } FC \leq 5$$

$$K_c = 0,0267(FC - 5) \quad \text{per } 5 < FC \leq 35$$

$$K_c = 0,8 \quad \text{per } FC > 35$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1.75(I_c)^{3.25} - 3.7$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (CRR7,5) viene calcolata nel modo seguente:

- se $(q_{c1N})_{cs} < 50$:

$$CRR = 0.833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.05$$

- se $50 = (q_{c1N})_{cs} < 160$:

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.08$$

Per poter determinare gli sforzi di taglio indotti dal sisma, espressi come il rapporto di sforzo ciclico CSR, Seed e Idriss (1971b) proposero una semplice procedura basata sull'ipotesi di terreno omogeneo. Ipotizzando la propagazione verticale di onde sismiche di taglio, una colonna di terreno di altezza z si muove rigidamente in direzione orizzontale e pertanto lo sforzo di taglio massimo alla profondità z è dato da:

$$\tau_{max} = \frac{a_{max}}{g} \gamma z$$

dove a_{max} è l'accelerazione massima in superficie, g è l'accelerazione di gravità e γ il peso di volume secco del terreno.

Poiché nella realtà il terreno è deformabile, lo sforzo di taglio è minore che nell'ipotesi di corpo rigido e quindi bisogna introdurre un coefficiente riduttivo r_d . Normalizzando con la pressione verticale effettiva e riferendosi ad un valore medio τ_{av} anziché ad un valore massimo τ_{max} si ottiene:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} = CSR_{7.5} = 0.65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d$$

espressione valida per sismi di magnitudo 7.5. Per magnitudo diverse bisogna dividere per il fattore correttivo MSF raccomandato dal NCEER (Tab. 20).

$$CSR = \frac{CSR_{7.5}}{MSF}$$

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d viene utilizzata la formula empirica proposta da Iwasaki et al.(1978):

$$r_d = 1 - 0.015z$$

Per ogni verticale indagata deve essere determinato anche il potenziale di liquefazione I_L (oppure LPI – Liquefaction Potential Index), il quale fu introdotto da Iwasaki et al. (1982) allo scopo di fornire una misura integrale degli effetti della liquefazione per una singola verticale (per i quali sono disponibili al variare della profondità z i valori del fattore di sicurezza F_s) e può essere così calcolato:

$$I_L = \int_0^{20} F W(z) dz$$

dove:

$$F = 1 - F_s \quad \text{per } F_s \leq 0,95$$

$$F = 2 \cdot 10^6 \exp(-18,427 \cdot F_s) \quad \text{per } 1,2 > F_s \geq 0,95$$

$$F = 1 - F_s \quad \text{per } F_s \geq 1,2$$

$W(z)$ è una funzione di pesi, linearmente decrescente con la profondità, che tiene conto della profondità dello strato liquefacibile, attribuendo peso maggiore agli strati più superficiali ed è data da:

$$W(z) = 10 - \frac{1}{2}z$$

L'intervallo 0-20 dell'integrale invece rappresenta la profondità critica (in metri) entro la quale si possono verificare fenomeni di liquefazione, che di norma è impostata a venti metri.

Per poter valutare la severità degli effetti vengono proposte da Sonmez (2003) le scale in Tab. 21.

Tab. 21 Valori di riferimento per gli eventuali rischi di liquefazione del terreno.

Valori di I_L	Rischio di liquefazione
= 0	Molto basso
0 ÷ 5	Basso
5 ÷ 15	Alto
> 15	Molto alto

La suscettibilità nei confronti della liquefazione, valutata in base ai valori assunti dal potenziale di liquefazione, è così riferita ad uno spessore finito di terreno piuttosto che al singolo punto.

Tali procedure sono valide per piano di campagna sub-orizzontale. In caso contrario, la verifica va eseguita con studi specifici.

Un deposito può essere suscettibile alla liquefazione a seconda del proprio stato di addensamento, della granulometria e dalla storia sismica. Durante un terremoto si sviluppano sollecitazioni intense che provocano un innalzamento dei gradienti di pressione con relativi flussi idrici elevati; in un terreno incoerente poco addensato, le sollecitazioni indotte dal sisma producono una diminuzione di volume con conseguente flusso idrico e il relativo aumento delle pressioni interstiziali. I depositi più addensati quindi sono meno suscettibili alla liquefazione.

7.3.1. Risultati

Il metodo sopra descritto è stato applicato lungo le 12 verticali d'indagine statica CPTU attraverso il software di Geostru – Liquiter 2015. Per l'elaborazione è stato scelto di utilizzare il metodo di Robertson e Wride modificato.

Come parametri di input, oltre alla stratigrafia desunta dai valori di resistenza alla punta e di attrito laterale, sono stati adottati quelli in Tab. 22.

Tab. 22 Parametri di input utilizzati per la verifica del potenziale di liquefazione per ogni indagine statica

N° CPT	Magnitudo momento sismico Mw	MSF	PGA	Falda [m]
037061P1CPTU1	5,91	1,84	0,243	2,4
037061P2CPTU2	5,91	1,84	0,243	3,9
037061P3CPTU3	5,91	1,84	0,243	4,9
037061P4CPTU4	5,91	1,84	0,243	2,4
037061P5CPTU5	6,14	1,67	0,244	3,9
037061P6CPTU6	5,91	1,84	0,246	2,4
037061P7CPTU7	5,91	1,84	0,246	2,2
037061P8CPTU8	5,91	1,84	0,246	4,9

I valori di Magnitudo corrispondono a quello massimo atteso per le zone sismogenetiche in cui ricadono le verticali di indagine (ottenuto dalla Tab. 6 del Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, Gruppo di Lavoro 2004), nello specifico per la zona 912 corrisponde una magnitudo massima di 6,14 mentre per la 913, un valore di 5,91.

La PGA corrisponde all'accelerazione attesa al suolo di riferimento a_{refg} (capitolo 7.1) moltiplicata per il fattore di S che considera le amplificazioni topografiche e stratigrafiche che nel nostro caso è uguale a 1,5, considerando che il terreno in cui ci troviamo appartiene alla categoria C (Vs30 comprese tra 180 m/s e 360 m/s).

Il valore di MSF correttivo per la magnitudo è stato scelto automaticamente dal software secondo il metodo di elaborazione adottato.

In Tab. 23 sono riportati i valori del potenziale di liquefazione relativi alle 8 indagini penetrometriche con piezocono realizzate per gli approfondimenti richiesti dal presente studio.

Tab. 23 Valori relativi al potenziale di liquefazione di ogni verticale esaminata

N° CPT	Coefficiente di sicurezza FS	Suscettibilità di liquefazione	Potenziale di Liquefazione	Classe di rischio Sonmez (2003)
037061P1CPTU1	1,42	Non liquefacibile	0	Molto basso
037061P2CPTU2	1,01	Suscettibile	0,067	Basso
037061P3CPTU3	1,51	Non liquefacibile	0	Molto basso
037061P4CPTU4	1,8	Non liquefacibile	0	Molto basso
037061P5CPTU5	1,14	Suscettibile	0,004	Basso
037061P6CPTU6	-	Non liquefacibile	-	-
037061P7CPTU7	-	Non liquefacibile	-	-
037061P8CPTU8	1	Suscettibile	0,008	Basso

Nelle prove CPTU6 e CPTU7 il calcolo non è stato eseguito perché l'indice di comportamento I_c , per tutti gli strati analizzati, risultava superiore a 2,6, e quindi non soggetto ad una successiva elaborazione.

Come si può notare i valori del potenziale di liquefazione ottenuti risultano estremamente bassi. Per questo motivo, nella carta di microzonazione sismica di terzo livello, non sono state segnalate zone di suscettibilità e rispetto per le liquefazioni, in quanto, secondo gli ultimi standard di riferimento (MSv4.0b) non è prevista la loro rappresentazione.

In allegato sono presenti le tabelle di dettaglio con i calcoli effettuati.

7.4 Determinazione dei valori di instabilità di versante in condizioni dinamiche

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb;
- in alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Quando si verifica la stabilità di un rilevato o pendio, si possono considerare diversi tipi di superfici di rottura. Queste ultime possono avere forme diverse: circolare, piana e forme più complesse. Nel caso in cui il terreno sia relativamente omogeneo e isotropo nei riguardi della resistenza, è di solito sufficiente considerare superfici di rottura circolari. In terreni molto stratificati invece, con notevoli variazioni delle caratteristiche geotecniche, va data particolare attenzione agli strati con resistenza al taglio più bassa, e quindi è necessario considerare superfici di rottura non circolari. In sostanza quindi le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per determinare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.

Il livello di sicurezza è espresso, in generale, come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico, e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale (NTC08).

L'analisi di stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo Geostru - Slope , basato sulla teoria dell'equilibrio limite, che effettua la ricerca automatica delle superfici di rottura con coefficiente di sicurezza minimo. Questa teoria studia l'equilibrio di un corpo rigido (pendio e superficie di scorrimento) calcolandone le tensioni di taglio τ e la resistenza disponibile τ_f , valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb. Quindi il fattore di sicurezza F_s è espresso da:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau}$$

Il grado di sicurezza ritenuto accettabile deve essere giustificato sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana.

I vari metodi di calcolo dell'equilibrio limite disponibili in letteratura, si basano tutti su due ipotesi fondamentali:

- Il coefficiente di sicurezza (F_s) è definito come rapporto tra la resistenza al taglio e lo sforzo di taglio mobilitato lungo un'ipotetica superficie di scorrimento;
- Il coefficiente di sicurezza (F_s) è considerato costante in tutti i punti della superficie di scorrimento;

Nel nostro caso di studio il fattore di sicurezza viene calcolato utilizzando il metodo di Janbu, il quale estende il metodo di Bishop, valido solamente per superfici di scorrimento circolare, a superfici di forma qualsiasi.

Considerando il nostro caso di studio in cui sono presenti frane di tipo quiescente, le analisi per la determinazione del fattore di sicurezza sono state eseguite in condizioni drenate e riferendosi a parametri geotecnici in termini di sforzi efficaci residui.

A tal proposito si è fatto riferimento alla correlazione nota in letteratura proposta da Lupini et al. (1981) che mostra la correlazione tra l'indice di plasticità e l'angolo di attrito residuo (Fig. 48).

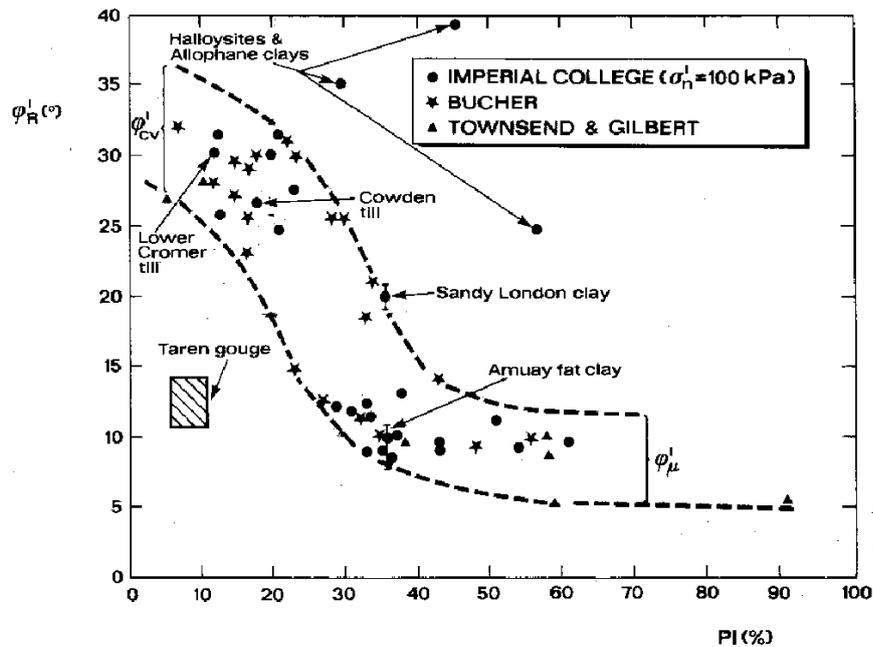


Fig. 48 Variazione dell'angolo di resistenza al taglio residuo con l'indice di plasticità (Fonte: Lancellotta, 1987)

Tab. 24 Parametri geotecnici utilizzati per la caratterizzazione dei corpi di frana

	PI (%)	φ'_R medio (°)	Peso di volume (Kg/m ³)	c' (kPa)
Savigno	20	25	1900	0
Villa	25	22	1900	0
Vedegheto	10	30	1900	0

7.4.1. Metodo di Janbu (1967)

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

Con il metodo di Janbu si tiene conto delle forze di interazione tra i conci, ma si considera che esse agiscono lungo una linea di spinta prefissata. La soluzione si ottiene per successive iterazioni.

$$F = \frac{f_0 \sum \{c' b_i (W_i - u_i b_i + \Delta X_i) \tan \varphi_i\} \frac{F}{\cos^2 \alpha_i (1 + \tan \alpha_i \tan \varphi_i)}}{\sum W_i \tan \alpha_i}$$

In cui:

c' = coesione efficace

b_i = larghezza della base del concio i-esimo

W_i = peso del concio i-esimo

α_i = inclinazione della base del concio

u_i = pressione interstiziale agente alla base del concio i-esimo

φ_i = angolo di resistenza al taglio

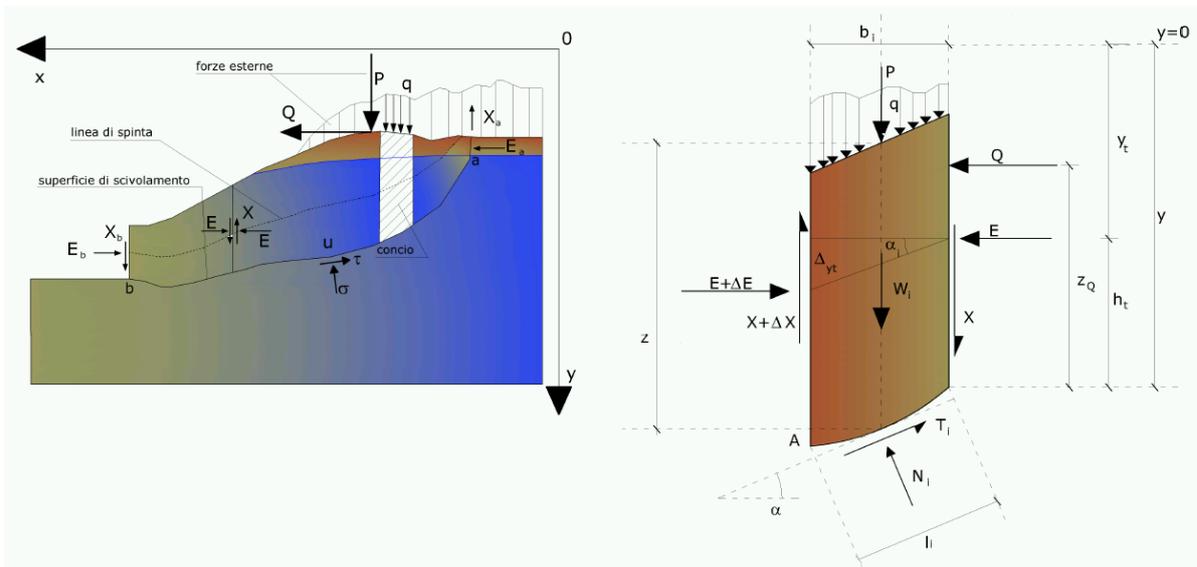


Fig. 49 Rappresentazione d'insieme dell'ammasso e azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu.

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente: $F_{corretto} = f_0 F$

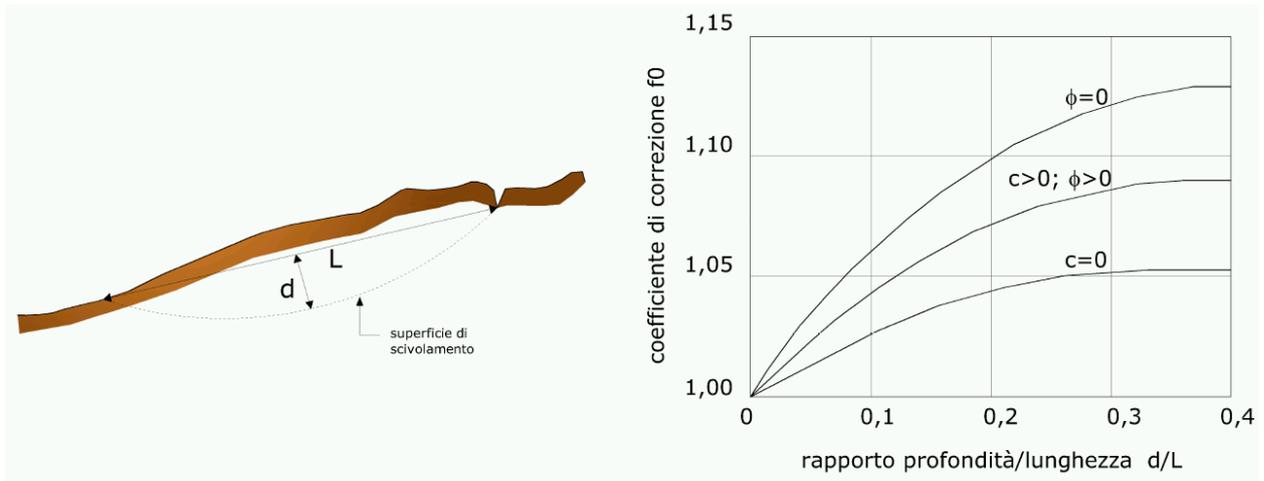


Fig. 50 Calcolo del fattore correttivo f_0

dove f_0 , fattore di correzione empirico, dipende dalla forma della superficie di scivolamento e dai parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Il metodo di Janbu è definito pseudostatico in quanto utilizza sollecitazioni statiche, costanti nel tempo in modulo, direzione e verso per la determinazione della stabilità dei pendii in presenza di sisma.

$$K_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right)$$

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$$

Dove a_{max} rappresenta l'accelerazione massima al sito di riferimento (nel nostro caso ricavata dalle analisi di risposta sismica locale), mentre β_s dipende dal tipo di suolo e dalla stessa a_{max} .

Categoria di sottosuolo		
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Considerando quindi Fig. 49, l'azione del terremoto è rappresentata da una forza di inerzia statica equivalente, proporzionale al peso W della massa potenzialmente instabile:

$$F_h = K_h \cdot W$$

$$F_v = K_v \cdot W$$

La metodologia rappresenta quindi un limite in quanto i segnali sismici hanno carattere ciclico e transitorio.

Per ovviare a questo problema viene utilizzato nel presente studio il metodo degli spostamenti derivati dal modello di blocco rigido di Newmark (1965) in cui l'azione sismica è considerata applicando un accelerogramma e la risposta del terreno a tale azione è valutata in termini di spostamenti accumulati.

7.4.2. Metodo degli spostamenti (Newmark, 1965)

Le assunzioni che prevedono l'applicazione di questo procedimento sono:

- applicazione dello stesso accelerogramma per tutto il corpo di frana;
- uguale resistenza al taglio del terreno in condizioni statiche e dinamiche;
- non sono ammessi spostamenti della massa verso monte.

