

COMUNE DI PAVULLO NEL FRIGNANO
Provincia di Modena

REALIZZAZIONE DI FABBRICATO
A SERVIZIO DELLA PARROCCHIA
LOC. LAVACCHIO DI PAVULLO

Relazione Geologica e Sismica



DATA:

Ottobre 2014

VERSIONE:

PRATICA N°

COMMITTENTE:

PARROCCHIA DELLA BEATA VERGINE ASSUNTA
DI NIVIANO DI PAVULLO

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti

DOTT. GEOL. MARCO SANTI BORTOLOTTI
Via Montorso, 19 – 41026 Pavullo n/F. (Mo)
Tel/Fax.: 0536 324233 - cell. 339 4679008 - E Mail sb.marco@libero.it
Part. I.V.A.: 02496130366 - C.F. SNTMRC72M09G393s



Relazione Geologica e Sismica

1. PREMESSA

La presente relazione riferisce dello studio geologico e sismico eseguito su un terreno situato in loc. Lavacchio in Comune di Pavullo n/F. (Mo) (Fig. 1-2), in particolare espone gli aspetti geologici e sismici connessi con la costruzione di un fabbricato a servizio della Parrocchia.

Nell'area d'intervento è stato eseguito uno studio geologico, caratterizzato da:

- analisi della cartografia esistente;
- rilievo geologico-geomorfologico di superficie;
- analisi di dati bibliografici;
- indagine diretta mediante esecuzione di n° 1 scavo (All. 1);
- n° 1 prospezione sismica passiva di microtremori HVSr (All. 2);

Così operando, si è inteso:

- valutare le condizioni geologiche-geomorfologiche e idrogeologiche dell'area;
- valutare le condizioni di stabilità generali e locali;
- valutare la pericolosità sismica di base del sito di costruzione;
- valutare le caratteristiche geolitologiche dei terreni di fondazione del sito d'intervento;
- individuare le possibili problematiche geologiche-tecniche dell'area in relazione all'intervento.

Lo studio, pertanto, secondo i dettami della normativa vigente (D.M. 14.01.2008) e dello stato dell'arte, è rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica e sismica dell'area d'intervento che consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici, e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

L'elaborato è sviluppato in modo da costituire imprescindibile elemento di base e di riferimento per la redazione del dimensionamento geotecnico e per il completamento della successiva progettazione.

RELAZIONE GEOLOGICA

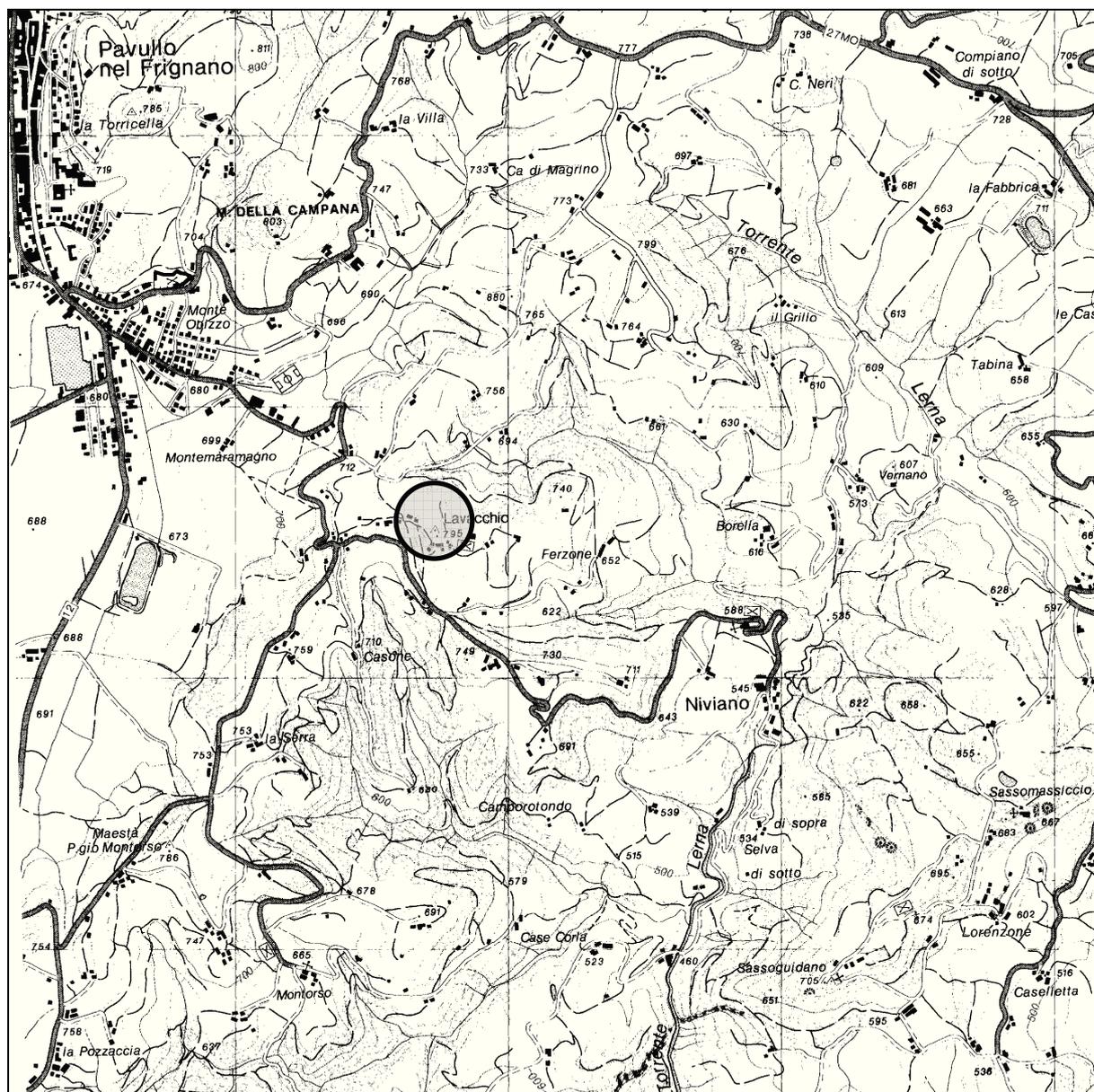
Il modello geologico del sito viene sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola e grande scala e per stilare il programma delle indagini. Il modello geologico di riferimento sarà quindi validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza delle opere.

2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO (6.2.1 NTC)

2.1 ELEMENTI GEOGRAFICI-GEOMORFOLOGICI DELL'AREA

L'area in studio si colloca nell'abitato frazionale di Lavacchio nel territorio comunale di Pavullo n/F., posto a circa 1km a SE rispetto al settore artigianale del capoluogo (Fig. 1-2).

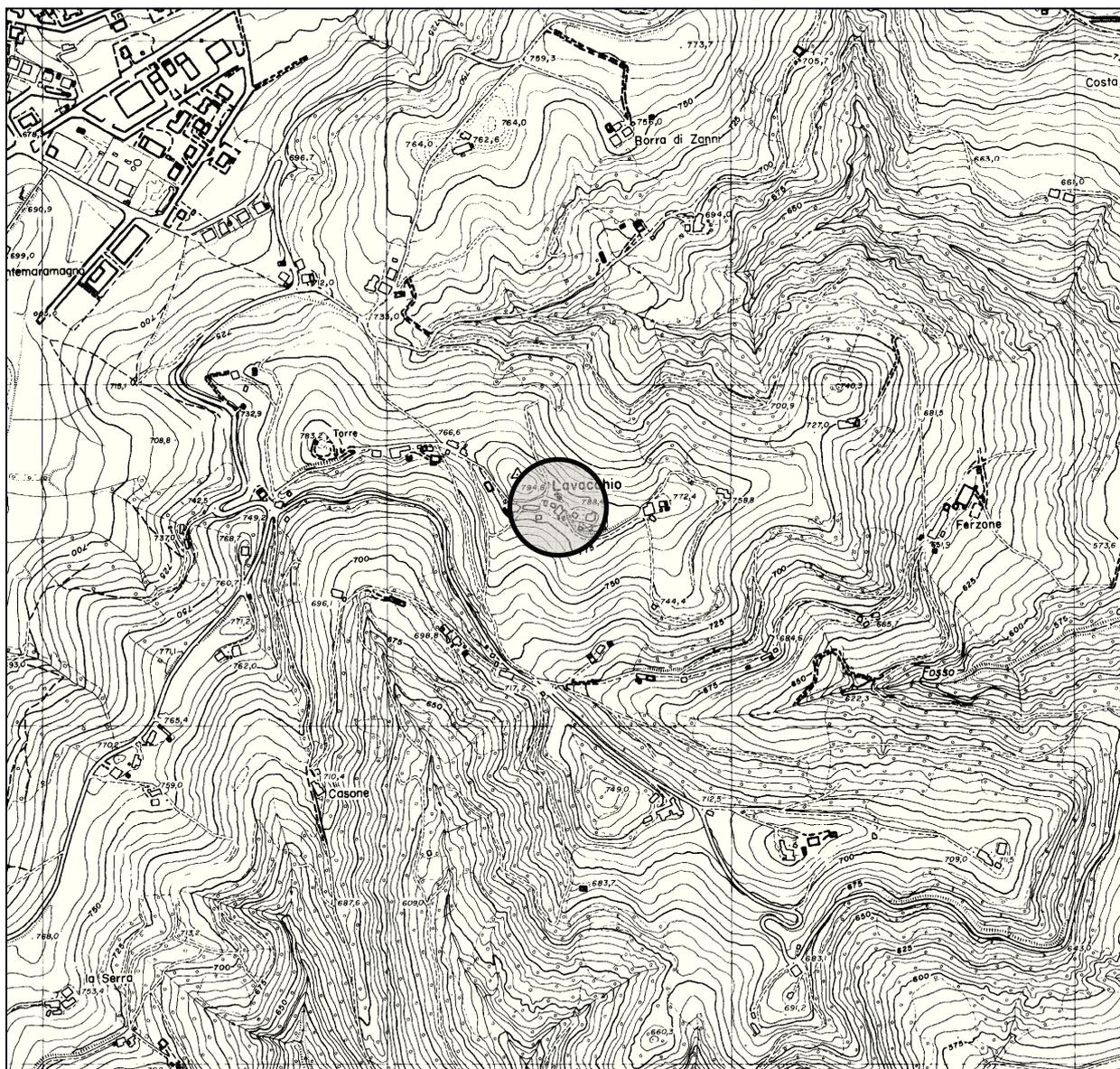
FIGURA 1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO 1:25.000 (Tavoletta Ctr n° 236ne)



L'area si colloca al margine orientale dell'unità morfologica della Piana di Pavullo che è costituita da un rilievo a pianta sub-polygonale, perimetralmente costituito da rocce calcareo-arenacee e/o marnose coerenti e tutt'intorno circondato da formazioni poco resistenti e facilmente degradabili.