Tale metodo considera la massa di terreno potenzialmente instabile come un corpo rigido poggiante su una base inclinata che si muove sotto la sollecitazione di una azione sismica. Il blocco si muoverà lungo la superficie di scorrimento ogni qual volta l'accelerazione indotta dal sisma $a(t)$ supera un determinato valore di soglia chiamato accelerazione critica a_c , caratteristico delle condizioni di equilibrio limite ($F_s=1$) e definita come:

$$a_c = K_c g$$

dove g è l'accelerazione di gravità e K_c rappresenta il fattore di accelerazione critica. Questo termine è pari al coefficiente sismico orizzontale in grado di produrre un coefficiente di sicurezza pari a 1 in un'analisi pseudostatica di stabilità di pendio.

Lo spostamento continua fino a quando l'accelerazione, cambiando di segno, è tale da annullare la velocità relativa tra la massa in frana e il terreno stabile. Questo dipende sostanzialmente dalla durata, dall'ampiezza e dal contenuto in frequenza del sisma $a(t)$, e dalle caratteristiche geotecniche e geomorfologiche del pendio a_c .

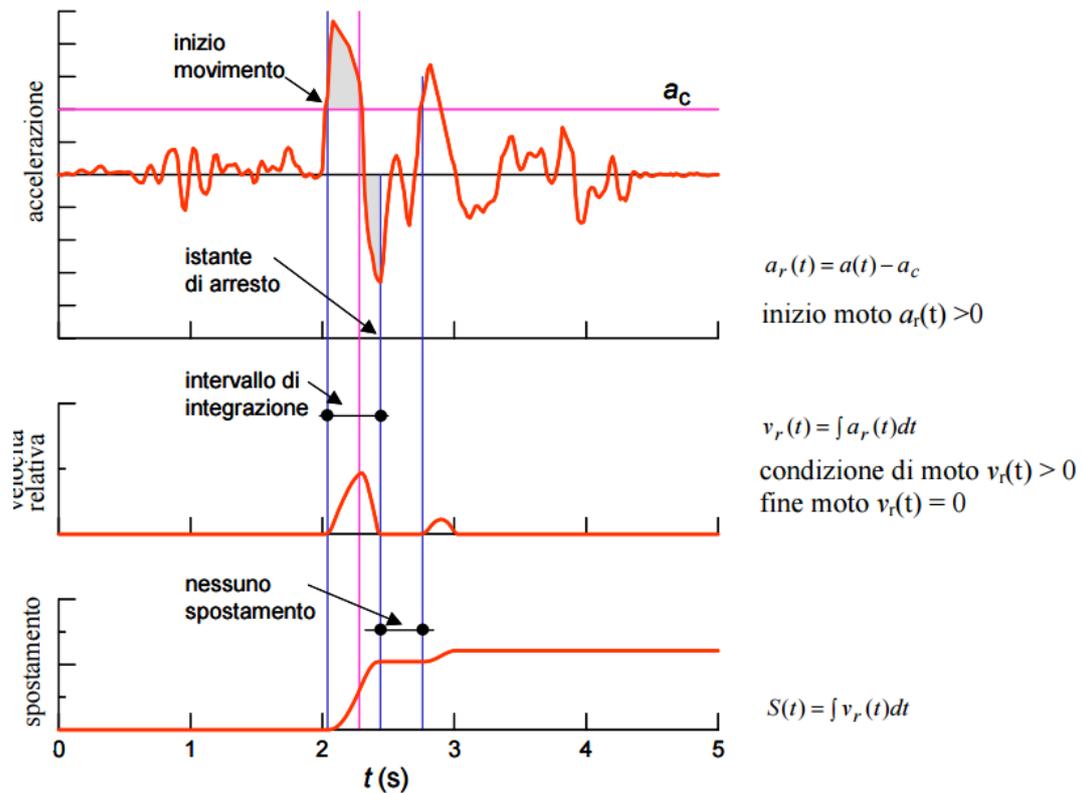


Fig. 51 Schema di calcolo degli spostamenti per doppia integrazione del moto relativo (fonte: AGI, 2005)

7.4.3. Risultati

Le analisi di Newmark sono state effettuate con il codice di calcolo Geostru – Slope-QSIM.

I profili presi in esame sono stati estrapolati dalla tavola “Carta delle sezioni” (Fig. 52, Fig. 53 e Fig. 54) considerando i corpi franosi di maggior criticità che intersecavano gli abitati.

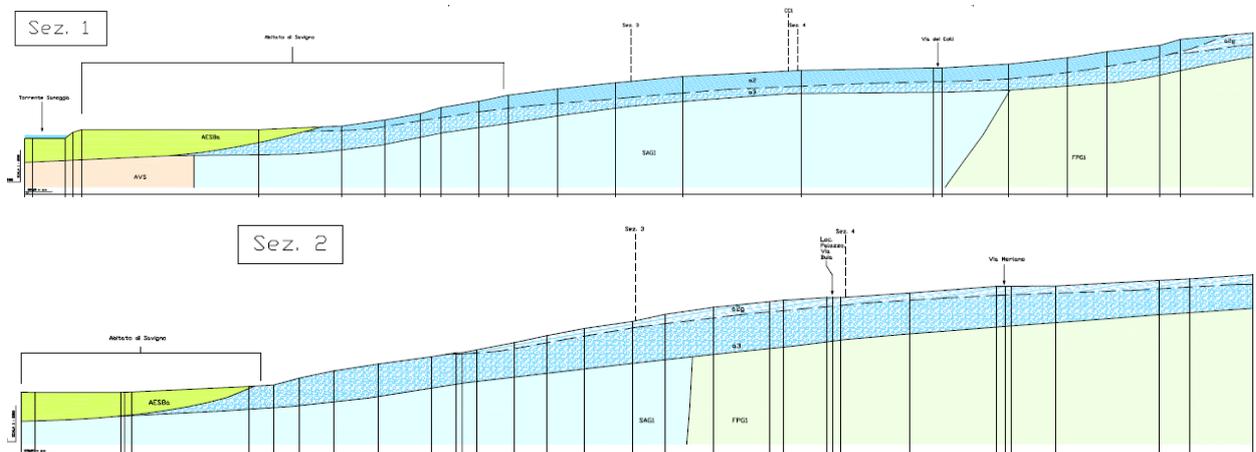
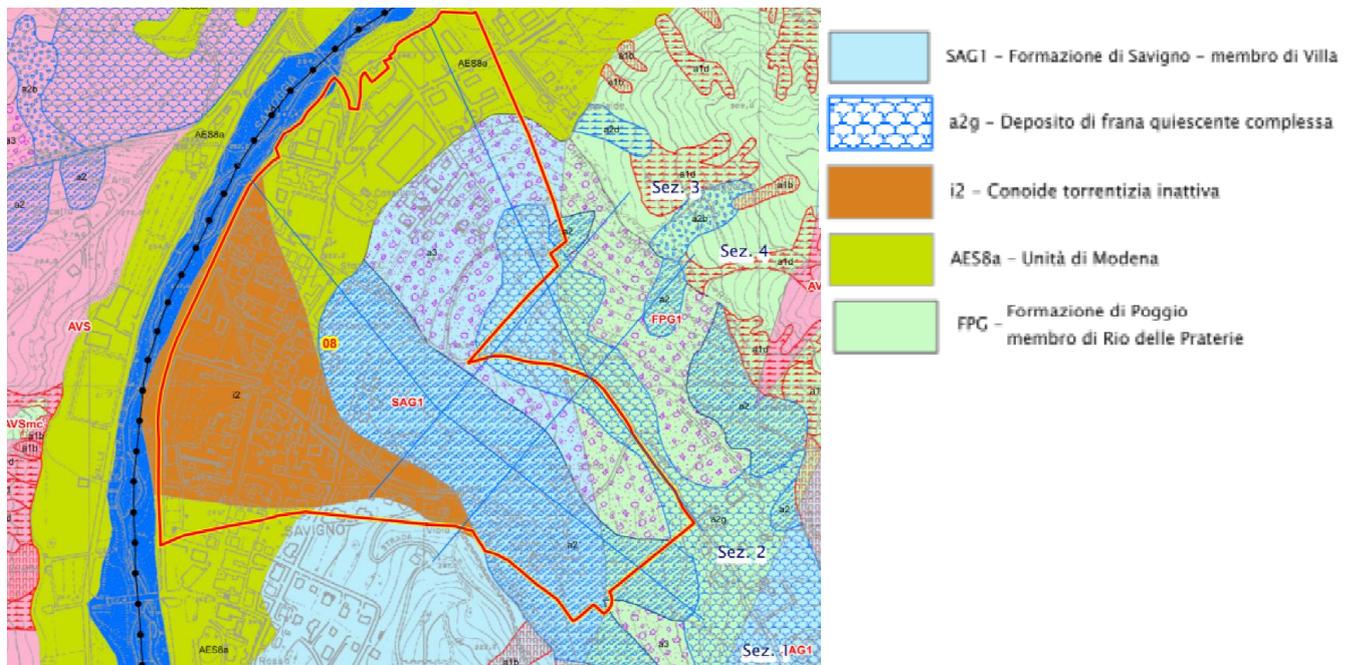


Fig. 52 Profilo geologico considerato per le verifiche sismiche di stabilità nell'area di Savigno

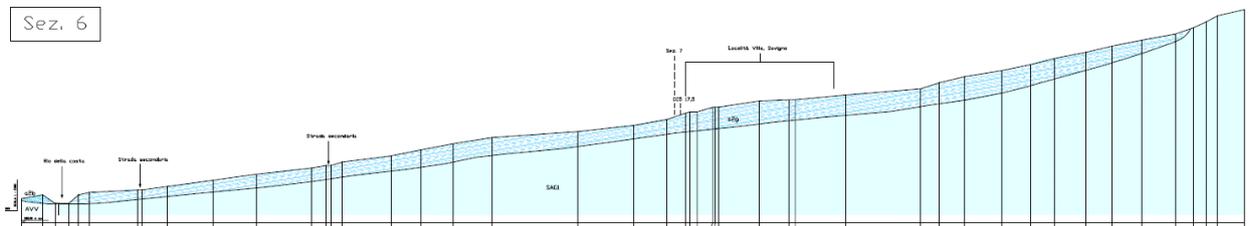
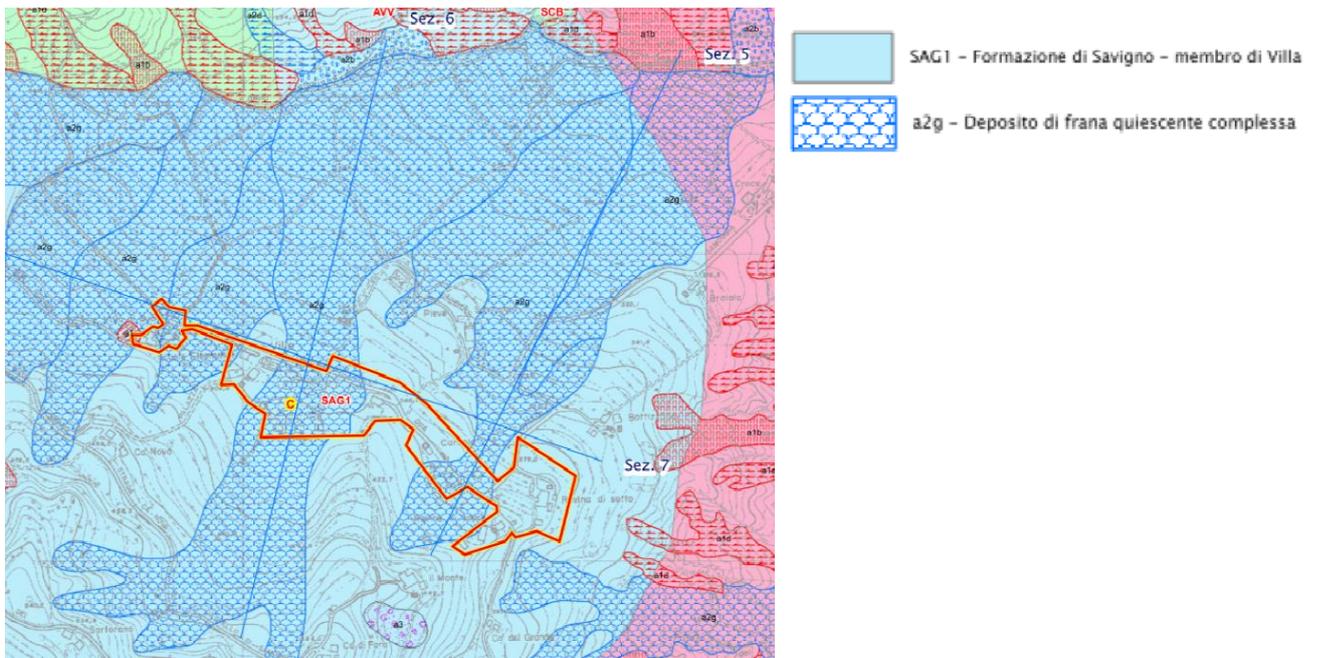


Fig. 53 Profilo geologico considerato per le verifiche sismiche di stabilità nell'area di Villa

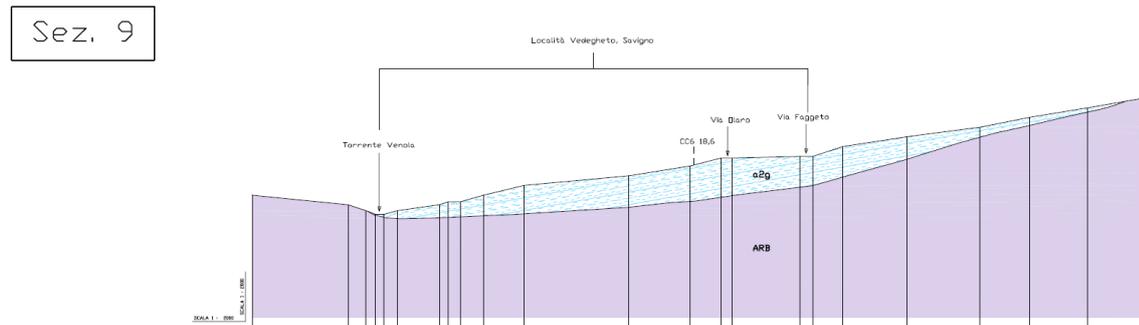
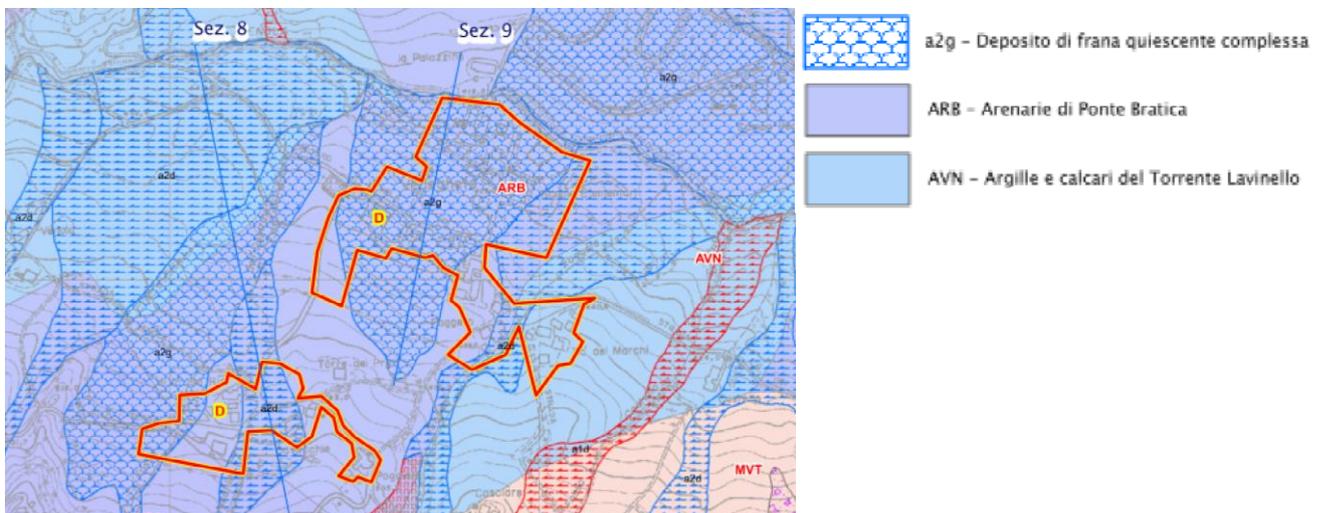


Fig. 54 Profilo geologico considerato per le verifiche sismiche di stabilità nell'area di Vedegheto

Prima di procedere alla verifica in condizioni sismiche sono state considerate per ogni corpo di frana tre aree distinte: accumulo, corpo e nicchia. All'interno delle stesse sono state verificate diverse superfici di scorrimento con metodi ps considerando alla fine quella a minor fattore di sicurezza. Una volta ottenuta la superficie critica a minor F_s si è proceduto alla verifica in condizioni sismiche.

Per ogni corpo di frana è stato associato un accelerogramma ottenuto dalle analisi di risposta sismica locale, ed è stato posto ad una profondità inferiore alla profondità della superficie di scollamento in via cautelativa. Nonostante queste considerazioni gli spostamenti attesi risultano nulli in tutti i casi esaminati.

Nella tabella sottostante sono indicati, per ogni superficie rappresentativa dell'area, i valori ottenuti con i metodi descritti nei capitoli precedenti.

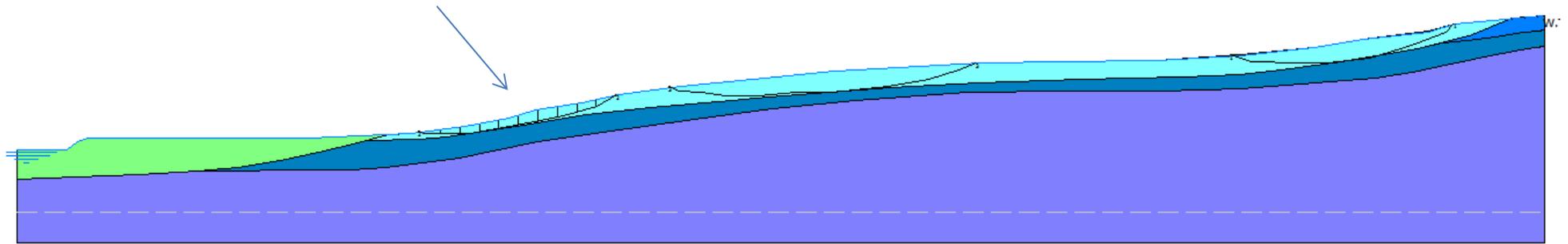
Tab. 25 Parametri sismici ricavati dalla risposta sismica locale (A_{max} , K_h , K_v) con i risultati ottenuti dalle analisi pseudostatiche e con il metodo degli spostamenti

	Profondità accelerogramma (m)	A_{max} (g)	K_h	K_v	F_s	a_c (g)	Spostamento atteso (cm)
Savigno Sez. 1	6,2	0,239	0,0669	0,0335	2,08	0,34	0
Savigno Sez. 2	3,3	0,219	0,0613	0,0307	2,19	0,35	0
Villa	9	0,2	0,0560	0,0280	1,78	0,26	0
Vedegheto	9	0,231	0,0647	0,0323	3,12	0,51	0

Come si evince in tabella gli spostamenti accumulati risultano nulli soprattutto a causa di un valore di accelerazione critica elevato.

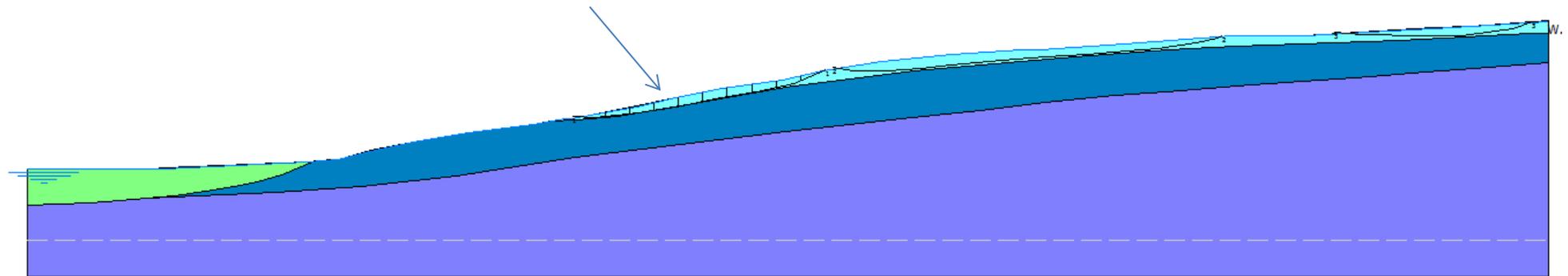
Savigno Sez. 1

verifica in condizioni sismiche

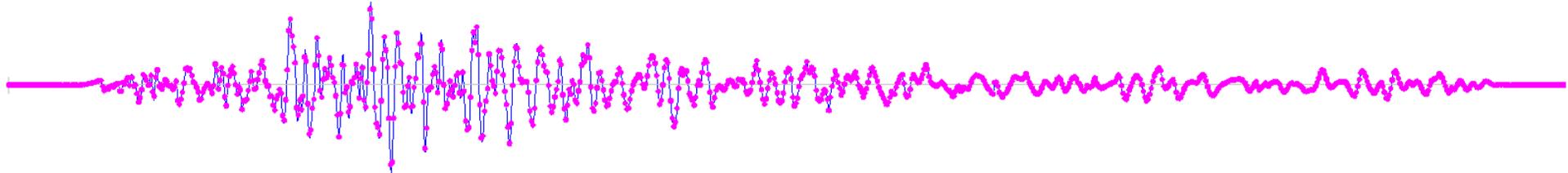


Savigno Sez. 2

verifica in condizioni sismiche



Savigno Sez. 1 ($a_c = 0,34$)



Savigno Sez. 2 ($a_c = 0,35$)

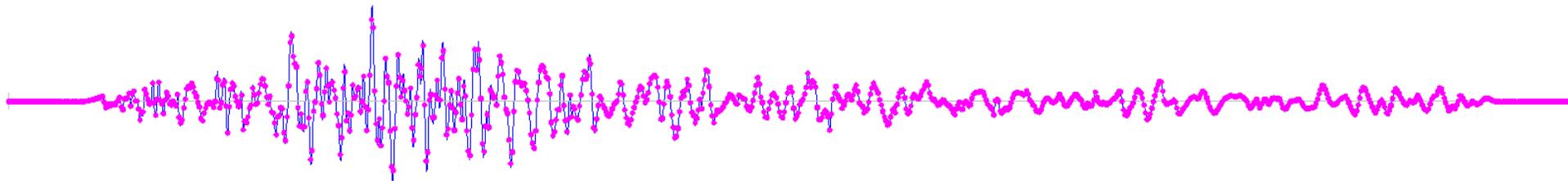
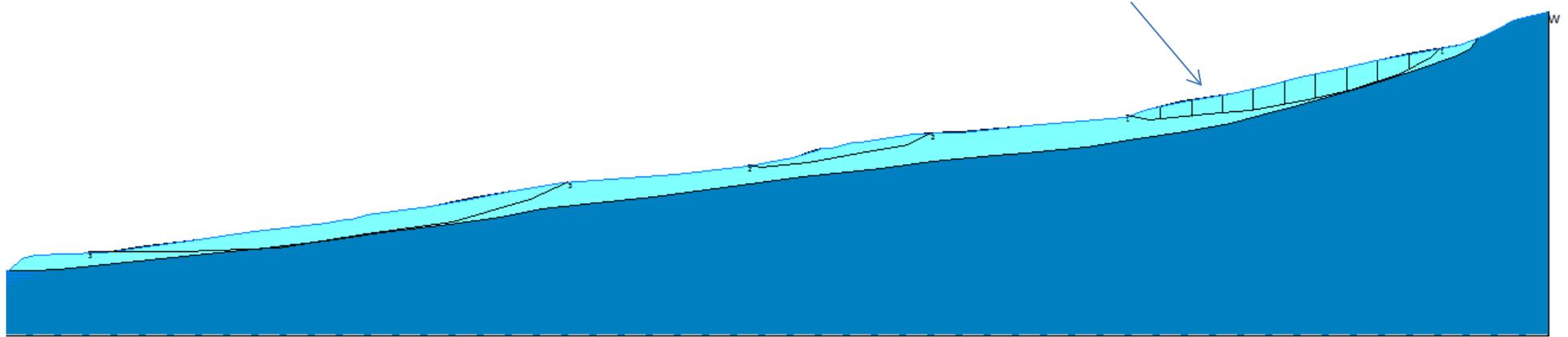


Fig. 55 Rappresentazione grafica dei profili di riferimento nell'abitato di Savigno per il calcolo dei degli spostamenti con i relativi accelerogrammi utilizzati. La linea rossa tratteggiata rappresenta il valore di accelerazione critica a_c

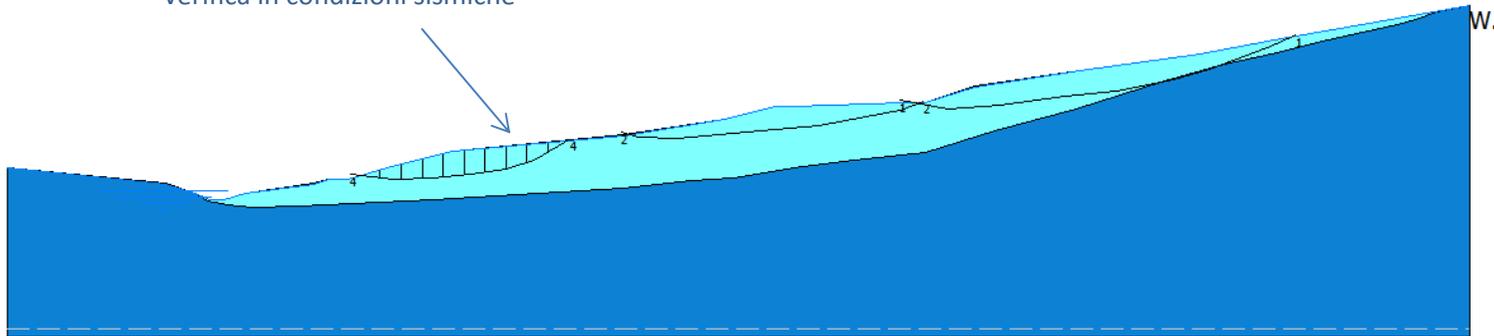
Villa

verifica in condizioni sismiche

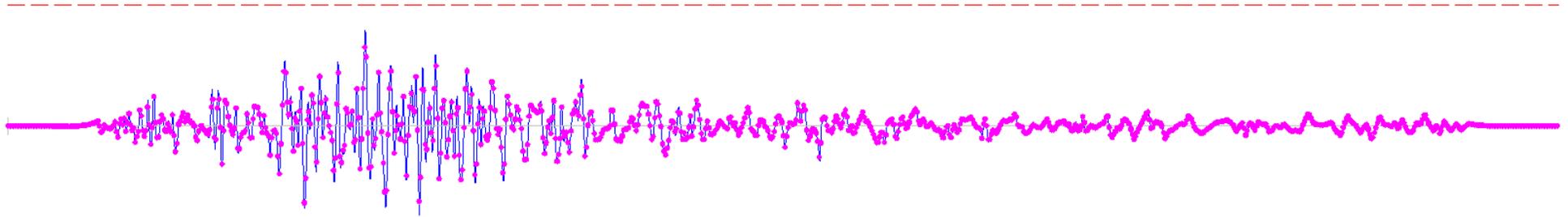


Vedegheto

verifica in condizioni sismiche



Villa ($a_c = 0,26$)



Vedegheto ($a_c = 0,51$)

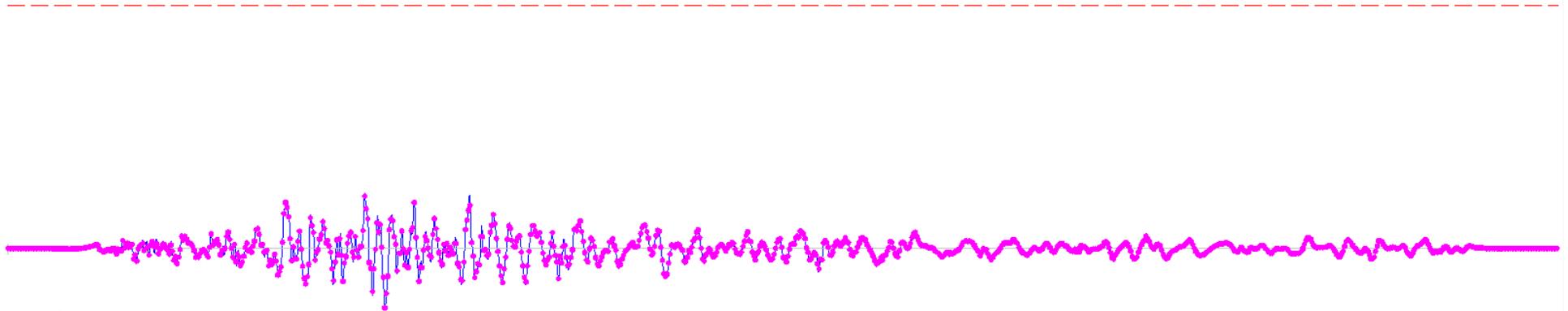


Fig. 56 Rappresentazione grafica dei profili di riferimento negli abitati di Villa e Vedegheto per il calcolo dei degli spostamenti. La linea rossa tratteggiata rappresenta il valore di accelerazione critica a_c

8 Elaborati cartografici

8.1 Carta delle indagini

Questo elaborato contiene l'ubicazione delle indagini geognostiche pregresse e di quelle realizzate ex-novo nelle aree in esame. Le prime sono state ottenute dagli archivi del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna SGSS e dall'ufficio tecnico dell'Unione dei Comuni Valle del Samoggia, mentre quelle più recenti sono state programmate in base alle caratteristiche del territorio e a quelle dei dissesti.

Nella porzione pianeggiante del territorio, le problematiche sono relative a fenomeni di liquefazione a causa della presenza di paleoalvei sabbiosi; questo comporta specifiche indagini con prove statiche CPT per determinare il fattore di sicurezza per questi fenomeni. Nella parte più collinare (Savigno, Villa, Vedegheto) le problematiche riscontrate sono dovute a instabilità di versante che hanno comportato la caratterizzazione del corpo franoso con sondaggi (predisposti per l'utilizzo di sonde inclinometriche).

Ai fini di una caratterizzazione completa per la determinazione della RSL, le aree sono state oggetto di indagini geofisiche per la determinazione dell'andamento di Vs con la profondità (MASW) e indagini tromografiche (HVSR) per le frequenze di risonanza del terreno.

La simbologia utilizzata si riferisce agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.0b".

Le prove considerate sono state successivamente inserite nel database di questo studio attraverso il software "SoftMS" versione 4.0.1 fornito dalla Protezione civile.

La scala di rappresentazione della Carta delle Indagini è 1:5.000.

In Allegato sono presenti le indagini con il relativo codice ISTAT identificativi della tipologia e della zona. Il codice infatti è costruito tenendo presente che le prime 6 cifre si riferiscono al codice ISTAT della Provincia di Bologna "037" e del comune in esame di Valsamoggia "061" mentre quelle finali al tipo e al numero identificativo della prova.

8.2 Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica

È il risultato della revisione dei rilievi geologici, geotecnici, morfologici e idrogeologici effettuati e pregressi riportati successivamente in carta. Questi dati costituiscono il riferimento per la costruzione del modello del sottosuolo e per lo sviluppo della carta della Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

Le unità geologico-litotecniche sono distinte in carta tra terreni di copertura e substrato geologico affiorante. In Fig. 57 sono indicate le distinzioni effettuate in carta per i diversi depositi.

Terreni di copertura

GMtf	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo. Terrazzo fluviale
SMes	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Argine/barre/canali
CLca	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Conoide alluvionale
CLzz	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Altro ambiente
CLec	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Eluvi/colluvi
CLes	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Argine/barre/canali

Instabilità di versante

	colata – attiva
	colata – quiescente
	complessa – quiescente
	non definito – quiescente
	non definito – non definita

Substrato geologico

GR	Granulare cementato
-----------	---------------------

Forme di superficie e sepolte

	Conoide alluvionale
	Falda detritica
	Cresta
	Asse di valle sepolta larga ($C < 0.25$)

Elementi geologici e idrogeologici

	Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico. (profondità in m)
	Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)
	Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie
	Traccia di sezione geologica significativa e rappresentativa del modello del sottosuolo
	Area oggetto di approfondimenti di 3° livello
	Limite del territorio comunale

Fig. 57 Legenda estratta dalla carta geologico tecnica per il comune di Valsamoggia

La suddivisione delle suddette unità è stata fatta in base alla possibilità di definire e caratterizzare un numero non troppo esteso di classi, ma sufficientemente rappresentativo dei depositi presente. Per la loro descrizione è stato utilizzato l'*Unified Soil Classification System* (leggermente modificato, ASTM, 1985) che è costituito da una sigla a due lettere maiuscole, riferite al tipo di terreno di copertura, alle quali seguono due lettere minuscole riferite all'ambiente di possibile genesi e deposizione (es. "GM tf" Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo – Terrazzo fluviale).

Considerando le zone in esame, i terreni di copertura sono rappresentati prevalentemente da sabbie limose, miscela di sabbia e limo nelle aree in pianura (riconducibili ad ambienti di argine, barre o canali fluviali) mentre a quote più elevate (Savigno) prevalgono argille ghiaiose o sabbiose, argille limose e nel fondovalle del Torrente Samoggia ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo. Per una descrizione più dettagliata di questi depositi si rimanda ai capitoli 3.2.1 e 8.3.

Le aree di Savigno, Villa e Vedegheto presentano anche instabilità di versante alle quali è stato assegnato un colore e una simbologia caratteristica rispettivamente dello stato di attività e del tipo di movimento che ha avuto la frana.

Le forme di superficie presenti in carta sono riconducibili a depositi di conoide alluvionale, falda detritica, cresta appuntita (nei pressi dell'Abbazia di Monteveglio) e ad una valle sepolta larga (fondovalle del Torrente Samoggia nei pressi di Savigno).

Sono state aggiunte, inoltre, le tracce delle sezioni geologiche significative, e le informazioni geologiche puntuali che riprendono in parte quelle già disponibili nella carta delle indagini: profondità in metri di sondaggi che hanno o non hanno raggiunto il substrato e la profondità della falda in aree con sabbie e/o ghiaie.

La simbologia utilizzata si riferisce agli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.0b”; la scala di rappresentazione della Carta Geologico-Tecnica è 1:5.000.

8.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

Questo elaborato costituisce il documento fondamentale del primo livello di approfondimento degli studi di microzonazione sismica e contiene una suddivisione dettagliata del territorio in zone a comportamento equivalente al verificarsi di sollecitazioni sismiche.

Per caratterizzare queste aree sono stati presi in considerazione gli elaborati sviluppati in questo studio di MS (Carta Geologico Tecnica e Carta delle Indagini) e, per un quadro di insieme, le documentazioni e le cartografie disponibili sul sito della Regione Emilia-Romagna. In particolare è stata data importanza a tutte quelle caratteristiche che possono influenzare la risposta sismica locale (profondità e grado di alterazione del substrato, presenza di faglie, terreni suscettibili a liquefazione o cedimenti differenziali, acclività del profilo topografico ecc.).

La base di riferimento per la realizzazione di suddetta carta, è rappresentata dal PSC degli ex comuni di Crespellano, Monteveglio e Savigno del 2013 redatta precedentemente della fusione nel comune di Valsamoggia. L’elaborato redatto nel presente studio di MS di terzo livello, inoltre, risulta sensibilmente cambiato rispetto al precedente contenuto nel PSC, perché si sono considerati i più recenti “Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica” redatti dal DPC (versione 4.0b - Giugno 2015).

Tutte le cartografie sopra descritte sono quindi state utili per individuare, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche, geotecniche e delle valutazioni delle prove geognostiche e geofisiche, le microzone dove possono così verificarsi effetti locali dovuti all’azione sismica.

In legenda, il documento degli standard di rappresentazione prevede la suddivisione del territorio in tre aree differenti:

- **Zone stabili:** in cui non si ipotizzano effetti locali di nessuna natura (condizione verificata quando il substrato risulta rigido e in affioramento, con morfologia pianeggiante o poco inclinata);
- **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:** sono attese amplificazioni del moto sismico a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche;
- **Zone di attenzione per le instabilità:** gli effetti sismici attesi, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali liquefazione, cedimenti differenziali e indurre instabilità di versante.

La scala di rappresentazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) è 1:5.000.

8.3.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione locali

Queste aree, sono state codificate in modo progressivo sulla base delle successione litostratigrafica (da ICMS 2008 – formato numerico: “20xy”). Inoltre per ogni zona è riportata la relativa equivalenza con le macrozone definite dal PTCP di Bologna e come richiesto dalla nuova normativa attuativa provinciale (art. 6.14 NTA).

Nel territorio comunale sono state identificate le seguenti zone:

- **Zona 1:** (Pedretta - 2001) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8, AES8a prevalentemente fini con intercalazioni di sabbie limose. Questi depositi hanno uno spessore variabile da 40 a 90 metri. Le indagini sismiche non hanno individuato il bedrock (Sabbie di Imola – Membro di Fassoveggia - IMO2) mentre le indagini tomografiche individuano uno riflettore ad una profondità ipotizzabile intorno agli 80 m. La Vs30 risulta uguale a 267,8 m/s. Saranno effettuati

studi di 3° livello per l'analisi del potenziale di liquefazione e per la risposta sismica locale con metodi numerici 1D.

Equivalente a L1 (PTCP) – “Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione”

- Zona 2: (Case Via Provinciale - 2002) caratterizzata da depositi alluvionali recenti appartenenti all'AES8 e costituiti principalmente da materiale fine con orizzonti di sabbie limose. Poggiano su un bedrock riconducibile a IMO2. Le prove geofisiche e tomografiche individuano alla profondità di 15 metri un sostanziale aumento delle velocità ma non per questo riconducibile a bedrock che risulta comunque non rigido ($V_s \cong 450$ m/s La V_{s30} estrapolata da indagini pregresse è uguale a 309,4 m/s. Saranno effettuati studi di 3° livello per l'analisi del potenziale di liquefazione e per la risposta sismica locale con metodi numerici 1D (attribuibile al contesto di margine con $V_s < 800$ m/s).