L'abitato di Lavacchio si colloca lungo la fascia della media-alta collina nel medio Appennino modenese, a quote altimetriche medie comprese tra 780 e 795 metri s.l.m..

FIGURA 2 - COROGRAFIA 1:5.000 (Sezione Ctr n° 236070)



I litotipi più competenti, come quelli affioranti nel sito in studio, determinano dorsali e pendii più acclivi, contrastanti e dominanti sui terreni a composizione prevalentemente marnosa sottostanti.

2.2 MORFOLOGIA DI DETTAGLIO DELL'AREA

L'area in esame si colloca in posizione di spartiacque sulla dorsale "Lavacchio-Montorso" che delimita il fianco destro della "piana" dell'abitato di Pavullo n/F. (Mo) (Fig. 1-2).

Il sito in studio è situato ad una quota media di 785 metri s.l.m., in posizione sommitale di un pendio che presenta le caratteristiche di seguito elencate (Fig. 1-2):

MORFOMETRIA E MORFOLOGIA DEL VERSANTE

Quota massima (s.l.m.): 790 m

Quota dell'area d'intervento (s.l.m.): 785 m

Quota minima (s.l.m.): 675 m

Distanza dal crinale: 0 m

Distanza dal fondovalle: 280 m

Pendenza media dallo spartiacque al fondovalle: 21-22° (40%)

2.2.1 Riferimenti Cartografici

Cartograficamente l'area in studio è individuata sulla C.T.R. nella Tavoleta 236ne a scala 1:25.000 (Fig. 1) nella Sezione n° 236070 a scala 1:10.000 (Fig. 2) e nell'Elemento n° 236073 a scala 1:5.000.

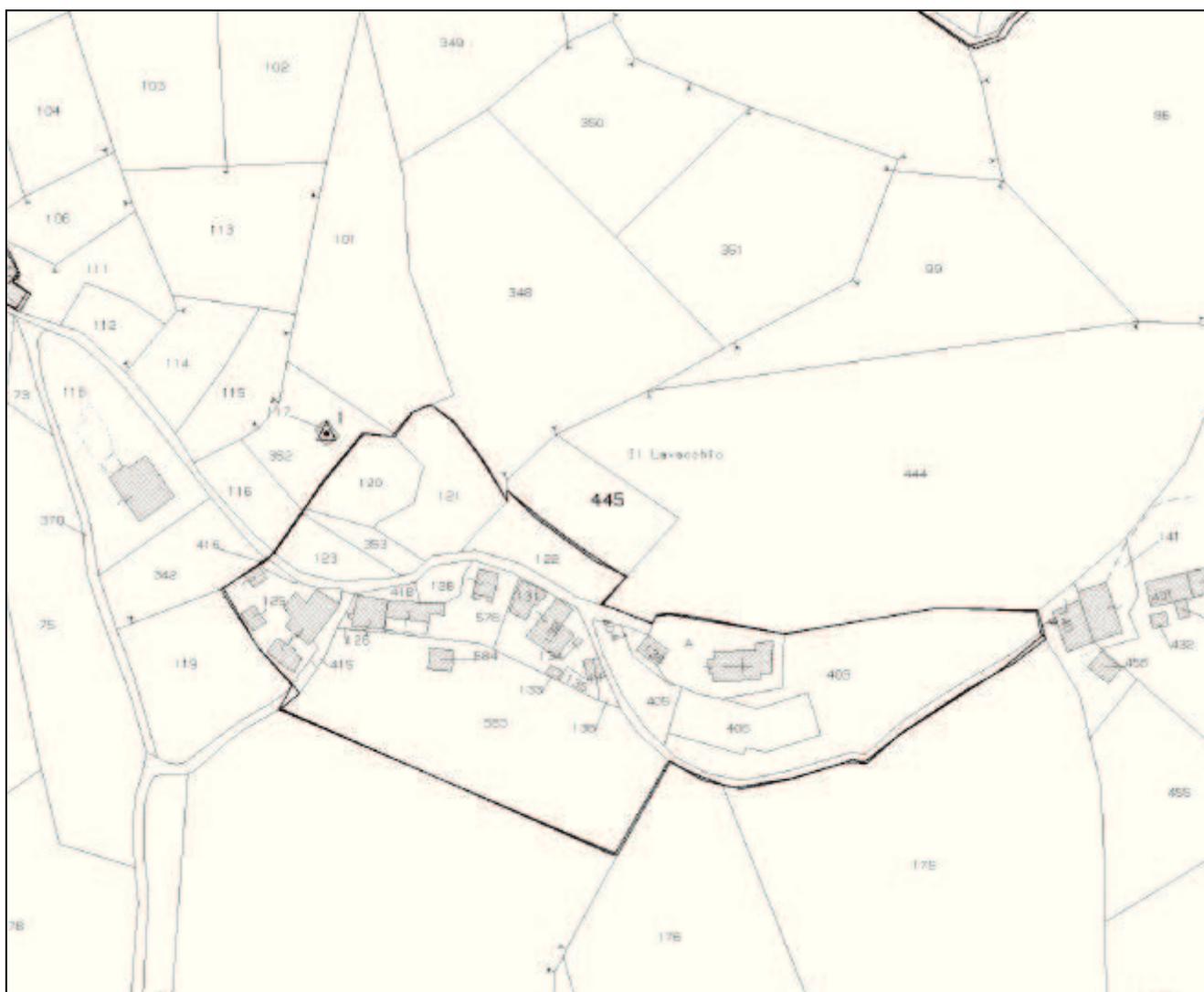
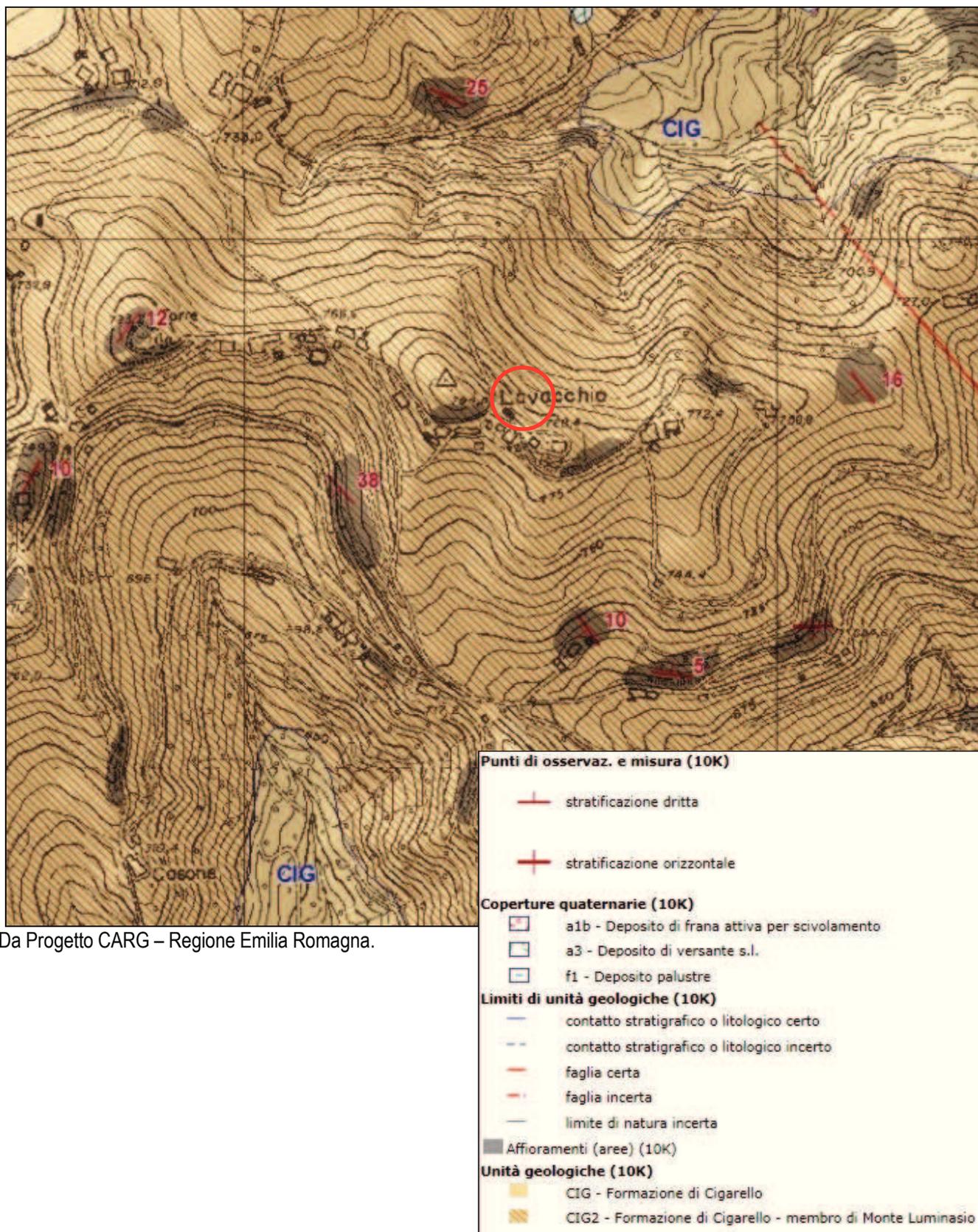


Figura 3 – Planimetria catastale (Foglio 87 Mappale n. 445)

2.3 ELEMENTI GEOLOGICI

In questo settore del medio Appennino affiorano esclusivamente formazioni Epiliguridi; il contatto con le formazioni argillose delle Unità Liguri avviene ai margini del territorio del capoluogo.

FIGURA 4 – CARTA GEOLOGICA 1:5.000



Da Progetto CARG – Regione Emilia Romagna.

La cartografia geologica di riferimento di più recente pubblicazione é rappresentata dalla "Carta geologica del Progetto CARG" (Fig. 4). Nella pagina precedente se ne riporta uno stralcio cartografico e la relativa legenda delle litologie presenti nell'area.

CIG - Formazione di Cigarelo

Si tratta di marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beiges se alterate, bioturbate e fossilifere. Stratificazione generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Localmente affiorano intervalli di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con $A/P < 1$ o litofacies marnose franche. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna e scarpata-bacino. Il limite inferiore è per alternanza o sfumato con PAT. La potenza varia da qualche decina di metri a circa 200 m. *Langhiano - Serravalliano*

CIG2 - Formazione di Cigarelo - membro di Monte Luminasio

Questa litologia costituisce il substrato dell'area d'intervento.