Equivalente a L1 (PTCP) – “Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione”

- Zona 3: (Calcara - 2003) caratterizzata da coperture alluvionali di pianura, e con spessore di circa 100 metri che poggiano su un substrato presumibilmente riconducibile all'AEI (Sintema Emiliano-Romagnolo inferiore). Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di PIANURA 2 – DGR 2193/2015).

Equivalente ad A (PTCP) – “Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

- Zona 4: (Calcara - 2004) caratterizzata da coperture alluvionali di pianura di spessore di circa 100 metri. Poggiano su un substrato presumibilmente riconducibile all'AEI. Nei primi metri di profondità sono costituiti da limi sabbiosi e sabbie limose dovuti ad involuppi di paleoalvei sabbiosi. Dalle prove pregresse si è ricavata la V_{s30} approssimabile a circa 200 m/s. Saranno effettuati studi di 3° livello per l'analisi del potenziale di liquefazione e per la risposta sismica locale con metodi numerici 1D (attribuibile al contesto di PIANURA 2 – DGR 2193/2015).

Equivalente a L1 (PTCP) – “Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione”

- Zona 2099: (Monteveglia) caratterizzata da una copertura spessa circa 15 m riconducibile a bedrock fortemente alterato e tettonizzato, composto da areniti fini e subordinate peliti sabbiose (ADO2 – Formazione di Monte Adone, Membro delle Ganzole). È stato calcolato, lungo due profili eseguiti perpendicolarmente alla cresta, un fattore di amplificazione topografica pari a $St=1,3$ che verrà poi considerato oltre alle analisi di risposta sismica locale.

Equivalente a AP (PTCP) – “Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche”

- Zona 5: (Savigno - 2005) caratterizzata da sedimenti alluvionali composti da ghiaie, miscela di ghiaia, sabbia e limi riconducibili ad un contesto deposizionale torrentizio del Samoggia. Questi depositi poggiano su un bedrock non rigido, come confermato dalle indagini geofisiche, che in alcuni casi è rappresentato dalla Formazione di Savigno – Membro di Villa (SAG1 – torbiditi arenaceo pelitiche) e anche dalla Formazione di Poggio (FPG1 – argilliti siltose); hanno uno spessore di circa 10 metri comprendenti anche la parte di bedrock superficiale alterata. La morfologia è sub-pianeggiante (pianura di fondovalle) con inclinazione media $< 15^\circ$. Per questi motivi si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di APPENINO $V_s < 800$ m/s – DGR 2193/2015).

Equivalente ad A (PTCP) – “Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

- Zona 6: (Savigno - 2006) caratterizzata da un corpo detritico presumibilmente riconducibile al piede di accumulo di una paleofrana stabilizzata. Le prove geofisiche evidenziano uno spessore di questo deposito gravitativo, in grado di amplificare il moto sismico, di circa 21 metri, con le $V_{s21}=345$ m/s. Le medesime prove evidenziano inoltre che poggia su un bedrock non rigido rappresentato dalle torbiditi arenaceo pelitiche appartenenti alla Formazione di Savigno – Membro di Villa (SAG1) e in

parte anche dalle argilliti siltose riconducibili all'Unità delle Argille Varicolori della Valsamoggia (AVS). La morfologia è sub-pianeggiante (pianura di fondovalle) con inclinazione media < 15°. Per questi motivi si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di APPENINO Vs < 800 m/s – DGR 2193/2015).

Equivalente ad A (PTCP) – “Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

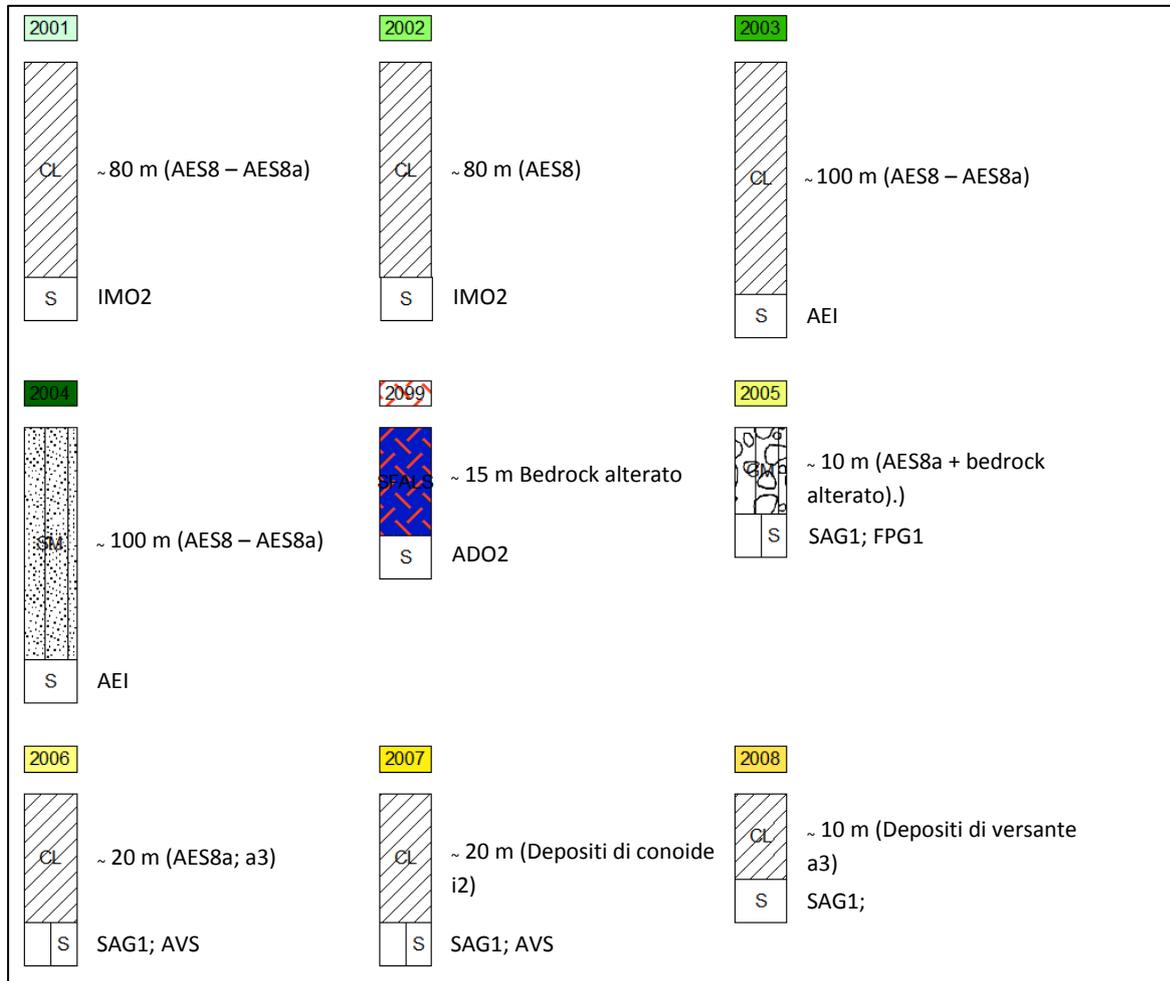


Fig. 58 Colonnine stratigrafiche riferite ad ogni singola MOPS

- Zona 7: (Savigno - 2007) caratterizzata da depositi di conoide torrentizia inattiva riconducibili all'attività di un corso d'acqua secondario. Si trovano presumibilmente in sovrapposizione con i depositi caotici gravitativi relativi alla paleofrana. Le indagini geofisiche (tomografie e prove Re.Mi.) individuano il bedrock non rigido ad una profondità approssimabile a 20 metri, con andamento pressoché costante. Quest'ultimo è riconducibile sia a SAG1 che alle Argille Varicolori della Valsamoggia (AVS). La morfologia è sub-pianeggiante (pianura di fondovalle) con inclinazione media < 15°. Per questi motivi si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di APPENINO Vs < 800 m/s – DGR 2193/2015).

Equivalente ad A (PTCP) – “Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

- Zona 8: (Savigno - 2008) caratterizzata da coperture detritiche di versante sovrastanti il bedrock non rigido individuato come SAG1. Le indagini pregresse individuano uno spessore di questi depositi di circa 11,5 metri (Vs11,5=203 m/s) e comprende anche la parte superficiale del substrato alterato. La zona si trova al piede di un versante con acclività media < 15°. Per questi motivi si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di APPENINO Vs < 800 m/s – DGR 2193/2015).

Equivalente ad A (PTCP) – “Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

- Zona 9: (Savigno - 2009) caratterizzata da coperture detritiche di versante sovrastanti il bedrock non rigido riconducibile a SAG1. Questi depositi si trovano ai piedi di un pendio con inclinazione media compresa tra i 15°-20°. Le indagini geofisiche evidenziano uno spessore ridotto di tali coperture di circa 5 metri comprendente anche il bedrock più alterato. Per questi motivi si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di APPENINO $V_s < 800$ m/s – DGR 2193/2015).

Equivalente ad A (PTCP) – “Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

- Zona 10: (Savigno - 2010) caratterizzata da coperture detritiche di versante messe in posto presumibilmente dalla sovrapposizione di una antica paleofrana profonda e una quiescente più superficiale. Secondo le indagini geognostiche e geofisiche lo spessore di questi depositi è di circa 20 metri con una V_s di 249,4 m/s e sono composti da argille debolmente limose con clasti arenacei. Poggiano in parte sulla Formazione di Savigno, più precisamente il Membro di Villa (SAG1), e in parte sulla Formazione di Poggio – Membro di Rio delle Praterie (FPG1). Si tratta comunque di un bedrock non rigido ($V_s < 800$ m/s). La morfologia è collinare con inclinazione media $< 15^\circ$. Per questi motivi si ritiene necessario un’indagine approfondita della zona con analisi di dettaglio e una valutazione della risposta sismica locale con metodi numerici 1D.

Equivalente a Q (PTCP) – “Area potenzialmente instabile soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

- Zona 11: (Savigno - 2011) caratterizzata da coperture detritiche di versante che poggiano su un bedrock riconducibile sia a SAG1 che a FPG1. In entrambi i casi si tratta di substrato non rigido, in analogia con i dati ricavati dalle indagini geofisiche effettuate al di sopra dei depositi alluvionali nei pressi del Torrente Samoggia. Questi depositi appartengono ad un corpo di frana quiescente complessa presumibilmente sovrapposto ad uno più antico e hanno uno spessore di circa 30 metri. La morfologia è collinare con inclinazione media $< 15^\circ$. Per questi motivi si ritiene necessario un’indagine approfondita della zona con analisi di dettaglio e una valutazione della risposta sismica locale con metodi numerici 1D.

Equivalente a Q (PTCP) – “Area potenzialmente instabile soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

- Zona 12: (Savigno - 2012) caratterizzata dalla presenza coperture detritiche di versante riconducibili presumibilmente ad un antico corpo di paleofrana. Lo spessore è di circa 20 metri e poggia su un bedrock non rigido (in analogia con le prove geofisiche svolte lungo il Torrente Samoggia) composto da torbiditi arenaceo pelitiche (SAG1) e depositi di colata intercalati in argilliti (FPG1). La morfologia è collinare con inclinazione media $< 15^\circ$. Per questi motivi si ritiene necessario un’indagine approfondita della zona con analisi di dettaglio e una valutazione della risposta sismica locale con metodi numerici 1D.

Equivalente a Q (PTCP) – “Area potenzialmente instabile soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

- Zona 13: (Savigno -2013) caratterizzata da coperture detritiche con spessori variabili (10/15 metri) riconducibili in alcune porzioni a corpi di frana quiescente. Il bedrock, non rigido, su cui poggiano è attribuibile alla Formazione di Poggio (FPG1). La morfologia è collinare con inclinazione media $< 15^\circ$. Per questi motivi si ritiene necessario un’indagine approfondita della zona con analisi di dettaglio e una valutazione della risposta sismica locale con metodi numerici 1D.

Equivalente a Q (PTCP) – “Area potenzialmente instabile soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

- Zona 14: (Villa - 2014) caratterizzata da una copertura detritica di versante riconducibile ad un corpo di frana quiescente. Dalle prove geognostiche e geofisiche lo spessore di questi depositi è di circa 17,5 metri e sono composti da argille limose di colore grigio, abbastanza consistenti con

presenza di frammenti di argilliti. Poggiano su un bedrock non rigido attribuibile a SAG1 (torbiditi arenaceo pelitiche). La morfologia è collinare con un'acclività media di poco inferiore a 15°. Per questi motivi si ritiene necessario un'indagine approfondita della zona con analisi di dettaglio e una valutazione della risposta sismica locale con metodi numerici 1D.

Equivalente a Q (PTCP) – “Area potenzialmente instabile soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

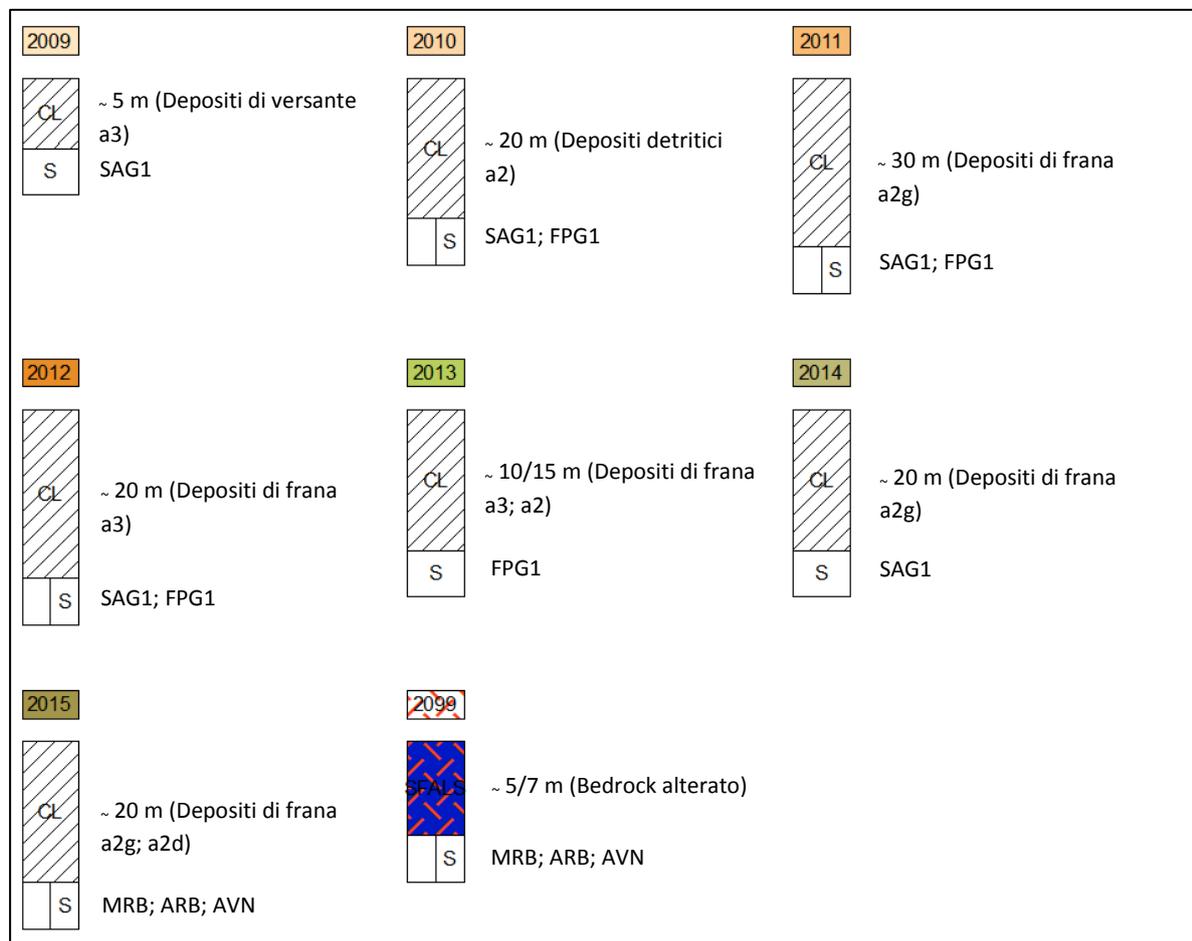


Fig. 59 Colonnine stratigrafiche riferite ad ogni singola MOPS

- Zona 15: (Vedegheto - 2015) caratterizzata da una copertura detritica di versante riconducibile a corpi di frana quiescente imposti su un bedrock non rigido (come confermato dalle indagini geofisiche) costituito da alternanze di livelli lapidei e livelli pelitici (Arenarie di Ponte Bratica-ARB), da torbiditi arenaceo pelitiche (Formazione di Monte Pasotre-MPA) e dalle Argille e Calcari del Torrente Lavinello (AVN). Le indagini effettuate in sito indicano uno spessore del deposito di circa 18,6 m, composto prevalentemente da argille di colore grigio, nocciola con presenza di clasti spigolosi di natura calcarea. La morfologia è collinare con un'acclività media superiore ai 15°. Per questi motivi si ritiene necessario un'indagine approfondita della zona con analisi di dettaglio e una valutazione della risposta sismica locale con metodi numerici 1D.

Equivalente a Q (PTCP) – “Area potenzialmente instabile soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

- Zona 2099: (Vedegheto) caratterizzata da coperture attribuibili a bedrock alterato costituito in parte dall'Unità della Argille e Calcari del Torrente Lavinello (AVN), da ARB e MPA. Hanno uno spessore limitato a 5/7 metri. A causa dello spessore di questa porzione alterata è da considerare potenzialmente suscettibile di amplificazione locale. La morfologia è collinare con un'acclività media superiore ai 15°. Per questi motivi si ritiene necessario un'indagine approfondita della zona con analisi di dettaglio e una valutazione della risposta sismica locale con metodi numerici 1D.

Equivalente a Q (PTCP) – “Area potenzialmente instabile soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche”

8.3.2. Zone di attenzione per le instabilità

Le Zone di Attenzione (ZA) per le instabilità (le quali corrispondono alle “zone suscettibili di instabilità” previste dagli ICMS 2008) sono state introdotte nel recente standard di rappresentazione (Giugno 2015) perché nella carta delle MOPS, queste zone hanno il medesimo livello di approfondimento di altre aree e quindi non possono essere ancora classificate come zone effettivamente instabili fintanto che non vengano eseguite analisi più dettagliate (di tipo quantitativo) consone alla carta di Microzonazione Sismica.

Per ogni zona è assegnato un codice di 8 cifre di cui le prime 4 si riferiscono al tipo di instabilità e le ultime 4 riferite alla tipologia di zona stabile suscettibile di amplificazione. Questo tipo di rappresentazione conserva le informazioni di tipo litostratigrafico di ogni microzona, permettendo, nel caso in cui non venga confermata l’instabilità, di trattare tale zona come “stabile suscettibile di amplificazione”.

Di seguito verranno descritte in dettaglio le zone di attenzione per instabilità di versante ($Z_{A_{FR}}$) che corrisponderanno alle aree cartografate in frana nella Carta Geologico Tecnica. Mentre per le zone di attenzione per liquefazione ($Z_{A_{LQ}}$) nelle quali è stata verificata l’esistenza di condizioni predisponenti il fenomeno (terreni sabbiosi; falda a profondità inferiore ai 15 metri; magnitudo attesa al sito superiore a 5; accelerazione massima in superficie PGA maggiore di 0.1g).

I risultati dell’analisi del rischio di liquefazione (Par. 7.3) hanno evidenziato valori del coefficiente di sicurezza particolarmente elevati, escludendo di fatto il rischio stesso. Di conseguenza, all’interno della carta delle MOPS, tali aree sono state “declassate” a zone stabili suscettibili di amplificazione per le caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo.

- Zona 30252010: (Savigno) corpo di frana di tipo quiescente messo in posto da un movimento non definito. È stata attivata in epoca non definibile e ha direzione di scorrimento verso ovest. Ha uno spessore di circa 20 metri ed è composta principalmente da un deposito caotico a matrice prevalentemente argillosa con clasti di varie dimensioni e si trova in sovrapposizione ad una paleofrana più antica.
- Zona 30242011: (Savigno) corpo di frana quiescente complessa, con direzione di scorrimento verso ovest, nord-ovest. Ha uno spessore di circa 30 metri ed è composta principalmente da un deposito caotico a matrice prevalentemente argillosa con clasti di varie dimensioni. È stata attivata presumibilmente da cause predisponenti (litologia, morfologia) e si trova inoltre in sovrapposizione ad un altro corpo di paleofrana più antico. Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo degli spostamenti, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area stabile suscettibile di amplificazioni locali per caratteristiche litostratigrafiche.
- Zona 30452012: (Savigno) corpo di paleofrana complessa su cui si sono sovrapposti i due depositi gravitativi precedentemente descritti. Spessore compreso tra i 20 e i 30 metri e composto principalmente da un deposito caotico a matrice argillosa con clasti eterometrici. Anch’esso è stato presumibilmente attivato per cause predisponenti e ha un andamento ovest, nord-ovest. Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo degli spostamenti, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area stabile suscettibile di amplificazioni locali per caratteristiche litostratigrafiche.
- Zona 30452013: (Savigno) corpo detritico presumibilmente riconducibile alla Zona sopra descritta ma con spessori inferiori (10/15 m). Composto anch’esso da un caotico a matrice argillosa con clasti eterometrici. Il movimento è in questo caso verso nord, nord-est. Per questa area non è stato applicato il metodo di Newmark per determinare gli spostamenti attesi per la limitata influenza nell’area in esame.

- Zona 30252013: (Savigno) corpi di frana quiescente che si sviluppano sul precedente deposito descritto con andamento nord nord-est. Composti da materiale prevalentemente argilloso con clasti eterometrici. Per questa area non è stato applicato il metodo di Newmark per determinare gli spostamenti attesi per la limitata influenza nell'area in esame.
- Zona 30452014: (Località: Villa – Savigno) area considerata come corpo di frana quiescente non definito. Secondo le indagini geofisiche a rifrazione svolte in questa zona lo spessore e le velocità sono tali da determinare, oltre ad una porzione di substrato alterato, un materiale riconducibile a un corpo franoso. Lo spessore risulta variabile tra i 15 e i 20 metri. Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo degli spostamenti, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area stabile suscettibile di amplificazioni locali per caratteristiche litostratigrafiche.
- Zona 30132014: (Località: Villa – Savigno) corpo di frana attiva per colamento. Si tratta di una piccola porzione di terreno composta da materiale fine, argilla e limi. Per questa area non è stato applicato il metodo di Newmark per determinare gli spostamenti attesi per la limitata influenza nell'area in esame.
- Zona 30242014: (Località: Villa – Savigno) corpo di frana quiescente complessa composto principalmente da argilla limosa, di colore grigio con presenza di frammenti millimetrici e centimetrici di argilliti. Gli affioramenti in campagna evidenziano una stratigrafia immergente verso nord, nord-est, che in un contesto di versante nord-vergente implica che la principale causa di attivazione della frana è di tipo predisponente e nello specifico di natura geologica, morfologica. Le prove in sito indicano uno spessore di compreso tra i 15 e i 20 metri di profondità. Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo degli spostamenti, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area stabile suscettibile di amplificazioni locali per caratteristiche litostratigrafiche.
- Zona 30232015: (Località: Vedegheto – Savigno) corpo di frana quiescente per colamento con andamento verso NNE. Secondo la classificazione adottata (Cruden & Varnes, 1996) e attribuita alla frana, il materiale coinvolto nel processo gravitativo presenta una matrice prevalentemente argillosa con presenza di clasti eterometrici ed ha uno spessore variabile da 15 a 20 metri. Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo degli spostamenti, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area stabile suscettibile di amplificazioni locali per caratteristiche litostratigrafiche.
- Zona 30242015: (Località: Vedegheto – Savigno) corpo di frana quiescente complessa composto da argilla limosa di colore grigio, nocciola, da umida a molto umida con abbondanti clasti spigolosi di natura calcarea. La direzione di scorrimento è verso nord e la causa principale di attivazione è riconducibile a cause predisponenti (litologia, morfologia). Lo spessore, secondo le prove eseguite geognostiche eseguite in sito è di 18,6 m. Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo degli spostamenti, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area stabile suscettibile di amplificazioni locali per caratteristiche litostratigrafiche.

8.4 Carta di Microzonazione Sismica

Rappresenta la carta in cui sono riportati i risultati ottenuti dalle elaborazioni con i codici di calcolo monodimensionali e le analisi approfondite (analisi di liquefazione) effettuate nelle aree in esame; è stata inoltre costruita secondo le prescrizioni della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica. All'interno della stessa è presente quindi una suddivisione in aree a comportamento sismico equivalente in base alle caratteristiche litostratigrafiche e topografiche.

I precedenti studi di MS di 2° livello hanno portato alla definizione di aree con determinati valori di amplificazione ottenuti con metodi semplificati, riferendosi quindi agli abachi forniti dagli Allegati della DAL 112/2007. In questo studio di MS sono state recepite e confermate le aree in cui è stato sufficiente

un livello di dettaglio di secondo livello, aggiornando però i valori di amplificazione ai nuovi abachi proposti dal DGR n. 2193/2015.

Per l'utilizzo di questi abachi è prevista una serie di dati da determinare in fase di acquisizione che comprendono, lo spessore di copertura, i parametri VS30 e VsH, il tipo di substrato geologico e il contesto geo-morfologico di riferimento.

Il documento più recente (2015) integra i fattori di amplificazione dell'intensità di Housner, con un nuovo intervallo di periodo da 0,5 a 1,5s che nella precedente classificazione non era presente. In altre aree sono state però verificate zone alla quale era necessario effettuare uno studio più dettagliato con approfondimenti di 3° livello.

Per queste aree quindi si sono effettuate analisi di risposta sismica locale con metodi numerici in modo da valutarne l'effettivo grado di pericolosità sismica in termini di diversi fattori di amplificazione:

- FA_{PGA}
- $FA_{SI} (0,1s \leq T \leq 0,5s)$
- $FA_{SI} (0,5s \leq T \leq 1,0s)$
- $FA_{SI} (0,5s \leq T \leq 1,5s)$

Sono state quindi costruite 4 differenti carte per avere una migliore comprensione dei valori ottenuti.

Nella carta FA_{PGA} inoltre è rappresentata l'ubicazione delle prove statiche in cui sono state effettuate le analisi del potenziale di liquefazione (nullo lungo ogni verticale indagata), e le aree soggette ad amplificazione di carattere topografico.

Nella carta $FA_{SI} (0,5s \leq T \leq 1,5s)$ sono presenti aree con valore "0" perché, essendo state limitate a studi di secondo livello alle quali è stato attribuito un valore proposto dalle tabelle, per le aree appenniniche non è presente il fattore di amplificazione per quel determinato periodo.

Per il tipo di rappresentazione è stata scelta quella proposta dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.0b".

La scala di rappresentazione delle Carte di Microzonazione sismica è 1:5.000.

8.4.1. Zone suscettibili di instabilità

Rappresentano aree in cui sono stati effettuati specifici metodi di calcolo, anche semplificati, ed è quindi stato possibile definire la pericolosità in termini quantitativi. Il parametro utilizzato è rappresentato dal massimo movimento (FRT, in centimetri) di una frana in terra.

Di seguito sono elencate le aree in cui sono stati eseguite queste indagini. La descrizione completa delle aree è ampiamente descritta nel capitolo 8.3.2.

- Zona 30252010: (Savigno) Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo di Newmark, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area suscettibile di instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.
- Zona 30242011: (Savigno) Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo di Newmark, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area suscettibile di instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.
- Zona 30452012: (Savigno) Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo di Newmark, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area suscettibile di instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.
- Zona 30452013: (Savigno) Non sono state effettuate indagini con il metodo di Newmark in quanto occupa una porzione di territorio poco influente ma è stata riconosciuta come area suscettibile di

instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.

- Zona 30252013: (Savigno) Non sono state effettuate indagini con il metodo di Newmark in quanto occupa una porzione di territorio poco influente ma è stata riconosciuta come area suscettibile di instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.
- Zona 30452014: (Località: Villa – Savigno) Non sono state effettuate indagini con il metodo di Newmark in quanto sono state realizzate sull'area limitrofa (Zona 30242014) considerata più gravosa da un punto di vista morfologico-stratigrafico. È stata comunque riconosciuta come area suscettibile di instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.
- Zona 30132014: (Località: Villa – Savigno) Non sono state effettuate indagini con il metodo di Newmark in quanto occupa una porzione di territorio poco influente ma è stata riconosciuta come area suscettibile di instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.
- Zona 30242014: (Località: Villa – Savigno) Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo di Newmark, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area suscettibile di instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.
- Zona 30232015: (Località: Vedegheto – Savigno) Non sono state effettuate indagini con il metodo di Newmark in quanto sono state realizzate sull'area limitrofa (Zona 30242015) considerata più gravosa da un punto di vista morfologico-stratigrafico. È stata comunque riconosciuta come area suscettibile di instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.
- Zona 30242015: (Località: Vedegheto – Savigno) Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo di Newmark, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area suscettibile di instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.

8.5 Carta delle frequenze naturali dei terreni

In questo elaborato sono riportati tutti i punti di misura realizzati, ex-novo e pregressi, con la tecnica sismica passiva a stazione sismica che misura i microtrempi ambientali. La prova è denominata HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) perché misura i rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

I valori indicati per ogni punto si riferiscono alla frequenza di risonanza fondamentale (F_0), la quale corrisponde al valore di picco alla più bassa frequenza. In alcuni casi sono indicati fino a tre frequenze di risonanza corrispondenti ad ulteriori amplificazioni del segnale passivo registrato.

Per la rappresentazione di queste informazioni geofisiche è stata considerata la proposta del DGR 2193/2015 che aggiorna l'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" – DAL 112/2007. Essa prevede una classificazione in termini di classi di frequenza:

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| – $F_0 \leq 0,6$ Hz | spessori attesi maggiori di 200 m |
| – $0,6 \text{ Hz} \leq F_0 \leq 1$ Hz | spessori compresi tra 200 e 100 m |
| – $1 \text{ Hz} \leq F_0 \leq 2$ Hz | spessori compresi tra 100 e 30 m |
| – $2 \text{ Hz} \leq F_0 \leq 8$ Hz | spessori compresi tra 30 e 10 m |
| – $F_0 > 8$ Hz | spessori inferiori a 10 m |

- Nessun massimo relativo significativo

Gli spessori sono stimati attraverso la relazione fra la frequenza di risonanza fondamentale dello strato la velocità media delle onde S all'interno del deposito indagato:

$$F_0 = \frac{V_s}{4h}$$

Questa relazione è però valida solo nei “casi semplici” ovvero quando le coperture alluvionali mantengono un certo spessore e stanno al di sopra di un basamento sismico rigido, quindi risulta approssimativa ma utile per una prima stima della potenza dei depositi indagati.

Per una maggiore leggibilità delle caratteristiche acquisite attraverso le registrazioni tomografiche, la carta permette di distinguere i punti in base anche al rapporto spettrale H/V riferito all'entità del contrasto di impedenza tra le unità geologiche.

Rapporto H / V

- H/V < 1,5 ASSENZA di significativi contrasti di impedenza
- 1,5 ≤ H/V < 2 BASSI contrasti di impedenza
- 2 ≤ H/V < 3 MODERATI contrasti di impedenza
- H/V ≥ 3 ELEVATI contrasti di impedenza

Fig. 60 Simbologia utilizzata per rappresentare il rapporto spettrale H/V. Estratto della legenda della carta delle frequenze

In carta sono presenti le diverse aree di analisi e si possono fare diverse considerazioni in base ai valori osservati. In località Pedretta per esempio i valori sono costanti a circa 0,8 Hz indicando uno spessore dei depositi intorno ai 100 m. La possibilità di risonanza a basse frequenze risulta pericolosa per edifici e manufatti molto elevati, oltre i 10 piani. Nell'abitato di Savigno invece c'è un ampio range di frequenze, in particolare quelle elevate, il che indica condizioni stratigrafiche complesse e possibile fenomeno di risonanza per edifici più bassi.

La scala di rappresentazione della Carta delle frequenze naturali del terreno è 1:5.000.

8.6 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

In questa carta sono indicate le velocità delle onde di taglio (Vs) ottenute con prove pregresse e quelle realizzate per il nostro livello di dettaglio. All'interno di ogni etichetta è indicata la tipologia utilizzata per determinare il valore Vs, l'eventuale profondità del bedrock e l'effettiva velocità in metri/secondo dello strato analizzato che poggia sul substrato.

La scala di rappresentazione della Carta delle velocità delle onde di taglio S è 1:5.000.

8.7 Carta delle sezioni

La carta è stata elaborata con lo scopo di avere un modello del sottosuolo dettagliato e completo, così da poter fare considerazioni in termini di stabilità e amplificazione sismica. Nelle aree instabili infatti sono state tracciate sezioni sia longitudinalmente che trasversalmente al corpo di frana per classificare il

corpo da un punto di vista cinematico definendo i fenomeni che lo hanno messo in moto (vedi capitolo 8.3.2).

In legenda sono elencate le formazioni e le coperture quaternarie presenti nelle zone in esame; per la loro rappresentazione si sono adottati i tematismi della carta geologica alla scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna.

La stratigrafia delle sezioni è stata desunta dai risultati delle prove geofisiche (sismica a rifrazione e HVSR) e dai sondaggi geognostici effettuati in sito.

Le scale di rappresentazione sono differenti in base ad esigenze cartografiche: le sezioni sono in scala 1:2.000 mentre le aree in pianta sono alla scala 1:5.000.

9 Commenti finali e criticità

Le analisi di terzo livello condotte sul territorio del Comune di Valsamoggia hanno evidenziato che i valori di amplificazione stratigrafica calcolati attraverso le analisi 1D sono di norma paragonabili, se non inferiori, a quelli valutati attraverso l'applicazione degli abachi proposti dalla Regione Emilia Romagna nei contesti di riferimento. Il loro valore rimane comunque mediamente elevato a causa dell'entità delle coperture detritiche e per la presenza, soprattutto nel settore appenninico, di consistenti spessori dello strato di alterazione della formazione di substrato.

Le analisi eseguite sulle potenziali instabilità per liquefazione hanno evidenziato, soprattutto a causa delle caratteristiche granulometriche dei depositi, che il rischio liquefazione è sostanzialmente nullo.

Le verifiche eseguite attraverso l'applicazione del metodo degli spostamenti, lungo lo sviluppo dei fenomeni franosi quiescenti, hanno evidenziato valori di spostamento nulli, dal momento che i valori delle accelerazioni critiche risultano sempre maggiori in valore assoluto degli accelerogrammi di riferimento.

10 Bibliografia

- A.G.I. (1977) – Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- A.G.I. (2005) – Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida. Patron Editore, Bologna
- Andrus R. D., Stokoe K. H. (2000) - Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity, *J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, ASCE 126 (11), 1015–1025.
- Boulanger, R. W., and Idriss, I. M. (2014). “CPT and SPT based liquefaction triggering procedures.” Report No. UCD/CGM-14/01, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California Davis, California.
- Idriss, I. M., and Boulanger, R. W. (2008). “Soil liquefaction during earthquakes.” MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- Marchetti S. (2015) – Incorporating the Stress History Parameter KD of DMT into the Liquefaction Correlations in Clean Uncemented Sands, *J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, ASCE 04015072
- Matasovic N. (1993) – Seismic response of composite horizontally-layered soil deposits. University of California, Los Angeles, Ph.D. Thesis
- Matsui T., Ohara S., Ito T. (1980) – Cyclic stress-strain history and shear characteristics of clay. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 106, No. 10, pp. 1101-1120
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2008) – Le Norme Tecniche per le Costruzioni. D.M. 14 gennaio 2008, G.U. 29, Suppl. ord. n. 30
- Pradel D. (1998) - Procedure to Evaluate Earthquake-Induced Settlements in Dry Sandy Soils *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* , ASCE, Vol. 124 (4)
- Seed H.B., Idriss I.M., Makdisi F., Banerjee N. (1975) – Representation of irregular stress time histories by equivalent uniform stress series in liquefaction analyses. EERC 75-29, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley
- Sonmez H. (2003) – Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). *Environ. Geology* 44(7): 8
- Tatsuoka, F., Zhou, S., Sato, T., Shibuya, S. (1990). “Method of evaluating liquefaction potential and its application.” In Report on seismic hazards on the ground in urban areas, Ministry of Education of Japan, Tokyo. (in Japanese.)
- Wu J., Seed R.B. (2004) – Estimating of liquefaction-induced ground settlement (case studies). Proc. 5th Int. Conf. on Case Histories in Geotechnical Engineering, Paper 3.09, New York
- Yasuhara K., Andersen K.H. (1991) – Recompression of normally consolidated clay after cyclic loading. *Soils and Foundations*, vol. 31, No 1, pp. 83-94
- Zhang G., Robertson P., Brachman R. (2002) – Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground: *Canadian Geotech. Journal*, 39, pp. 1168–1180.
- AGI (2005) – Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee Guida AGI. Associazione Geotecnica Italiana. Edizione provvisoria. Patron, Bologna.
- Albarello D., Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica*. Patron, Bologna.
- Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. +5 appendici.

- AA.VV., (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica* Anno XXVIII - n.2.
- Albarello D., (2013) – La Risposta Sismica Locale. Seminario ODG – Vicenza, 8 Novembre 2013. Università degli Studi di Siena.
- Bardet J.P., Ichii K. e Lin C.H. (2000) – EERA: a computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of layered soil deposits. University of Southern California, Los Angeles.
- Boccaletti, M., Corti G., Martelli L., 2010 – Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines. *Int. Journ. Earth Sciences (Geol. Rundsch.)*, DOI 10.1007/s00531-010-0545-y
- Crespellani T., Ghinelli A., Madaia C., Vannucchi G. – Analisi di stabilità in pendii naturali in condizioni sismiche.
- Gruppo di lavoro MS (2008) – Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- Boccaletti M., Martelli L. – AA.VV. (2004) – Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna. S.E.L.C.A. Firenze
- INGV - DISS Working Group (2010) - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.
- Locati, R. Camassi e M. Stucchi , (2011) - DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11.
- Meletti, Valensise (2004) – Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2009) alla scala 1:50.000, foglio 220 Casalecchio di Reno. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di L.Martelli, A.Bernini, M.T.De Nardo.
- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2009) alla scala 1:50.000, foglio 237 Sasso Marconi. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di F. Panini, G. Bettelli, M. Pizzolo.
- NTC, (2008) - Norme Tecniche per le Costruzioni - DM 14 gennaio 2008. Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, www.cslp.it, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- OPCM 3274/2003. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003: “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”. G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord. N. 72.