Arenarie fini e medie, localmente biocalcareni e litareniti grossolane e microconglomeratiche, alternate a peliti siltose grigie, in strati da sottili a molto spessi, prevalentemente tabulari. Rapporto $A/P > 1$. Intercalazioni metriche e decametriche di peliti sabbiose. Corpi arenacei lenticolari intercalati a varie altezze stratigrafiche. Torbiditi di scarpata bacino. Potenza variabile da 0 a 100 m circa. *Langhiano - Serravalliano*

Nell'area d'intervento lo spessore dei depositi di copertura è molto limitato; al contrario le litologie formazionali sono subaffioranti.

Il rilevamento diretto offre indicazioni in corrispondenza di diversi affioramenti situati in adiacenza; si tratta di banchi di arenarie fratturate di color giallastro per alterazione.

2.3.1 TETTONICA DELL'AREA

La conca di Pavullo costituisce, nell'Appennino modenese, uno degli esempi più estesi di bacino e depressione connessi all'evoluzione tettonica distensiva recente (quaternaria). Quest'ultima, probabilmente dovuta al sollevamento dell'intera catena rispetto all'antistante pianura, porta all'attivazione o alla riattivazione di numerose dislocazioni (la principale corre probabilmente alla base della dorsale di Niviano) con movimenti differenziali dei blocchi e creazione di locali aree morfologicamente depresse.

2.4 ELEMENTI IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI

L'area in esame è caratterizzata dai seguenti referimenti idrografici:

bacino principale: Fiume Secchia

bacino secondario: Torrente Rossenna

tributario di 1° ordine: Torrente Cogorno

L'area in studio si pone in posizione di spartiacque sulla linea di crinale che delimita i bacini principali del Fiume Panaro, ad est, e il Fiume Secchia, ad ovest.

Per quanto riguarda l'idrografia minore sono presenti una serie di spartiacque secondari che delimitano sottobacini di modeste dimensioni percorsi da solchi drenanti con regime idraulico effimero e strettamente influenzato dalle precipitazioni meteoriche.

Nel settore d'intervento, l'erosione prodotta è praticamente assente.

Nell'area in studio l'educazione delle acque meteoriche e superficiali per lo più avviene per infiltrazione e filtrazione all'interno dei depositi detritici superficiali costituenti la copertura, che possono essere considerati dotati di una buona permeabilità per porosità.

L'intervento in progetto non interferirà in alcun modo con corsi d'acqua. La dominanza dell'area d'intervento rispetto ai collettori drenanti secondari garantisce sull'assenza di rischi relativi ad esondazioni o ristagno liquido.

Le litologie presenti possono essere distinte, in base alle caratteristiche e al grado di permeabilità, in due complessi idrogeologici:

- a) complesso permeabile per fessurazione: fa parte di questo la litofacies arenacea della Formazione di Cigarellino, costituente il substrato dell'area in studio.
- b) complesso permeabile per porosità: fanno parte di questo tutti quei terreni detritici di disfacimento e di alterazione che costituiscono la copertura, di limitato spessore. La permeabilità, che avviene per porosità, è legata principalmente alla granulometria dei clasti che costituiscono il detrito, per cui si ha una discreta permeabilità per i termini più grossolani.

L'area in oggetto insiste sui terreni a competenza litoide prevalentemente arenacea a loro volta ricoperti da una debole coltre detritica grossolana: pertanto può essere soggetta a filtrazione di acque in particolare nello strato di copertura e talora nella parte superficiale più fratturata del substrato litoide. Tali terreni sono quindi caratterizzati da una buona permeabilità e, in considerazione della pendenza del versante in oggetto, eventuali "falde" freatiche o sospese vengono drenate in tempi rapidi.

L'intervento di costruzione non determinerà sostanziali interferenze né modifiche ai processi di naturale alimentazione dell'acquifero principale.

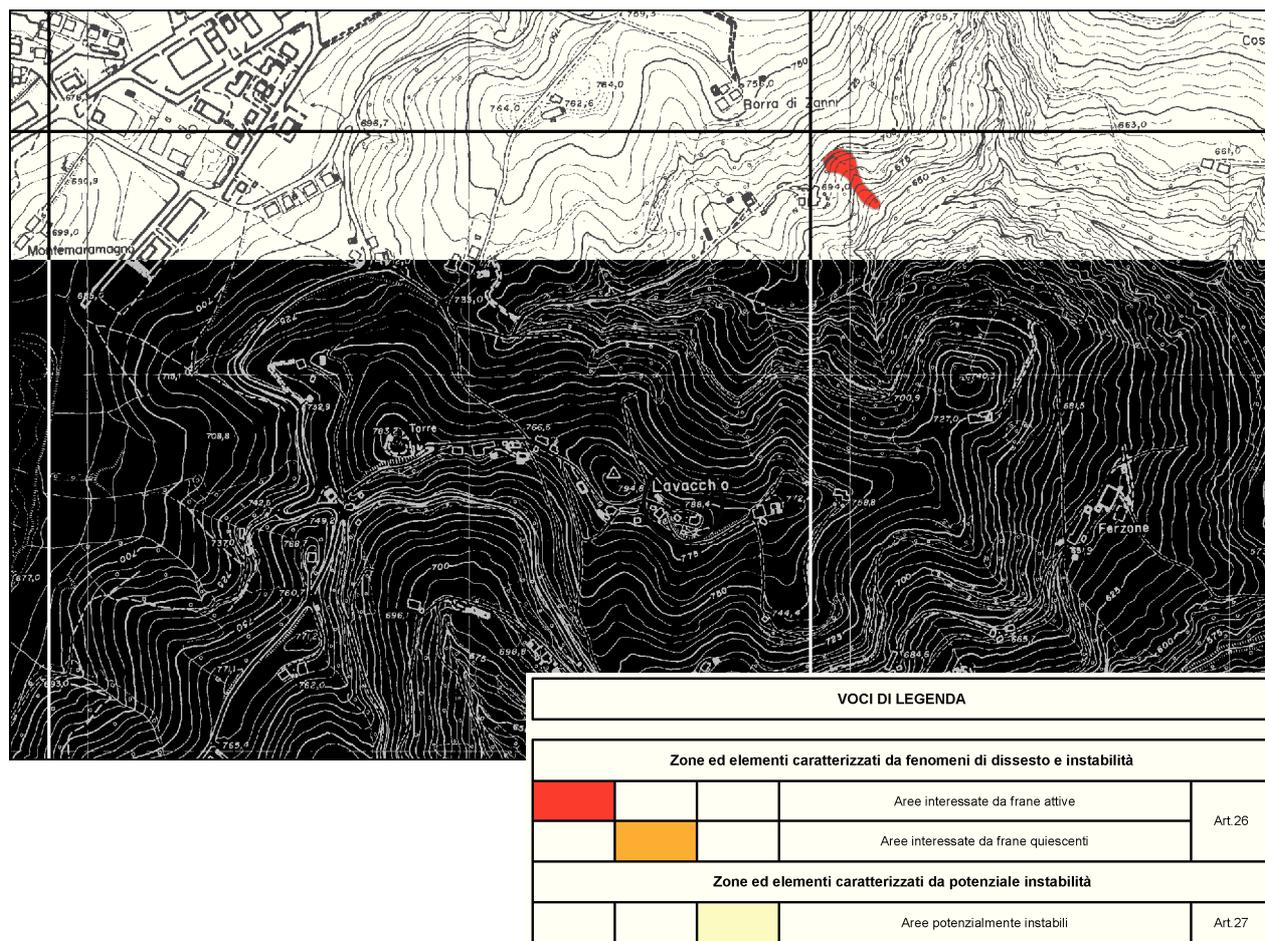
A tergo delle pareti contro terra si consiglia di prevedere opere di drenaggio che smaltiranno eventuali infiltrazioni liquide e le recapiteranno nel reticolo idrografico esistente.

2.5 STABILITÀ DELL'AREA

2.5.1 Quadro conoscitivo - cartografico

Nella Figura 5 si riporta la “Carta del dissesto del PTCP di Modena PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) dove l'area in studio dove l'area in studio non rientra in zone di dissesto in atto né potenziale.

FIGURA 5 – CARTA DEL DISSESTO STRALCIO PTCP – scala 1:10.000



Note bibliografiche

La ricerca bibliografica si è incentrata su:

- Carta delle Frane e della Stabilità dei Terreni del Bacino del Fiume Secchia a scala 1:50.000 (Provincia di Modena, 1970)
- Carta della Propensione al Dissesto Idrogeologico della RER a scala 1:250.000 (1974);
- Carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo a scala 1:10.000 (1986);
- Inventario del Dissesto a scala 1:25.000 (Regione Emilia-Romagna, 1996);
- Analisi multitemporale fotografie aeree;
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) (Prov. Mo1999-2006-2009).
- Nuova Carta Geologica d'Italia Progetto CARG (2000)

2.5.2 Quadro morfoevolutivo e influenza dell'opera in progetto

L'analisi locale sulle condizioni geomorfologiche e di stabilità dell'area in oggetto conferma la cartografia sopra riportata; inoltre ha messo in evidenza i seguenti aspetti positivi:

- l'area si colloca in posizione di dorsale, dove l'ossatura a consistenza litoide risulta subaffiorante.
- Non si rilevano inoltre, particolari processi erosivi da parte delle acque di corrivazione.
- Nel quadro fessurativo delle strutture limitrofe esistenti, e sul terreno in esame non sono stati rilevati segni tensionali riconducibili a qualche fenomeno d'instabilità del terreno.
- In fase di sopralluogo si è potuto constatare come il sito di sedime della struttura in esame non presentano lesioni o segnali di scorrimento legato a fenomeni gravitativi di versante.

Il sopralluogo effettuato ha inoltre evidenziato come nell'intorno dell'area non si sono rilevati fenomeni che possano interferire dal punto di vista geodinamico con il sito d'intervento.

In un quadro morfoevolutivo non si riscontrano quindi fattori che possano deteriorare la situazione di stabilità attuale.

La collocazione del fabbricato non comporta movimenti di terreno in quanto non sono previsti sbanchi se non quelli legati alle fondazioni.

Le alterazioni degli equilibri statici dell'area saranno quindi minimi e ben tollerati dalle ottime caratteristiche geostrutturali e fisico-meccaniche dei terreni di fondazione.

Tra gli obiettivi della progettazione geotecnica dell'intervento vi dovrà essere quello di prevedere i dovuti accorgimenti per garantire che i terreni interessati nonché quelli nell'intorno a monte conservino le attuali condizioni di resistenza e che mantengano le attuali caratteristiche di stabilità.

Decisiva sarà la corretta regimazione delle acque superficiali ed il loro opportuno smaltimento, tramite fossi e/o canalette, nella rete idrografica esistente.

A tergo delle pareti esterne interrato si consiglia di attuare opere di drenaggio con smaltimento nella rete fognaria, al fine di intercettare i percorsi di filtrazione di eventuale acqua derivante dalla superficie.