11 Allegati

Legenda

-  Prova pentetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
-  Prova pentetrometrica statica con punta elettrica
-  Prova pentetrometrica statica con piezocono
-  Prova pentetrometrica dinamica leggera
-  Prova pentetrometrica dinamica pesante
-  Stazione microtremore a stazione singola
-  Pozzo per acqua
-  Sondaggio a carotaggio continuo
-  Sondaggio a distruzione di nucleo
-  Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato
-  Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
-  Sondaggio con inclinometro
-  Prova sismica in foro tipo Downhole

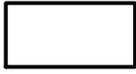
 **RM** Prova REfractionMicrotremors

 **MW** MASW

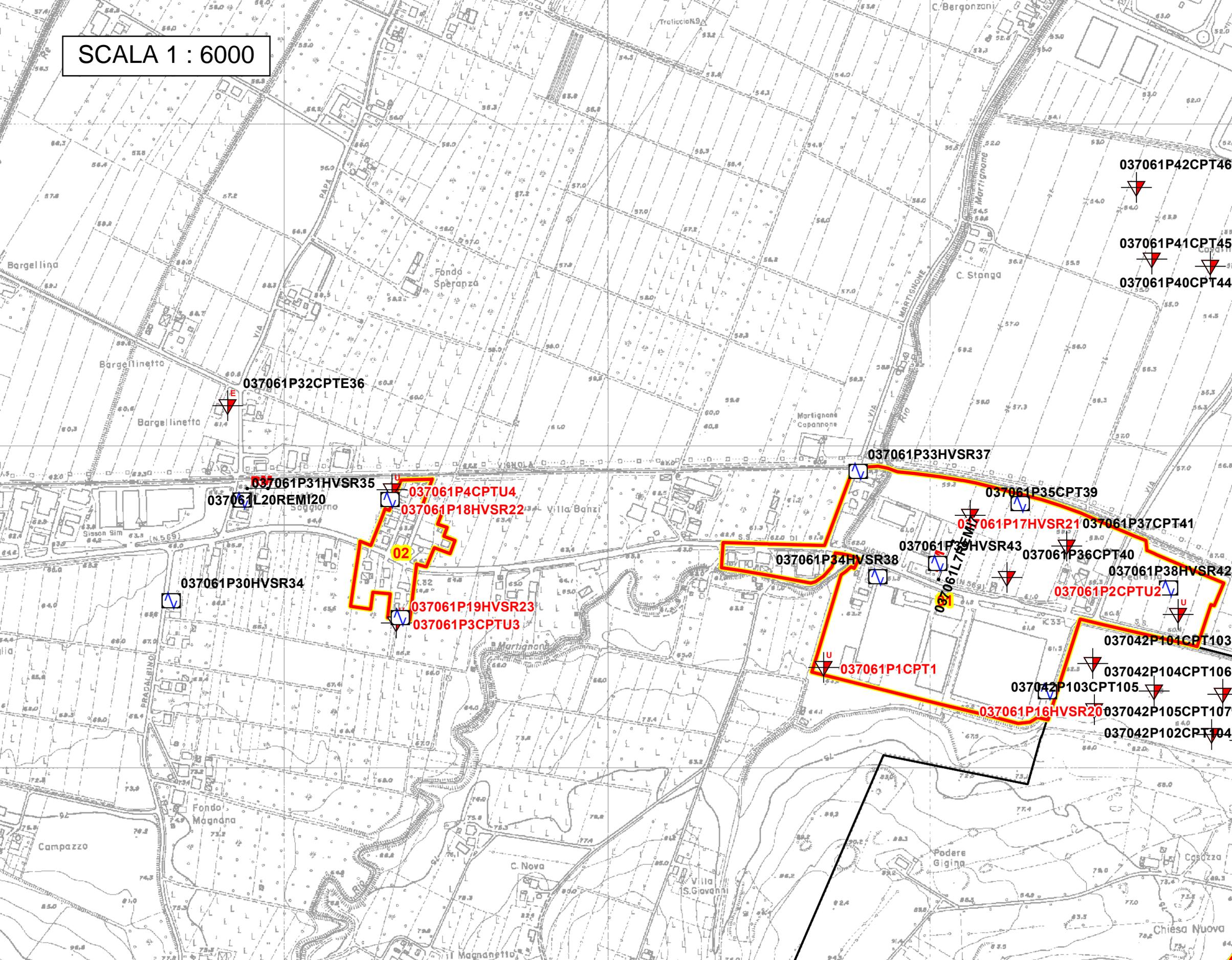
 **SR** Profilo sismico a rifrazione

N.B. - I codici in rosso rappresentano l'identificativo delle prove realizzate ex-novo

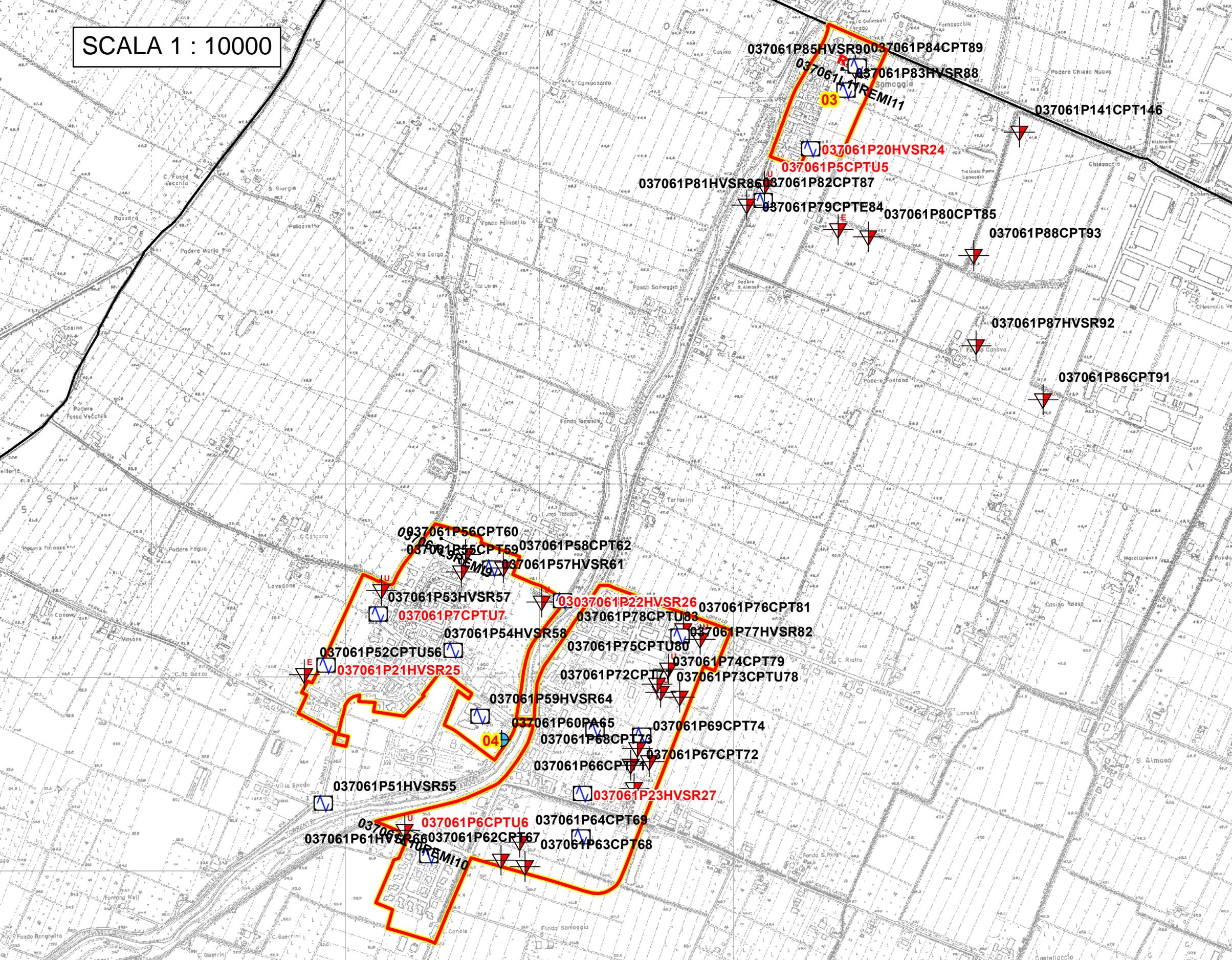
 Area oggetto di approfondimento di 3° livello

 Limite del territorio comunale

SCALA 1 : 6000



SCALA 1 : 10000



037061P85HVS... 037061P84CPT89

037061P83HVS...
TIREMI11

037061P141CPT146

037061P20HVS...
037061P5CPTU5

037061P81HVS... 037061P82CPT87

037061P79CPT... 037061P80CPT85

037061P88CPT93

037061P87HVS...
037061P86CPT91

037061P56CPT60

037061P55CPT59 037061P58CPT62

037061P57HVS...
TIREMI10

037061P53HVS...
037061P7CPTU7

03037061P22HVS... 037061P76CPT81

037061P54HVS... 037061P78CPTU83

037061P52CPTU56

037061P75CPTU80 037061P77HVS...
037061P74CPT79

037061P21HVS...
037061P72CPT... 037061P73CPTU78

037061P59HVS...
037061P60PA65

037061P69CPT74

037061P68CPT73

037061P66CPT71 037061P67CPT72

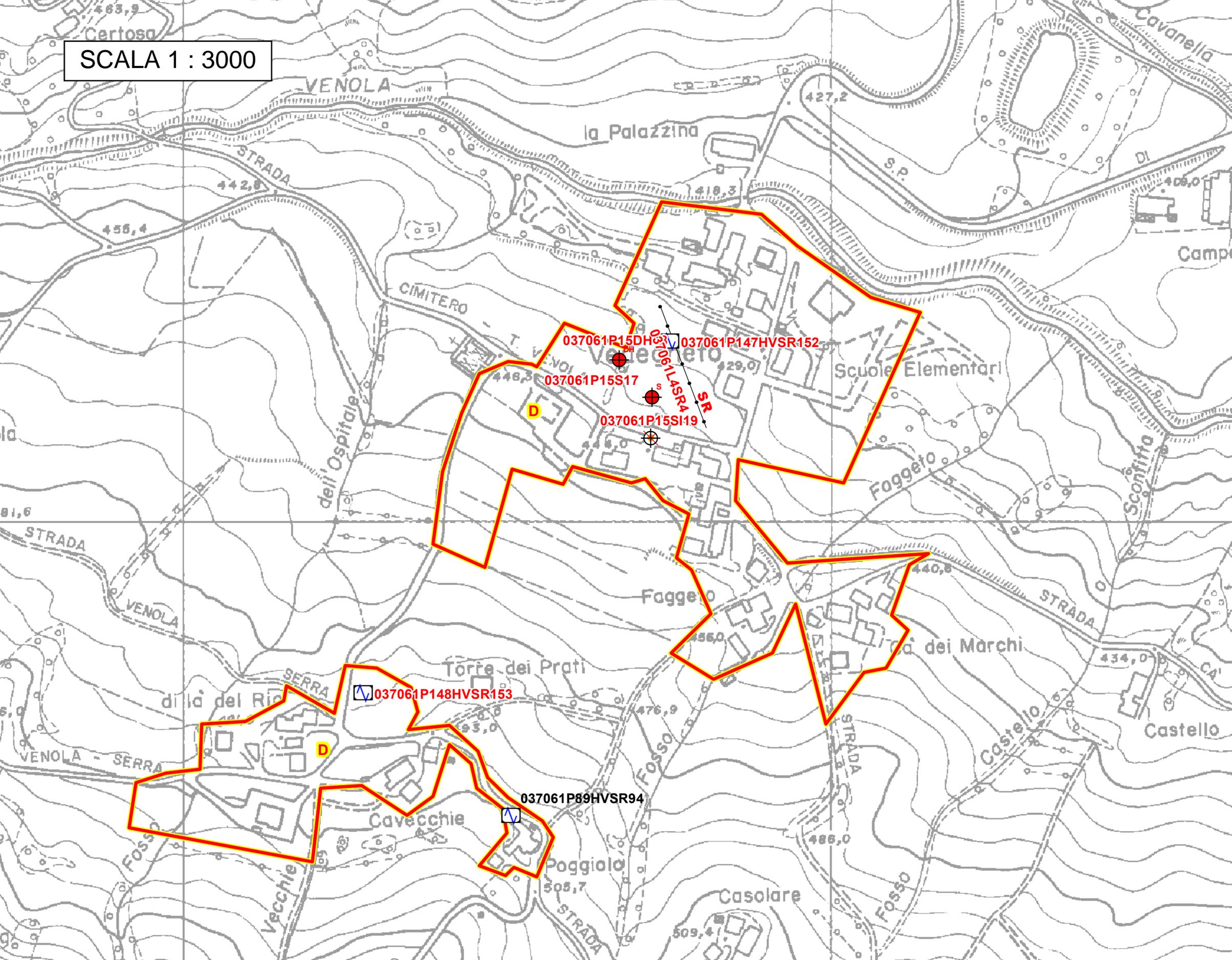
037061P51HVS...
037061P23HVS...
TIREMI10

037061P64CPT69

037061P61HVS...
037061P62CPT67

037061P63CPT68

SCALA 1 : 3000



LIQUEFAZIONE

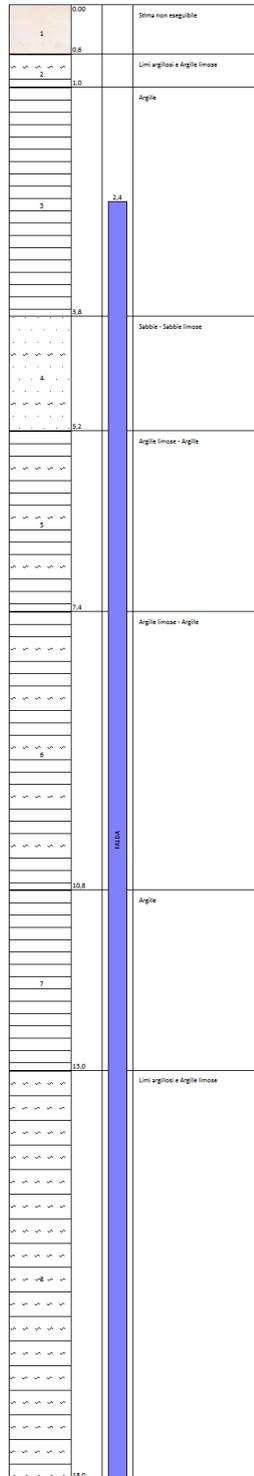
037061P1CPTU1

AIT Ambiente Risorse Territorio S.r.l.
 Strada Piero Del Prato, 15/A
 43121 Pienza
 info@aitambiente.it

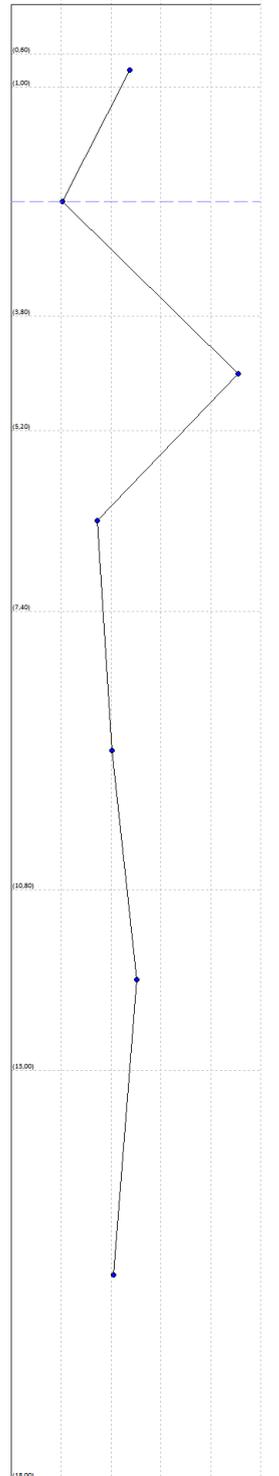
0089

175

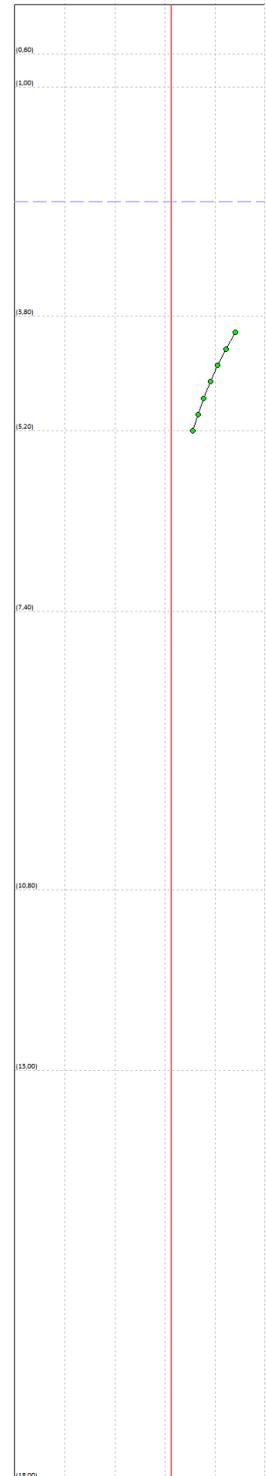
Colonna stratigrafica



Q_c (kPa)