Si consiglia di eseguire gli scavi di fondazione durante la stagione asciutta, avendo cura di lasciarli esposti per lo stretto necessario e di predisporre una protezione di teli in previsione di piogge intense e/o prolungate.

In conclusione la verifica complessiva di compatibilità geologica mette in evidenza la non influenza negativa dell'intervento in progetto sulle condizioni di stabilità dell'area.

3. RELAZIONE SISMICA

3.1 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

3.1.1 Cenni di sismicità

Il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996), evidenzia quanto riportato nella figura seguente:

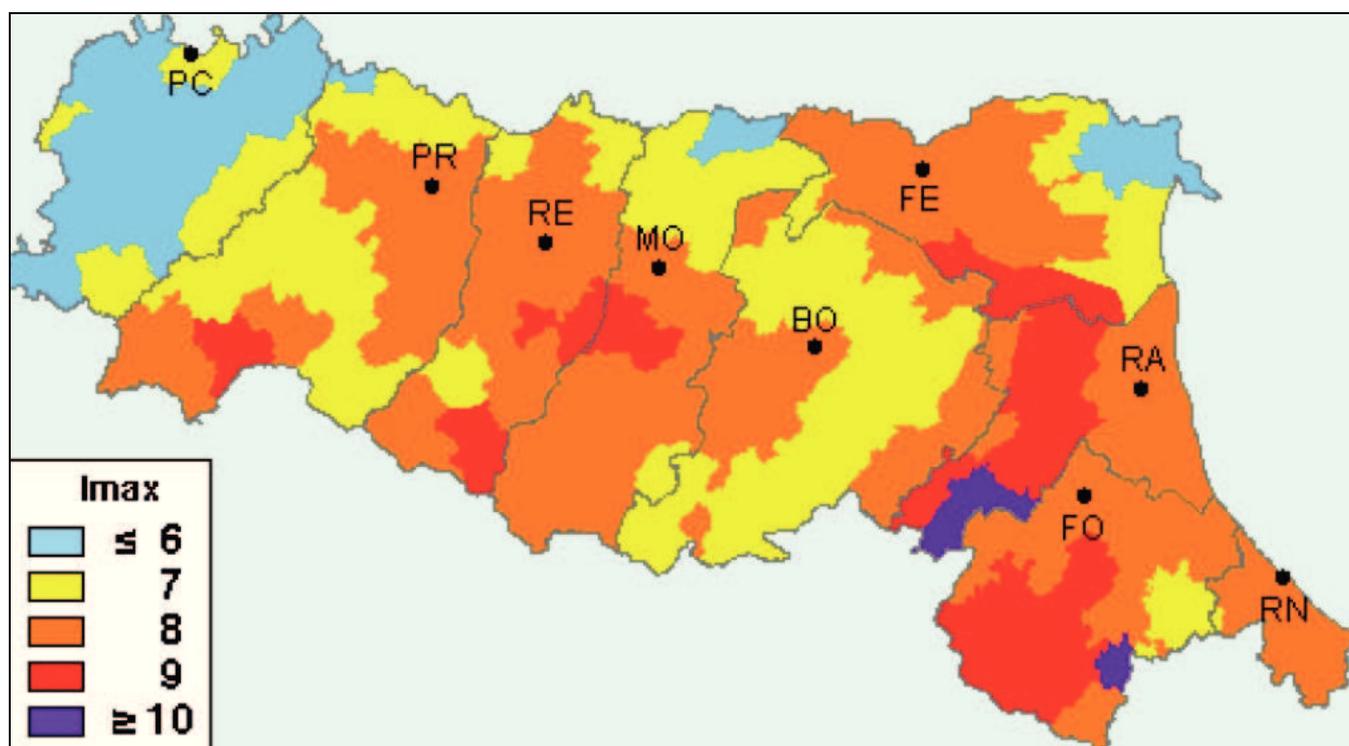


Figura 6 – Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani – GNDT ING/SGA

L'intensità massima registrata nel Comune di Pavullo è dell'VIII MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg), corrispondente ad una magnitudo dell'ordine di 5.6 (scala Richter).

L'attività tellurica dell'area è nota e documentata dall'anno 1000, anche se la qualità e la quantità delle informazioni non sono omogenee e si manifesta sia con eventi singoli di media intensità, sia con sequenze sismiche estese nel tempo.

Le revisioni e ricollocazioni degli eventi storici e recenti, ma soprattutto l'attivazione di una rete sismica regionale integrata con quella nazionale, hanno permesso di distinguere, nell'ambito della regione, zone con differente regime sismico, vale a dire frequenza dei fenomeni, intensità e profondità focale.

Il confronto dei dati della sismicità strumentale con quelli storici evidenzia la stabilità nel tempo delle aree sismogenetiche.

Dal Catalogo parametrico CPTI11 dell'INGV si evince che storicamente i terremoti più forti entro una distanza di 30-40 km risultano:

periodo dal 1000 al 1899:

- Anno 1501 – Appennino modenese – Mw 5.98
- Anno 1811 – Sassuolo – Mw 5.25

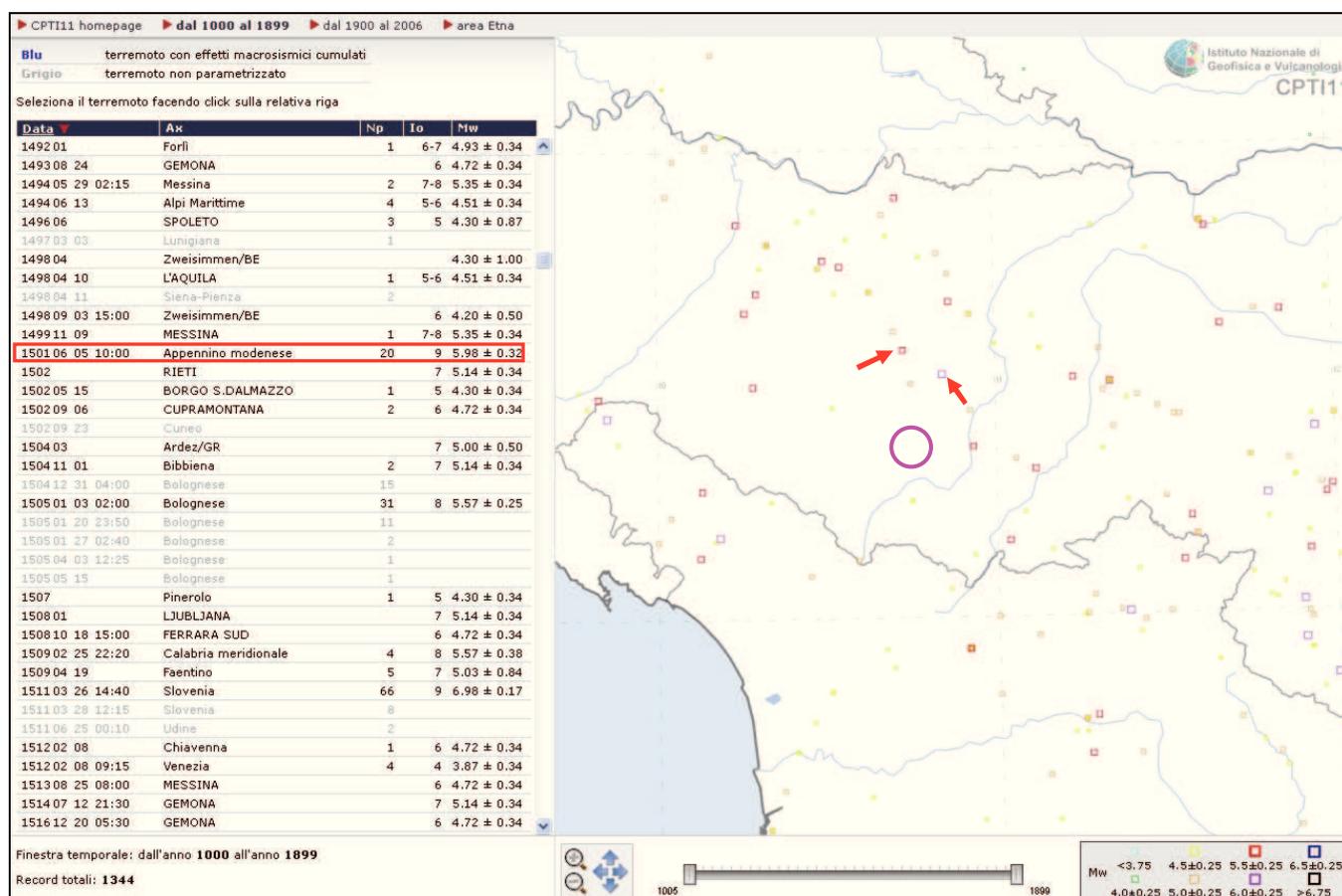


Figura 7 – Tratto da INGV CPTI11 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2011) – Dal 1000 al 1899.

Area in studio

Nel periodo dal 1900 al 2006, si segnalano:

- Anno 1904 – Reggiano – Mw 5.05
- Anno 1920 – Garfagnana – Mw 6.48

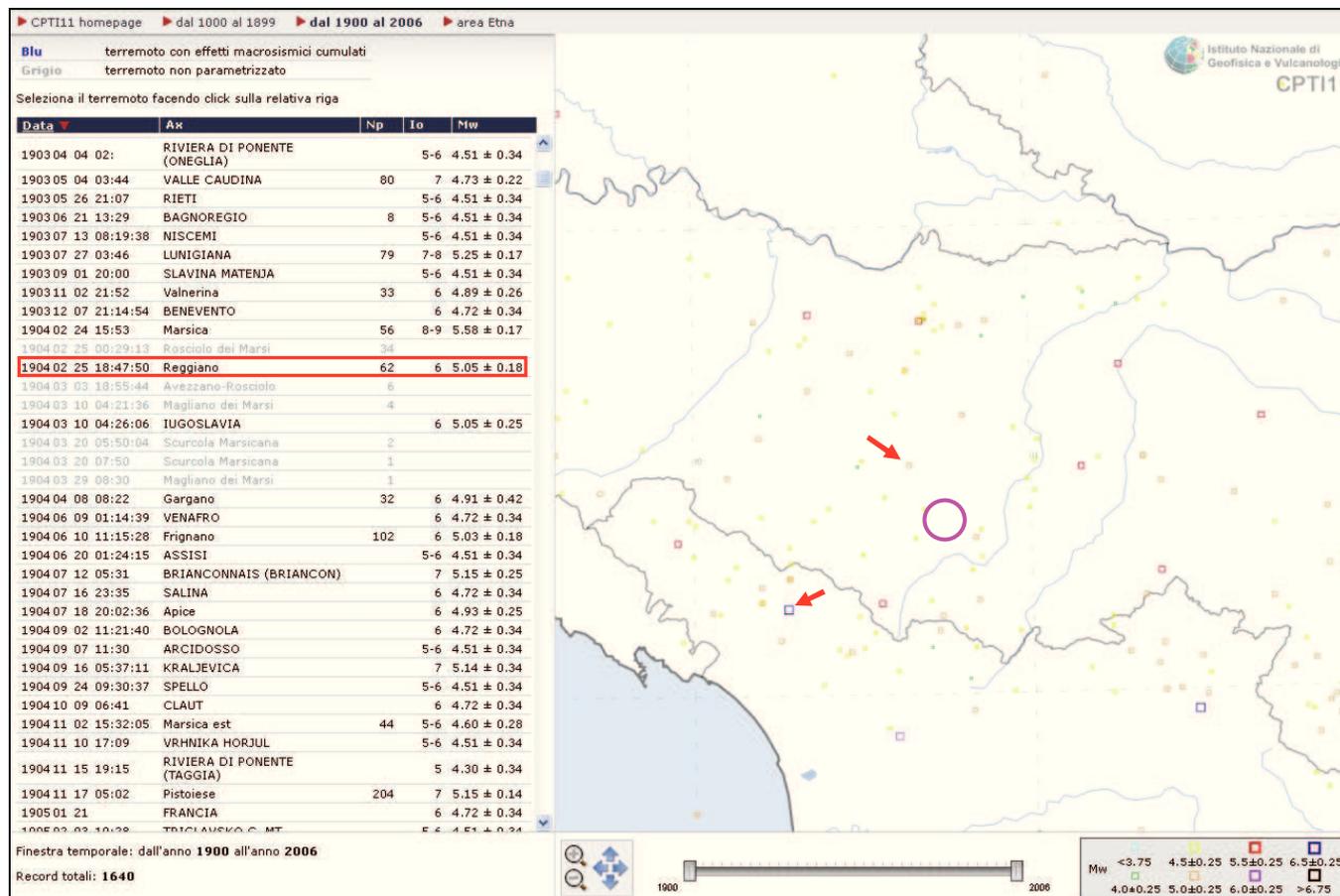


Figura 8 – Tratto da INGV CPTI11 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2011) – Dal 1900-2006

○ Area in studio

Nella pagina successiva sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale.

Nella tabella sono indicate:

Is: intensità al sito

Anno Me Gi: anno mese giorno dell'evento

AE: località

Io: l'intensità massima epicentrale in scala MCS

Mw: magnitudo momento

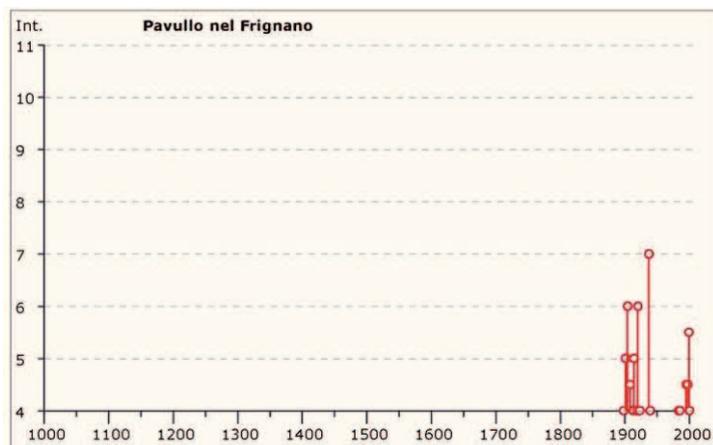
Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2011 DBMI11 per la località Pavullo si ottiene il seguente elenco di eventi sismici:

Storia sismica di Pavullo nel Frignano
[44.334, 10.834]

Numero di eventi: 40

Effetti In occasione del terremoto del:

I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
3	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
F	1895 05 18 19:55	Fiorentino	401	8 5.43 ±0.08
4	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.09
5	1901 10 30 14:49	Salò	190	8 5.70 ±0.10
6	1904 06 10 11:15	Frignano	102	6 5.03 ±0.18
4-5	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5 4.52 ±0.25
NE	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8 5.37 ±0.10
4	1913 02 13 16:39	Appennino tosco-emiliano	27	5 4.54 ±0.25
5	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
3	1915 10 10 23:08	REGGIO EMILIA	30	6 5.02 ±0.22
3	1916 05 17 12:49	Alto Adriatico	132	5.95 ±0.14
4	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10 6.29 ±0.09
6	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
4	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6 4.88 ±0.24
2-3	1928 06 13 08:00	CARPI	35	6 4.78 ±0.23
3-4	1929 04 19 04:15	Bolognese	82	
2	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09
2	1931 06 10 17:01	Modenese	14	4 4.42 ±0.22
3	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09
7	1937 12 10 18:03	APP. MODENESE	28	6 5.17 ±0.25
4	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7 5.08 ±0.16
3	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7 5.39 ±0.14
2	1956 04 26 03:00	Appennino tosco-emiliano	75	6 4.77 ±0.14
3	1957 08 27 11:54	EOCCA	58	5 4.65 ±0.21
3	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
4	1985 01 23 10:10	Garfagnana	73	6 4.65 ±0.15
NE	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
NE	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
NE	1987 05 08 11:10	Bassa modenese	17	6 4.57 ±0.23
3-4	1988 02 08 11:24	Garfagnana	75	6 4.53 ±0.13
NE	1992 04 17 11:59	Monteveglie	56	4-5 4.32 ±0.18
4-5	1995 08 24 17:27	Appennino bolognese	56	6 4.48 ±0.09
1-2	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09
4-5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
4-5	1997 12 24 17:53	Garfagnana	98	5 4.36 ±0.09
5-6	1999 07 07 17:16	Frignano	32	5 4.70 ±0.09
NE	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09
4	2000 10 03 01:12	Appennino tosco-emiliano	62	5 4.27 ±0.09
3	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09



Tratto da INGV DBMI11 (Database Macrosismico Italiano – 2011)

3.1.2 Frequenza di accadimento in Emilia Romagna

La frequenza con cui si sono verificati in passato i terremoti capaci di produrre danni significativi agli edifici consente di valutare con quale frequenza si manifesteranno in futuro, dal momento che questa presumibilmente non cambia.

Nella tabella sono riportati, per varie soglie di magnitudo, il numero di eventi per intervalli di tempo crescenti di 100 anni, partendo dall'ultimo secolo, registrati in Emilia Romagna.

CLASSI DI MAGNITUDO	INTERVALLO DI 100 ANNI		INTERVALLO DI 200 ANNI		INTERVALLO DI 300 ANNI		INTERVALLO DI 400 ANNI	
	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione
4.5 < Ma < 5.0	28	3,6	56	3,6	67	4,5	75	5,3
5.0 < Ma < 5.5	10	10,0	16	12,5	22	13,6	27	14,8
5.5 < Ma < 6.0	3	33,3	4	50,0	6	50,0	8	50,0
Ma > 6.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Tutte*	76	1,3	129	1,5	147	2,0	173	2,3

* tutti gli eventi che hanno prodotto danni (intensità epicentrale massima osservata maggiore di V-VI grado MCS)

Come si può osservare le frequenze che si ottengono nei primi due intervalli, più attendibili perché andando indietro nel tempo il catalogo dei terremoti diventa più incompleto, è di un evento ogni 1.3-1.5 anni. Valori di magnitudo maggiori di 5.0, che corrispondono ad intensità epicentrali di VII-VIII grado MCS indicano un

evento ogni 10-12 anni, mentre terremoti con Ma>5.5 (VIII-IX grado MCS) si ripetono con una frequenza di un evento ogni 50 anni, che si mantiene costante indicando una buona completezza del catalogo.

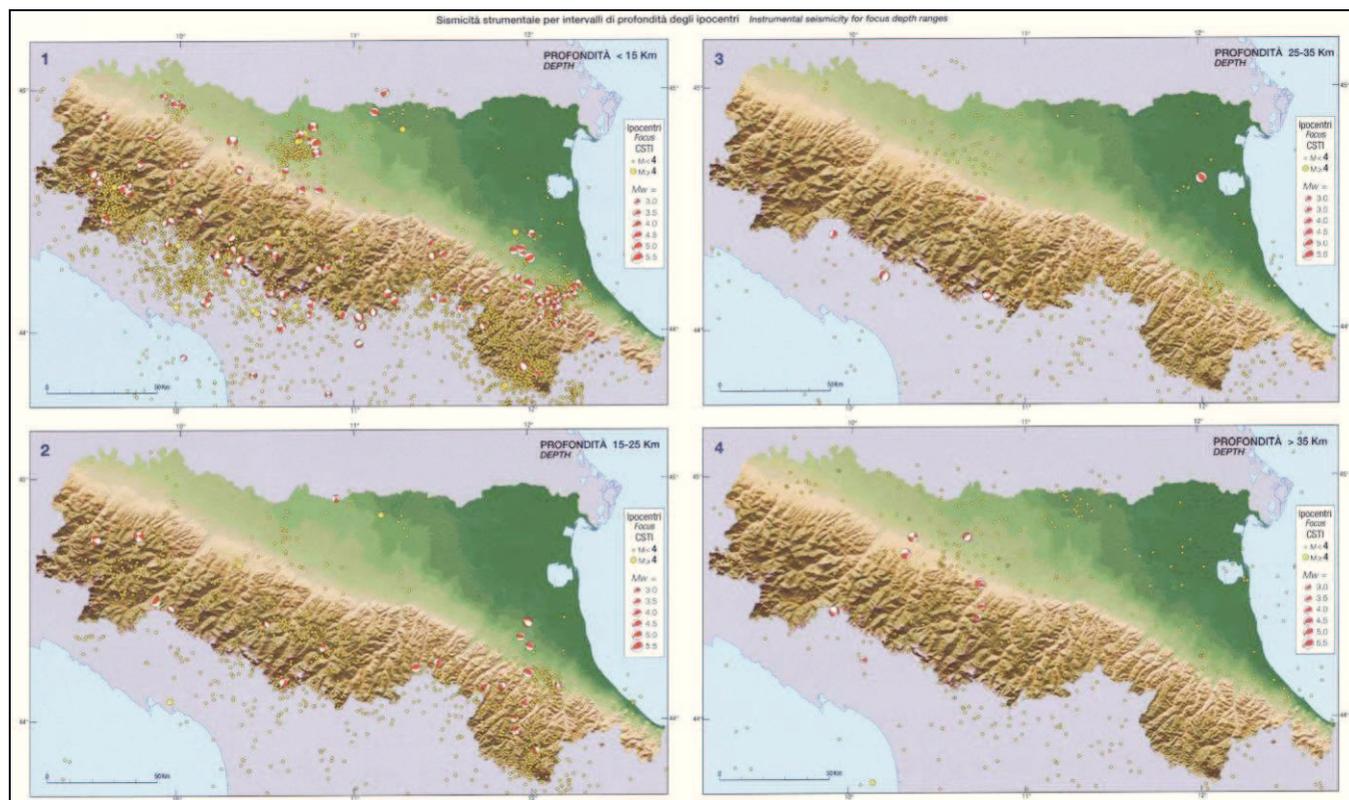


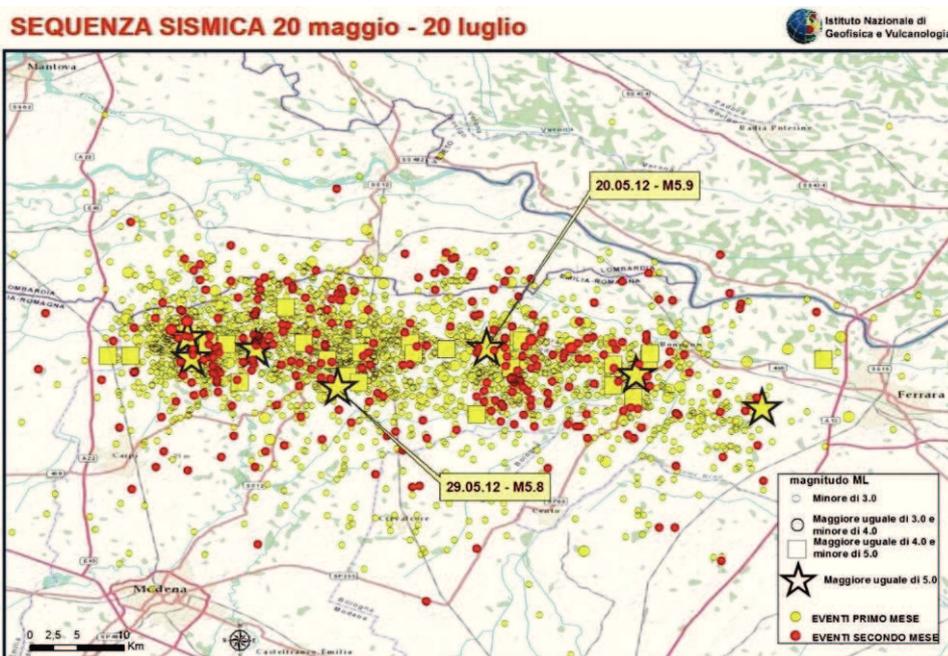
Figura 9 – Sismicità strumentale per intervalli di profondità degli ipocentri.

3.1.3 Terremoto del 20-29 maggio 2012 (da fonte INGV)

Si tratta di una sequenza sismica che ha interessato la regione padana nella bassa modenese ai confini con le provincie di Reggio Emilia, Mantova e Ferrara.

Le due scosse più forti si sono avute:

- il giorno 20 maggio 2012 alle ore 04:03 italiane, con magnitudo (MI) 5.9, localizzato dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV nel distretto sismico "Pianura_padana_emiliana". Le coordinate dell'ipocentro risultano: 44.89°N, 11.23°E in Comune di Mirandola con profondità ipocentro di 6.3 km.
- il giorno 29 maggio 2012 alle ore 09:00 italiane, con magnitudo 5.8 localizzato nel settore occidentale della fascia che si era attivata con l'evento del 20 maggio. Coordinate epicentro 44.851°N, 11.086°E - Profondità 10.2 km

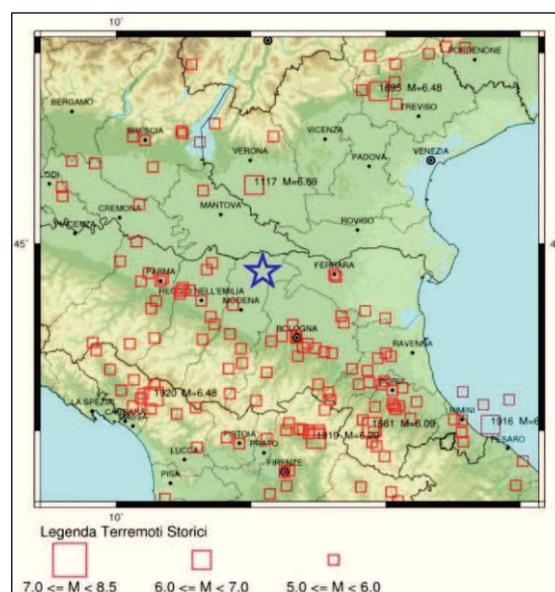


Si tratta di un meccanismo compressivo con direzione di massima compressione nord-sud e piani di faglia orientati est-ovest. Il terremoto è avvenuto in una zona a medio-bassa pericolosità sismica, al confine settentrionale della zona in compressione della catena Appenninica, sede in passato di alcuni terremoti storici di magnitudo inferiore o pari a 6.

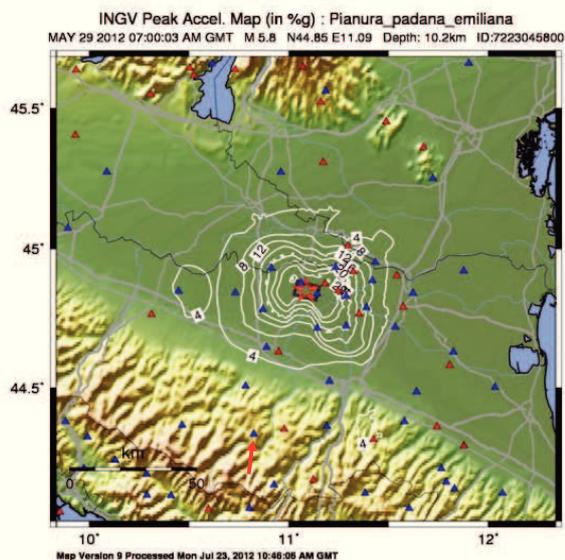
La sismicità si distribuisce lungo

un'area allungata per circa 40 km in direzione est-ovest. I terremoti più forti della sequenza sono dovuti a un fenomeno di compressione attiva in direzione nord-sud, legato alla spinta dell'Appennino settentrionale verso nord, al di sopra della placca adriatica. L'estensione della zona attiva, confrontata con la magnitudo degli eventi principali, suggerisce che ad essersi attivato sia un sistema di faglie complesso, e non una singola faglia.

La sequenza sismica ha interessato la regione padana, già sede di terremoti rilevanti nei mesi passati. In particolare, a gennaio 2012 la zona appenninica di Reggio Emilia e Parma fu colpita da terremoti di magnitudo 4.9 e 5.4, a distanza di pochissimi giorni. I due terremoti di gennaio, sebbene avvenuti a profondità molto diverse (30 e 60 km) rispetto ai 6-8 km di quelli in oggetto, sono anch'essi legati ai movimenti della stessa "microplacca adriatica", che negli ultimi mesi ha avuto un'attività piuttosto intensa.



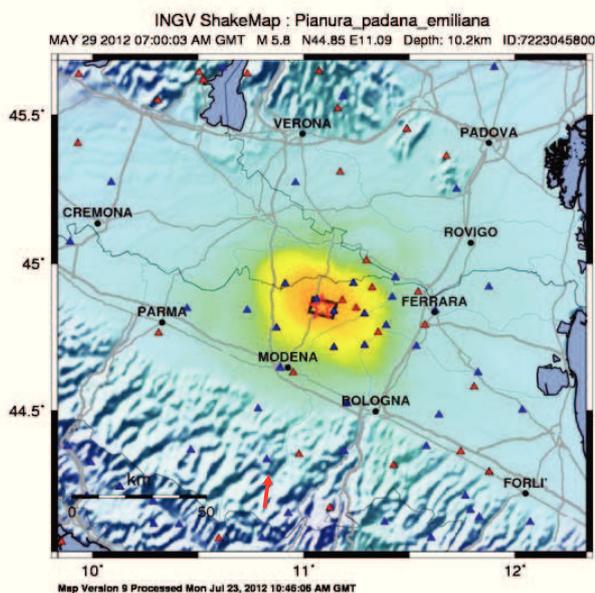
Le informazioni storiche per l'area sismogenica attivatisi oggi, evidenziano un'attività non molto frequente, con alcuni terremoti significativi nelle aree adiacenti. In particolare, un evento sismico che appare simile a quello odierno colpì Ferrara nel 1570, causando danni fino all'ottavo grado Mercalli (MCS). Un altro evento storico di interesse, studiato di recente, è quello avvenuto nel 1639 con epicentro nei pressi di Finale Emilia, ove produsse effetti del VII-VIII grado MCS.



Qui a fianco si riporta la mappa in cui vengono graficati gli andamenti dei picchi di accelerazione (in % di g) in attenuazione a partire dall'epicentro della scossa del 29-05-12 di M=5.8.

La freccia rossa indica il sito in studio.

Questa rappresentazione raffigura invece con diverse tonalità di colore alcuni parametri (accelerazione di picco, velocità di picco) ed elementi valutativi/qualitativi di un evento tellurico (percezione dello scuotimento, danno potenziale, intensità strumentale).



In entrambe le ultime due figure è possibile valutare immediatamente come la sequenza sismica del 20-29 maggio 2012 non abbia prodotto effetti rilevanti nella zona in esame.

Sulla base delle elaborazioni dell'INGV si può stimare in prima approssimazione un valore dell'accelerazione di picco inferiore a 0.04g, e intensità macrosismica intorno al III grado.