Fattore di sicurezza fs

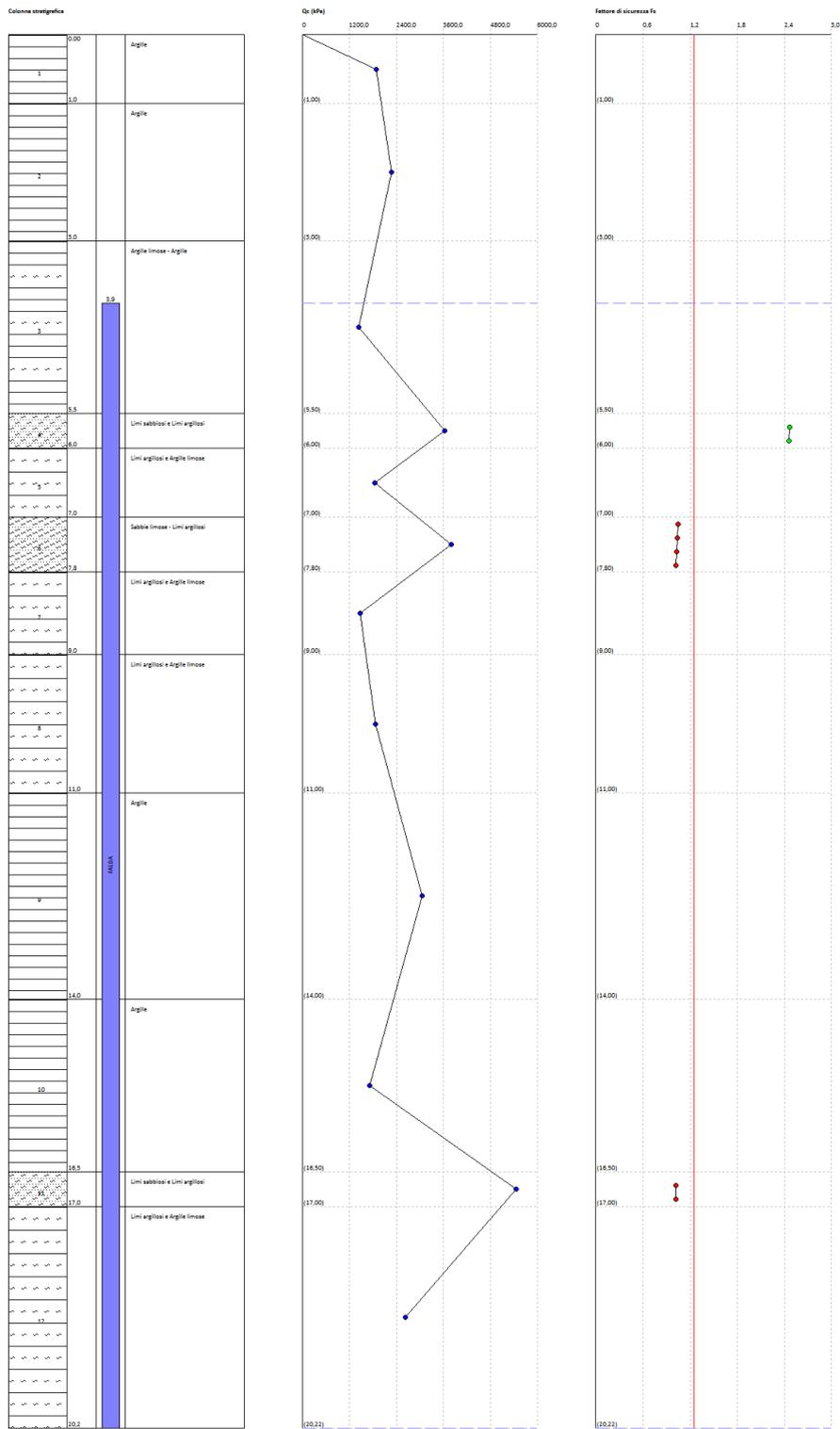


037061P2CPTU2

MTT Ambiente Risorse Territoriali S.r.l.
 Strada Piero Del Prato, 15/A
 43121 Parma
 mttambiente.it

0089

134

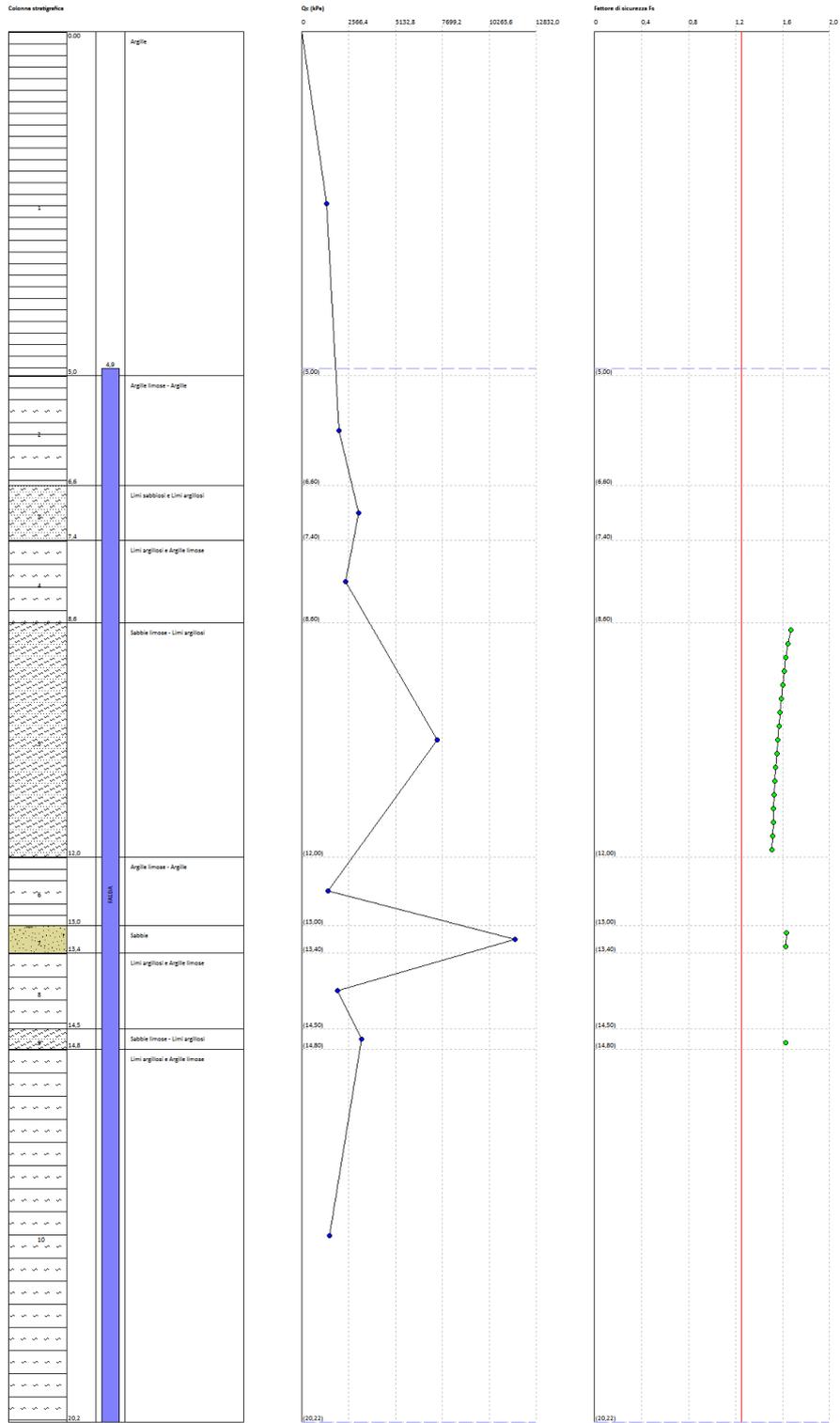


037061P3CPTU3

AIT Ambiente Risorse Territorio S.r.l.
 Strada Piero Del Prato, 15/A
 43121 Parma
 info@aitambiente.it

0089

134

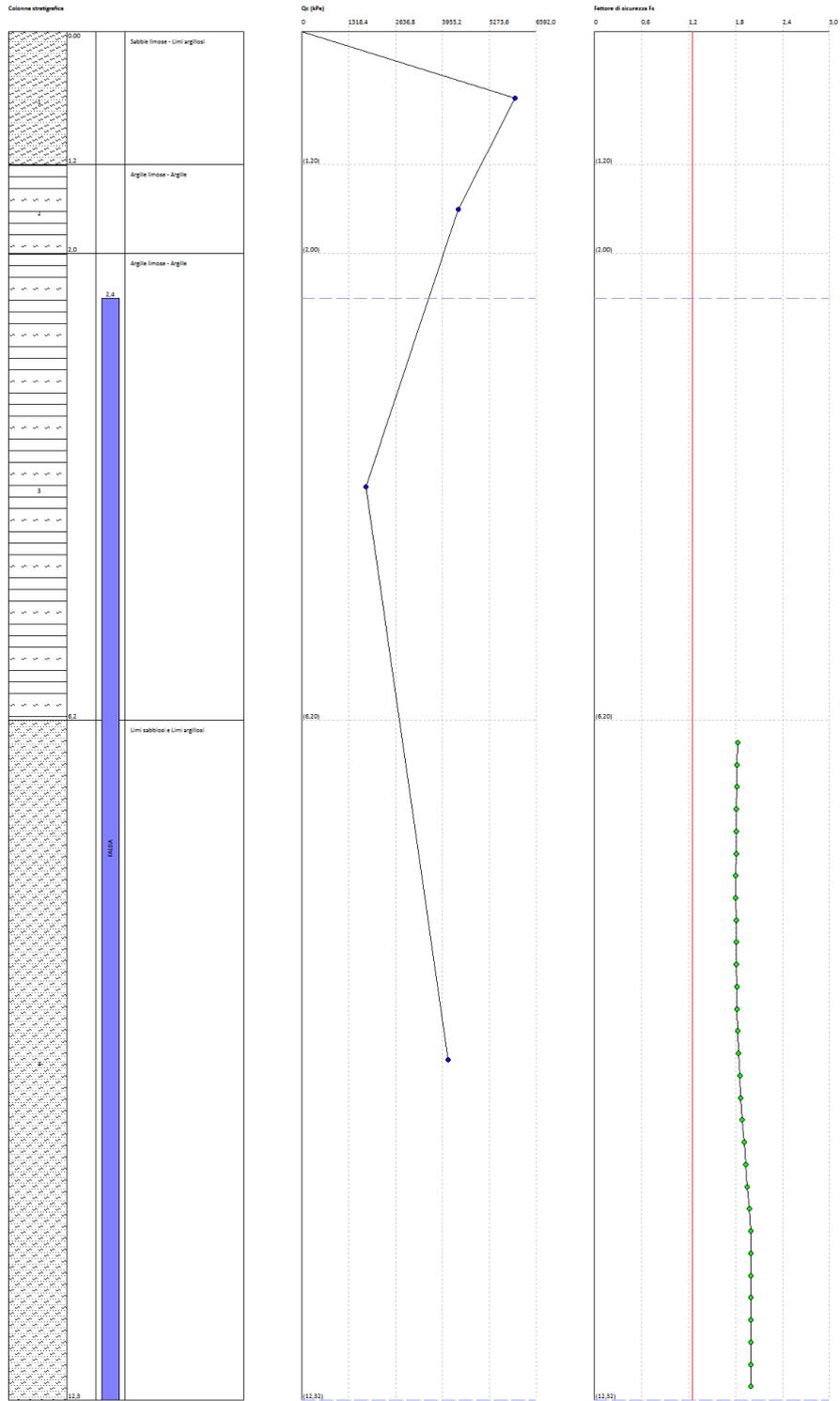


037061P4CPTU4

AIT Ambiente Risorse Territorie S.r.l.
 Strada Piero Del Prato, 15/A
 43121 Parma
 www.aitambiente.it

0089

152

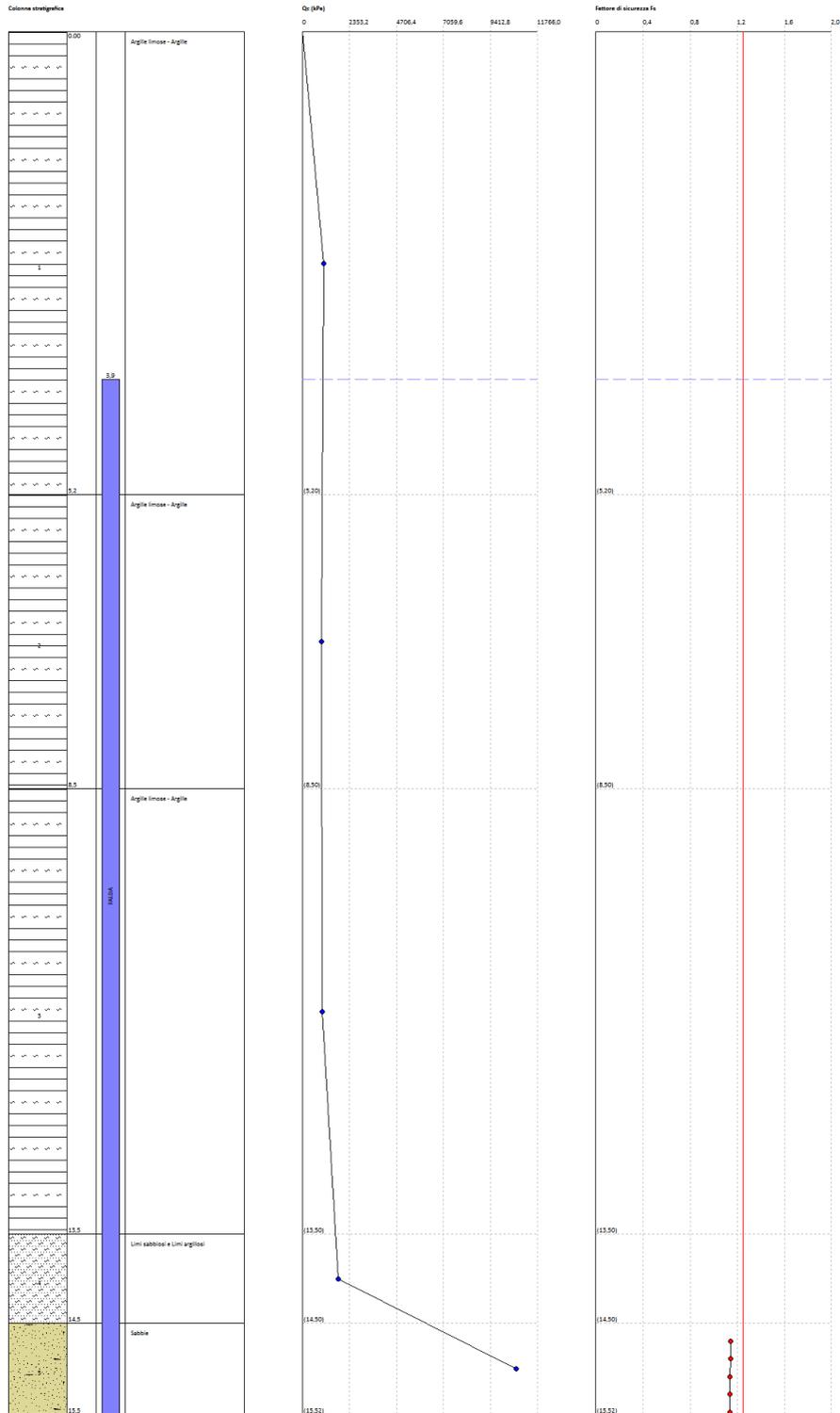


037061P5CPTU5

AIT Ambiente Risorse Territorie S.r.l.
 Strada Piero Del Prato, 15/A
 43121 Parma
 www.aitambiente.it

0089

1/5

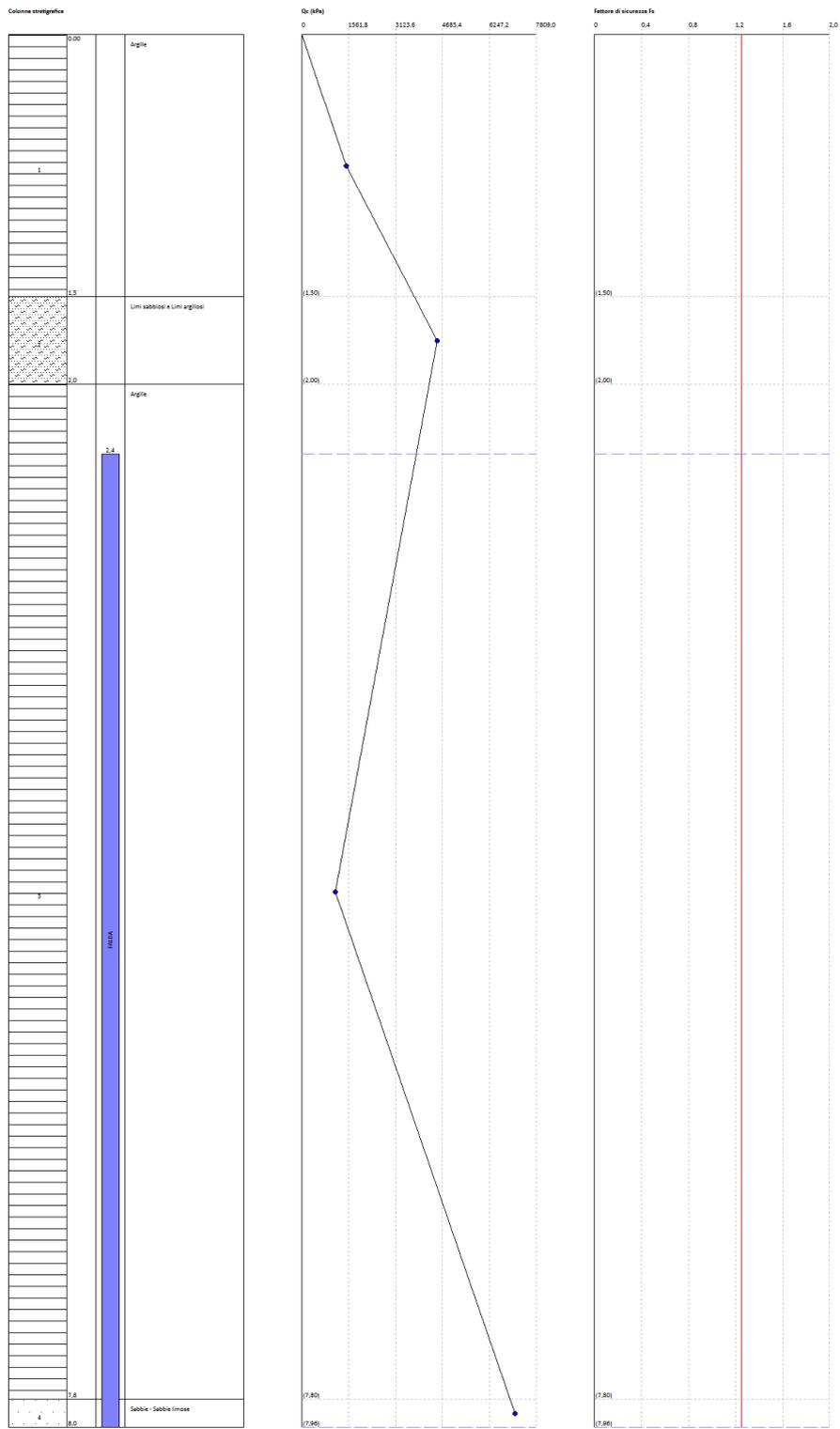


037061P6CPTU6

MTT Ambiente Ricerca Territoriale S.r.l.
 Strada Piero Del Prato, 15/A
 43121 Parma
 mttambiente.it