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.1	0.5	2.4	6.7	13	24	44	83	>156
PEAK VEL.(cm/s)	<0.07	0.4	1.9	5.8	11	22	43	83	>160
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

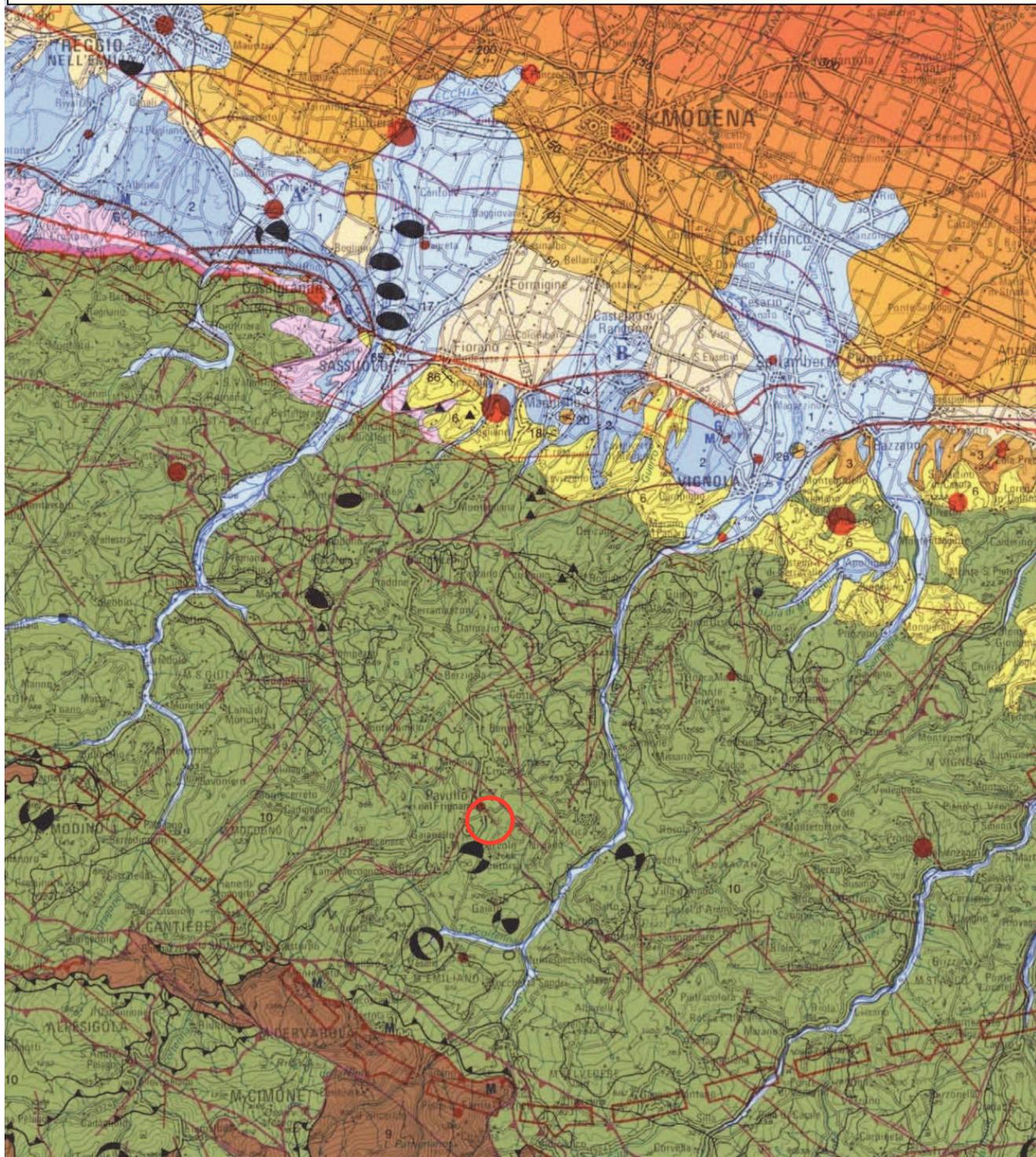
Scale based upon Wald, et al., 1999

3.2 SISMICITÀ DEL COMUNE DI PAVULLO N/F.

Sismotettonica

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna e una sezione relativa all'andamento dei terreni di substrato.

FIGURA 10 – CARTA SISMOTETTONICA DELL'EMILIA ROMAGNA





Zonazione sismogenetica

È stata utilizzata la zonazione sismogenetica dell'INGV, chiamata ufficialmente ZS9. Rispetto alle zonazioni precedenti, in questo caso le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautelate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.

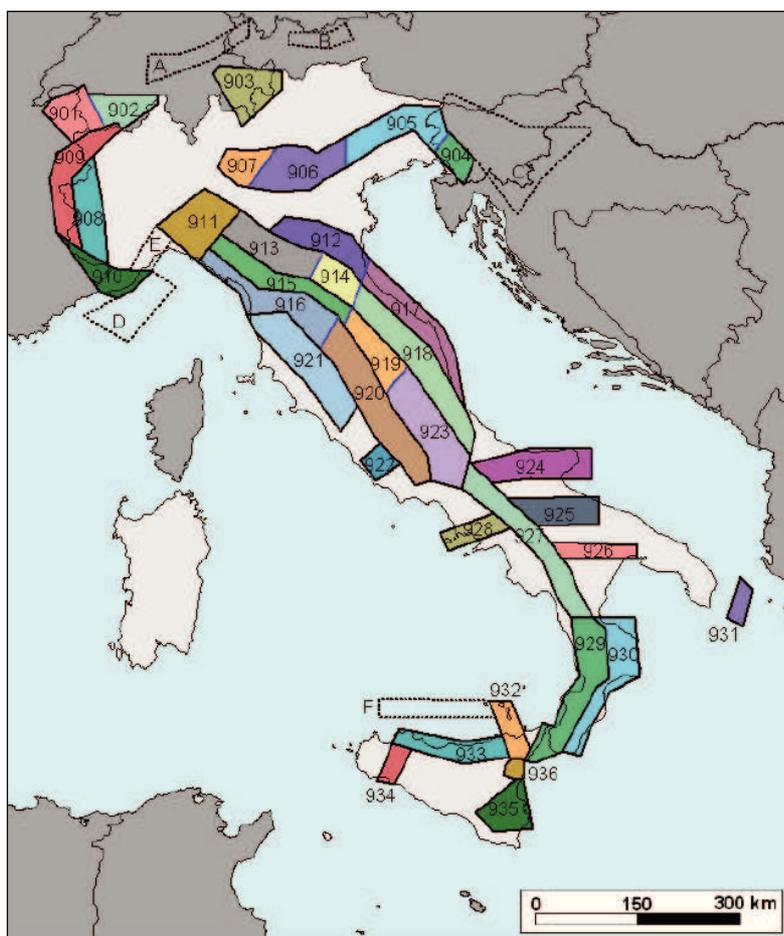


Fig. 11 – Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

La zonizzazione ZS9 risulta basata prevalentemente sulle informazioni di ZS4; recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive; considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali localizzati al di fuori delle zone sorgente in essa definite; supera il problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse.

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il catalogo

CPT12, e fornisce inoltre una stima della "profondità efficace", cioè dell'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

La zonazione è costituita da 42 zone-sorgente, i limiti tra le zone sono neri e blu, i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche e geologico-strutturali, il colore blu invece definisce suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità. Come ad es. distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata, ecc.

Le 42 zone-sorgente ZS9 vengono identificate da un numero che va da 901 a 936 o con una lettera da A a F.

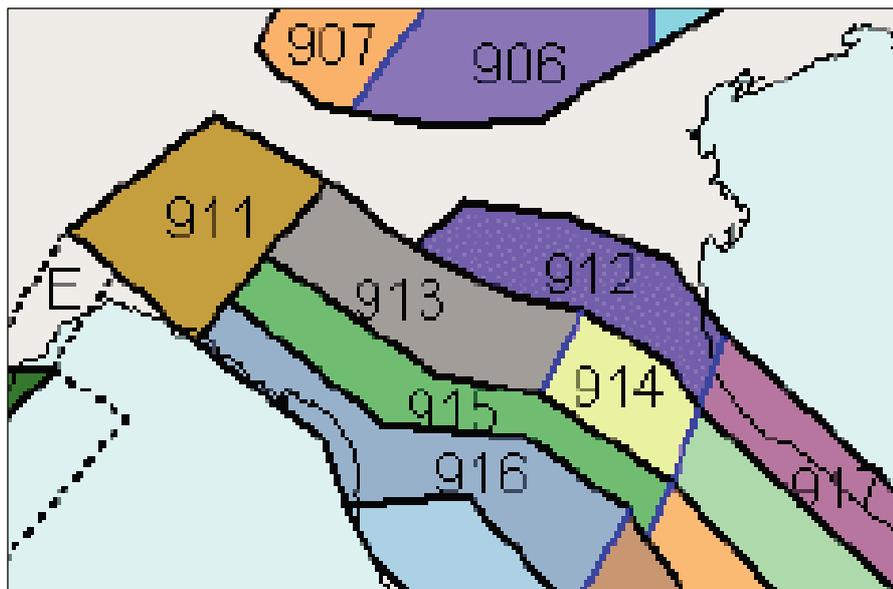


Figura 12 – Zoom sulla zonazione sismogenetica ZS9 dell'Emilia Romagna.

Sismicità delle zone sorgenti

Il territorio del Comune di Pavullo si colloca sul fronte di accavallamento della successione carbonatica mesozoica in sovrascorrimento verso NE. In passato sono stati risentiti gli effetti di numerosi terremoti dovuti ad una sismicità naturale localizzata nelle zone 913 e 915.

Le zone 913 e 915 sono quelle con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio del Comune di Pavullo, mentre le altre vengono considerate poco influenti per

generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la zona 912).

La zona 915 determina una sismicità riconducibile a sorgenti attivate da meccanismi focali distensivi (faglie dirette e trascorrenti distensive) con massimi storici che hanno raggiunto intensità del X° MCS (Magnitudo $M_a=6-6.5$). In particolare il terremoto del 1920 della Garfagnana, con intensità epicentrale del IX-X° MCS ha determinato, in base alla ricostruzione macrosismica, intensità del VI-VII° MCS a Pavullo.

Nella zona 913 si verificano terremoti prevalentemente compressivi che sono causa di una sensibile attività come documentato dagli eventi del bolognese, del reggiano e del parmense (anno 2000) risentiti nell'area in studio. Questi eventi sono riconducibili a sorgenti superficiali attivate da meccanismi focali per compressione (faglie inverse e trascorrenti compressive) se si escludono eventi la cui origine è ancora incerta. Fra questi figura il terremoto di Castelvetro del 1501 che avrebbe prodotto, in base alla ricostruzione macrosismica, effetti del IX° MCS. Se confermato, la fascia pedappenninica sarebbe quella potenzialmente più pericolosa per il territorio modenese.

L'intera fascia è caratterizzata da terremoti che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori rispetto alla fascia esterna 912.

La fascia del fronte appenninico sepolto determina infatti una sismicità rappresentata da terremoti a intensità medio-bassa, ma con una discreta frequenza di accadimento.

Per quanto riguarda la sismicità storica si può osservare che meccanismi focali di terremoti a dinamica compressiva, con direzione di raccorciamento principale orientata all'incirca N-S o NNE-SSO e di magnitudo (secondo la scala di Richter) fino a 5-5,5, sono stati registrati con epicentri posti non lontani da Pavullo.

3.3 NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO

Ordinanza P.C.M. 3274/2003

A seguito della nuova classificazione sismica (Ordinanza P.C.M. 3274 del 20/3/2003 e s.m), il territorio nazionale è diviso in 4 zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo di categoria A.