0089

133

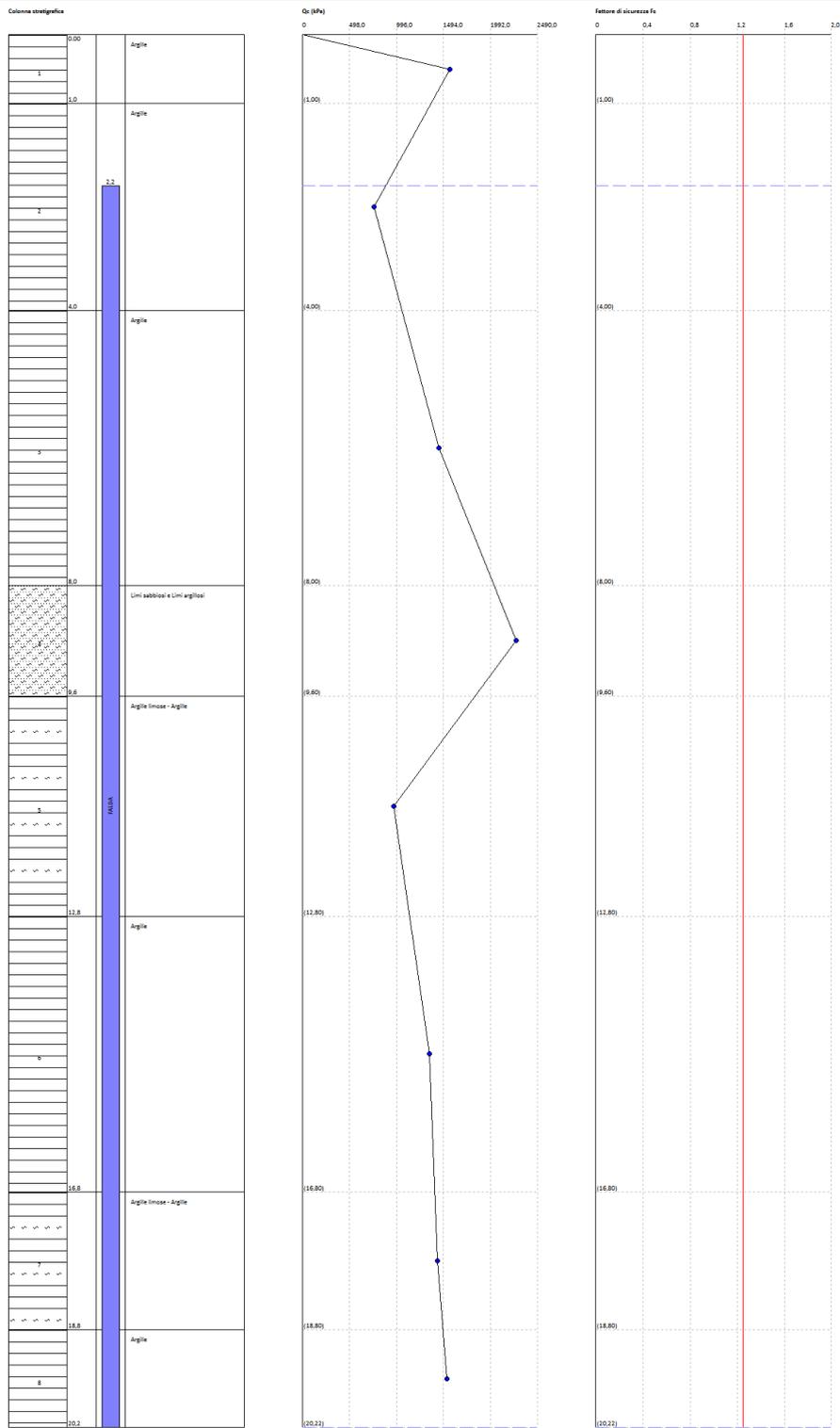


037061P7CPTU7

SET Ambiente Risorse Territorio S.r.l.
 Strada Pietro Del Prato, 15/A
 41121 Parma
 www.setambiente.it

0689

184

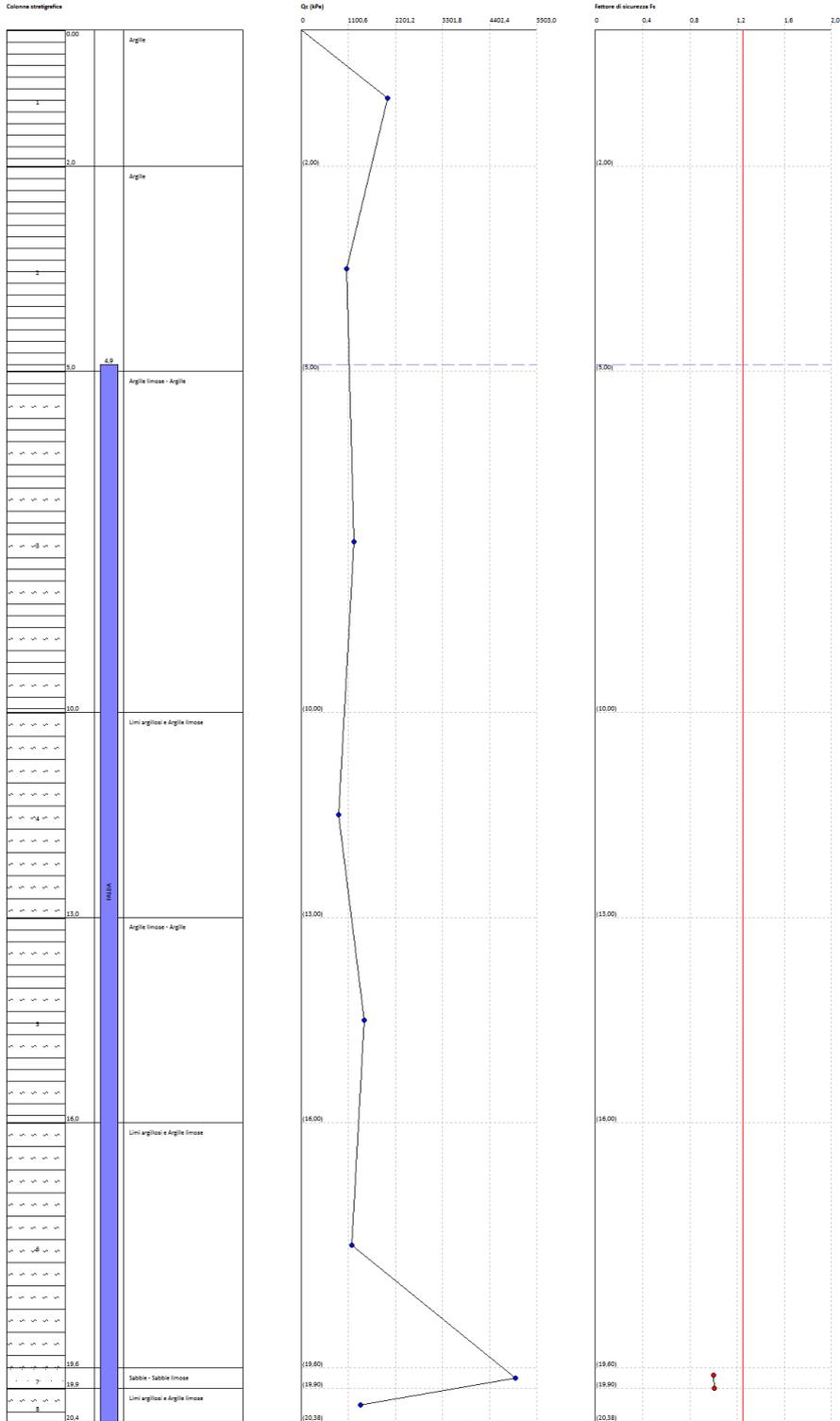


037061P8CPTU8

MTT Ambiente Risorse Territorie S.r.l.
 Strada Piero Del Prato, 15/A
 43121 Parma
 mttambiente.it

0089

185



037061P1CPTU1

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento I _c	Correzione per la pressione litostatica efficace C _Q	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza F _s	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
4	65,988	50,297	87,534	0,993	1,953	1,410027	106,668	0,969	0,193	0,109	1,766	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4,2	70,302	52,65	85,556	0,994	1,961	1,378163	104,959	0,968	0,188	0,111	1,69	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4,4	74,616	55,003	83,707	0,995	1,969	1,348367	103,362	0,966	0,183	0,113	1,623	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4,6	78,93	57,355	81,972	0,995	1,976	1,320423	101,867	0,965	0,178	0,114	1,564	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4,8	83,244	59,708	80,341	0,996	1,983	1,294147	100,463	0,963	0,174	0,115	1,512	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5	87,558	62,061	78,803	0,997	1,99	1,26938	99,142	0,962	0,171	0,116	1,465	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5,2	91,872	64,413	77,351	0,997	1,997	1,245983	97,895	0,96	0,167	0,118	1,422	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

037061P2CPTU2

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento I _c	Correzione per la pressione litostatica efficace C _Q	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza F _s	Spessore dz	W(z)	F(z)	Indice di liquefazione	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
5,7	110,719	93,067	37,628	2,586	2,501	1,036578	120,138	0,956	0,241	0,098	2,47	-	-	-	-	Non Suscettibile	Molto basso
5,9	114,939	95,326	37,179	2,589	2,505	1,024224	120,682	0,955	0,243	0,099	2,463	-	-	-	-	Non Suscettibile	Molto basso
7,1	139,106	107,725	36,554	1,149	2,297	0,9634791	68,308	0,946	0,11	0,105	1,046	0,2	6,45	0,008515	0,010984	Suscettibile	Basso
7,3	143,34	109,997	36,175	1,15	2,301	0,9534739	68,108	0,944	0,109	0,106	1,035	0,2	6,35	0,010428	0,013243	Suscettibile	Basso
7,5	147,574	112,27	35,807	1,152	2,305	0,943774	67,919	0,943	0,109	0,106	1,026	0,2	6,25	0,012309	0,015386	Suscettibile	Basso
7,7	151,808	114,543	35,45	1,153	2,309	0,9343643	67,74	0,941	0,109	0,107	1,017	0,2	6,15	0,014529	0,017871	Suscettibile	Basso
16,7	333,23	207,705	24,654	2,5	2,634	0,9343643	67,74	0,941	0,109	0,107	1,017	0,2	1,65	0,014529	0,004795	Suscettibile	Basso
16,9	337,582	210,096	24,353	2,502	2,638	0,9343643	67,74	0,941	0,109	0,107	1,017	0,2	1,55	0,014529	0,004504	Suscettibile	Basso

Totale potenziale di liquefazione: 0,067
037061P3CPTU3

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento I _c	Correzione per la pressione litostatica efficace C _Q	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza F _s	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
8,7	169,092	131,827	64,46	1,535	2,176	0,8709601	99,54	0,933	0,172	0,103	1,67	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8,9	173,55	134,323	63,858	1,536	2,179	0,8628279	99,05	0,932	0,17	0,103	1,648	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9,1	178,008	136,82	63,273	1,537	2,183	0,8549192	98,576	0,93	0,169	0,104	1,627	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

9,3	182,466	139,317	62,703	1,538	2,186	0,8472242	98,116	0,926	0,168	0,104	1,612	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9,5	186,924	141,813	62,149	1,539	2,189	0,8397332	97,67	0,92	0,167	0,104	1,6	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9,7	191,382	144,31	61,609	1,54	2,192	0,8324376	97,239	0,915	0,166	0,104	1,589	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9,9	195,84	146,807	61,083	1,541	2,195	0,8253288	96,82	0,91	0,164	0,104	1,578	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10,1	200,298	149,303	60,57	1,542	2,198	0,8183991	96,413	0,904	0,163	0,104	1,568	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10,3	204,756	151,8	60,07	1,542	2,201	0,811641	96,019	0,899	0,162	0,104	1,559	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10,5	209,214	154,297	59,582	1,543	2,204	0,8050476	95,636	0,894	0,161	0,104	1,551	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10,7	213,672	156,793	59,105	1,544	2,207	0,7986125	95,264	0,888	0,16	0,104	1,543	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10,9	218,13	159,29	58,64	1,545	2,209	0,7923291	94,903	0,883	0,159	0,104	1,536	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11,1	222,588	161,787	58,186	1,546	2,212	0,7861918	94,552	0,878	0,159	0,104	1,53	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11,3	227,046	164,283	57,742	1,547	2,215	0,7801949	94,211	0,872	0,158	0,104	1,524	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11,5	231,504	166,78	57,308	1,548	2,218	0,7743332	93,88	0,867	0,157	0,103	1,519	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11,7	235,962	169,277	56,884	1,549	2,22	0,7686017	93,557	0,862	0,156	0,103	1,514	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11,9	240,42	171,774	56,469	1,55	2,223	0,7629955	93,243	0,856	0,155	0,103	1,51	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
13,1	264,226	183,812	86,04	0,667	1,857	0,7375877	97,411	0,824	0,166	0,102	1,631	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
13,3	268,54	186,164	85,494	0,667	1,859	0,7329122	96,953	0,819	0,165	0,101	1,624	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
14,7	296,818	200,713	14,888	1,472	2,684	0,7329122	96,953	0,819	0,165	0,101	1,624	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

037061P4CPTU4

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
6,4	129,608	90,381	43,253	2,461	2,441	1,051866	113,024	0,951	0,214	0,117	1,83	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6,6	133,87	92,682	42,713	2,463	2,446	1,038729	113,09	0,95	0,215	0,118	1,822	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6,8	138,132	94,983	42,192	2,466	2,45	1,026072	113,183	0,948	0,215	0,118	1,815	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7	142,394	97,283	41,69	2,469	2,454	1,013866	113,302	0,946	0,215	0,119	1,81	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,2	146,656	99,584	41,206	2,471	2,458	1,002086	113,448	0,945	0,216	0,119	1,806	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,4	150,918	101,885	40,738	2,474	2,462	0,9907074	113,618	0,943	0,216	0,12	1,804	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,6	155,18	104,185	40,286	2,477	2,466	0,9797078	113,813	0,942	0,217	0,12	1,803	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,8	159,442	106,486	39,848	2,479	2,47	0,9690664	114,032	0,94	0,218	0,121	1,803	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8	163,704	108,787	39,424	2,482	2,474	0,9587646	114,273	0,939	0,219	0,121	1,804	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8,2	167,966	111,087	39,014	2,485	2,478	0,9487845	114,538	0,937	0,22	0,122	1,806	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8,4	172,228	113,388	38,616	2,487	2,481	0,9391096	114,824	0,936	0,221	0,122	1,809	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8,6	176,49	115,689	38,23	2,49	2,485	0,9297248	115,132	0,934	0,222	0,122	1,814	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8,8	180,752	117,989	37,856	2,493	2,489	0,9206158	115,462	0,933	0,223	0,123	1,819	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9	185,014	120,29	37,492	2,496	2,492	0,9117695	115,813	0,931	0,224	0,123	1,825	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9,2	189,276	122,591	37,138	2,498	2,495	0,9031734	116,185	0,928	0,226	0,123	1,835	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9,4	193,538	124,891	36,795	2,501	2,499	0,8948158	116,578	0,923	0,227	0,123	1,851	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9,6	197,8	127,192	36,461	2,504	2,502	0,8866861	116,992	0,918	0,229	0,123	1,868	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9,8	202,062	129,493	36,135	2,506	2,505	0,878774	117,426	0,912	0,231	0,122	1,886	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

10	206,324	131,794	35,818	2,509	2,509	0,87107	117,88	0,907	0,232	0,122	1,906	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10,2	210,586	134,094	35,51	2,512	2,512	0,8635651	118,355	0,902	0,234	0,122	1,926	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10,4	214,848	136,395	35,209	2,515	2,515	0,856251	118,851	0,896	0,236	0,121	1,948	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10,6	219,11	138,696	34,916	2,517	2,518	0,8491196	119,366	0,891	0,238	0,121	1,971	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10,8	223,372	140,996	34,63	2,52	2,521	0,8421635	119,902	0,886	0,24	0,12	1,995	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11	227,634	143,297	27,107	2,523	2,604	0,8421635	119,902	0,886	0,24	0,12	1,995	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11,2	231,896	145,598	26,65	2,526	2,61	0,8421635	119,902	0,886	0,24	0,12	1,995	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11,4	236,158	147,898	26,206	2,528	2,616	0,8421635	119,902	0,886	0,24	0,12	1,995	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11,6	240,42	150,199	25,776	2,531	2,622	0,8421635	119,902	0,886	0,24	0,12	1,995	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11,8	244,682	152,5	25,36	2,534	2,628	0,8421635	119,902	0,886	0,24	0,12	1,995	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
12	248,944	154,8	24,955	2,537	2,633	0,8421635	119,902	0,886	0,24	0,12	1,995	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
12,2	253,206	157,101	24,563	2,54	2,639	0,8421635	119,902	0,886	0,24	0,12	1,995	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

037061P5CPTU5

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Spessore dz	W(z)	F(z)	Indice di liquefazione	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
13,7	255,858	159,753	9,716	1,675	2,872	0,7462876	0	0	0	0	0	-	-	-	-	Non Suscettibile	Molto basso
13,9	259,828	161,762	9,571	1,679	2,878	0,7462876	0	0	0	0	0	-	-	-	-	Non Suscettibile	Molto basso
14,1	263,798	163,77	9,429	1,684	2,884	0,7462876	0	0	0	0	0	-	-	-	-	Non Suscettibile	Molto basso
14,3	267,768	165,779	9,291	1,688	2,89	0,7462876	0	0	0	0	0	-	-	-	-	Non Suscettibile	Molto basso
14,5	271,738	167,788	9,156	1,692	2,897	0,7462876	0	0	0	0	0	-	-	-	-	Non Suscettibile	Molto basso
14,7	276,052	170,14	82,001	0,326	1,72	0,7666489	85,436	0,782	0,138	0,121	1,142	0,2	2,65	0,001452	0,000769	Suscettibile	Basso
14,9	280,366	172,493	81,44	0,326	1,723	0,7614027	84,979	0,776	0,137	0,12	1,141	0,2	2,55	0,001479	0,000754	Suscettibile	Basso
15,1	284,68	174,846	80,89	0,327	1,726	0,7562627	84,53	0,771	0,136	0,12	1,139	0,2	2,45	0,001534	0,000752	Suscettibile	Basso
15,3	288,994	177,198	80,351	0,327	1,729	0,7512255	84,09	0,765	0,135	0,119	1,138	0,2	2,35	0,001563	0,000735	Suscettibile	Basso
15,5	293,308	179,551	79,823	0,327	1,731	0,7462876	83,659	0,76	0,134	0,118	1,137	0,2	2,25	0,001592	0,000716	Suscettibile	Basso

Totale potenziale di liquefazione: **0,004**

037061P6CPTU6

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione			Indice di liquefazione	Rischio
7,8	149,259	96,303	10,205	4,274	3,079	0	0	0	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione			0	

037061P7CPTU7

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
8,2	155,622	96,782	21,774	2,325	2,658	0,8971926	0	0	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	
8,4	159,68	98,879	21,272	2,33	2,666	0,8971926	0	0	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	
8,6	163,738	100,975	20,79	2,334	2,675	0,8971926	0	0	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	
8,8	167,796	103,072	20,328	2,339	2,683	0,8971926	0	0	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	
9	171,854	105,169	19,884	2,343	2,691	0,8971926	0	0	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	
9,2	175,912	107,265	19,457	2,348	2,699	0,8971926	0	0	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	
9,4	179,97	109,362	19,047	2,352	2,707	0,8971926	0	0	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	
9,6	184,028	111,459	18,652	2,357	2,715	0,8971926	0	0	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	

037061P8CPTU8

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Spessore dz	W(z)	F(z)	Indice di liquefazione	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
19,7	373,854	228,716	33,075	0,54	2,171	0,6612294	50,71	0,648	0,092	0,092	1,001	0,2	0,15	0,019511	0,005853	Suscettibile	Basso
19,9	378,168	231,068	32,906	0,541	2,173	0,6578546	50,598	0,643	0,092	0,091	1,007	0,2	0,05	0,017469	0,001747	Suscettibile	Basso

Totale potenziale di liquefazione: 0,008