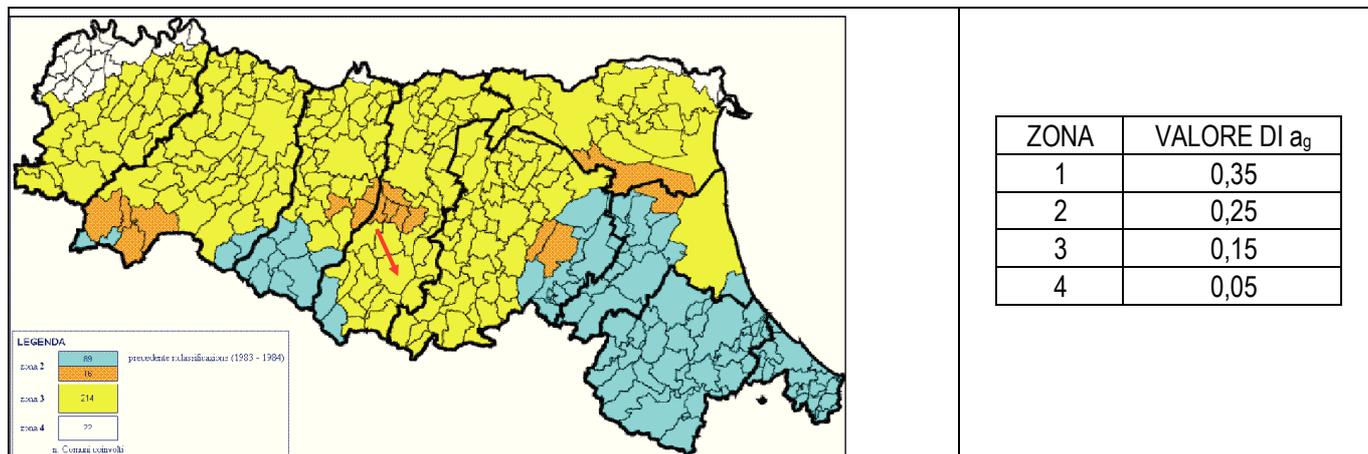


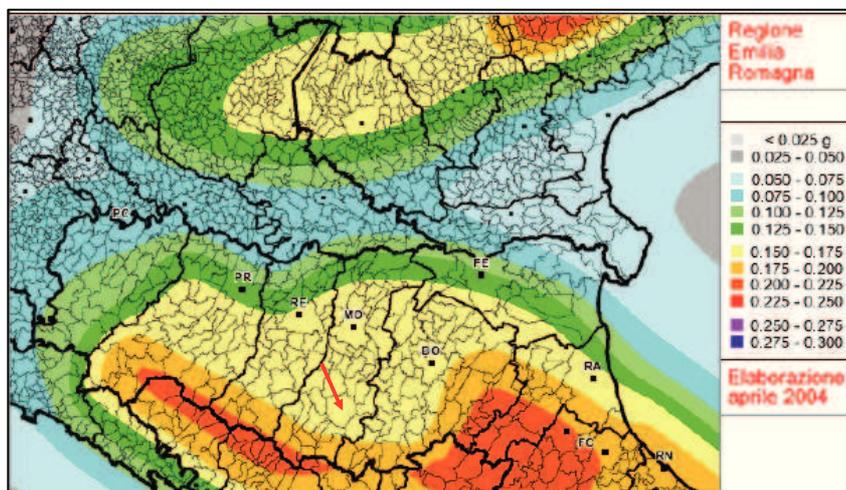
Fig. 13 - Classificazione sismica attuale di riferimento - Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 2374 All. 1.

Il Comune di Pavullo ricade in "zona sismica 3" a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A, riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g , pari a $a_g = 0,15g$.

Ordinanza P.C.M. 3519/2006

Successivamente, l'Ordinanza PCM 3519/2006 ha indicato i *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.*

A tale ordinanza è allegata la *Mappa di Pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale* nella quale è possibile verificare che il territorio del Comune di Pavullo è compreso nell'area caratterizzata da **valori dell'accelerazione massima al suolo**



(a_{max}), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, All. 2, 3.1), **compresi tra 0,150-0.175** l'accelerazione di gravità g .

Fig. 14 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web RER).

Del. Rer. 112/2007

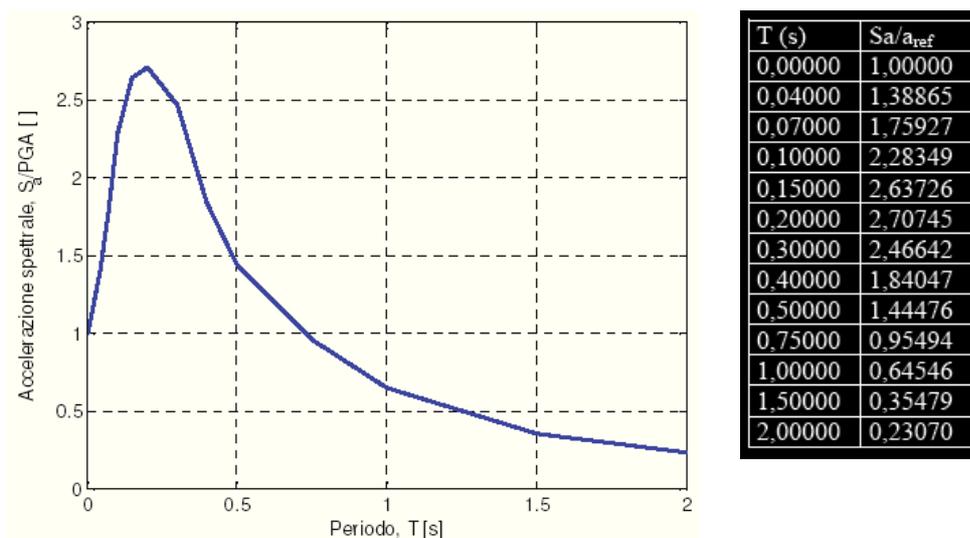
La RER ha approvato la Del. n. 112 del 02-05-2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica."; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni comune della Regione.

MO	Nonantola	0.160	Per il Comune di Pavullo: $a_{refg}=0,159$
MO	Novi di Modena	0.139	
MO	Palagano	0.164	
MO	Pavullo	0.159	
MO	Pievepelago	0.194	
MO	Polinago	0.161	
MO	Prignano	0.158	

Definizione del moto di riferimento

La PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di a_g . Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) varia nell'intervallo $0,150 \div 0,175 g$. Tali dati sono anche stati utilizzati anche dalla Regione Emilia Romagna nella redazione della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 - 2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" dove viene indicata una PGA corrispondente a $0,159 g$ per l'intero territorio comunale.

La RER fornisce lo spettro di risposta normalizzato, dal quale è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella seguente per il valore di a_{refg} di ogni comune (vedi sopra), lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.



Spettro di risposta normalizzato ($T_R = 475$ anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna, e valori che lo definiscono.

Nella prima colonna sono riportati i valori del periodo proprio T , espresso in secondi, nella seconda i valori di accelerazione spettrale normalizzata al valore di accelerazione massima orizzontale (PGA), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (pari a 9.81 m/s^2), al corrispondente periodo T .

D.M. 14-01-2008

Il D.M. 14/01/2008 stabilisce che l'accelerazione orizzontale massima del sito di riferimento non è più riferita ad una classificazione comunale ma viene calcolata considerando le proprietà del sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (NTC , TAB.1 allegato "B" del D.M.).

Il suolo può essere assimilato e classificato in modo semplificato in una delle 5 classi principali (A,B,C,D,E) o in una delle 2 categorie aggiuntive S1 e S2.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{Si}}} \text{ m/s}$$

h_i = spessore dello strato i-esimo
 V_{Si} = velocità onde S nello stato i-esimo
 N = numero strati considerati

Nei casi in cui la misura diretta della V_{s30} non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica N_{spt30} nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente C_{u30} nei terreni prevalentemente a grana fina.

Nel caso in cui il sottosuolo in studio non possa essere assimilato in una delle 5 categorie sopra descritte è necessario ricorrere ad una analisi di RSL (Risposta Sismica Locale) con utilizzo di accelerogrammi e codici di calcolo.

3.3 PROSPEZIONE GEOFISICA

Nell'area di studio è stata eseguita n° 1 indagine HVSR (sismica passiva, registrazione di microtremore), di cui di seguito si riporta l'ubicazione.

FIGURA 15 - UBICAZIONE INDAGINI scala grafica



● : scavo

★ indagine sismica Hvsr



Indagine sismica – Hvsr

3.3.1 PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA DI MICROTREMORI (HVSR) – ALLEGATO 1

L'indagine HVSR, registrazione con tromografo di rumore sismico ambientale di fondo (microtremore), si pone come obiettivo preminente l'individuazione delle diverse frequenze di risonanza del terreno il tutto, nell'ottica di valutare eventuali fenomeni di amplificazione del moto sismico nel terreno d'indagine.

Strumentazione utilizzata

La registrazione di rumore sismico ambientale è stata effettuata tramite tromografo digitale *Tromino* della *Micromed s.p.a.*; tale strumento permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo/non intrusivo che il pre-processing dei dati. Esso è costituito da tre velocimetri elettrodinamici ortogonali (N-S, E-W e UP-DOWN) autobloccanti in fase di non acquisizione.

Qui di seguito vengono riportate le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato.

SPECIFICHE TECNICHE	
Costruttore:	Micromed S.P.A. via Giotto 2 - 31020 - Mogliano Veneto (TV) - Italia tel. +39-041-3937900 fax. +39-041-3937911 e-mail: info@tromino.it support@tromino.it
Apparato:	TROMINO® sistema ultrapiatto di acquisizione del rumore sismico
Classificazione:	- CISPR 11 - EN 55011 (apparecchi a radiofrequenza industriali, Scientifici e Medicali (ISM) - Caratteristiche disturbi radio - Limiti e metodi di misura), Gruppo I Classe B
Conformità agli standard:	EN 55011, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4, IEC 61009-4-3.
Alimentazione	2 x 1.5 V _{DC} AA, batterie alcaline
Voltaggio interno	-3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
Potenza utilizzata	75 mW (GPS inattivo), 450 mW (GPS attivo)
Durata Batteria	80 h in continuo, GPS inattivo
Numero canali	7 + 1 analogico
Amplificatori	tutti i canali con ingressi differenziali
Rumore	< 0.5 µV r.m.s. @ campionamento 128 Hz
Impedenza in ingresso	10 ³ Ω
Intervallo di frequenza	DC - 360 Hz
Frequenza campionamento	16384 Hz per canale
Frequenza sovracamp.	32x, 64x, 128x
Risoluzione A/D	24 bit equivalenti
Max ingresso analogico	51.2 mV (781 nV/digit)
Display	grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato
Tastiera	soft-touch, 4 tasti
Orologio	interno, permanente con data e allarme, può essere visualizzato durante l'acquisizione
GPS	12 canali con marcatempo (precisione 1 µs)
Livellamento	a bolla, alta precisione orizzontale, sensibilità 5" arco (0.083°)
Connessioni	Porta USB tipo B
Registrazione dati	memoria interna, standard 512 MB, opzionale fino a 2 Gb
Dimensioni e peso	10 x 14 x 7.7 (altezza) cm 1.1 kg Contenitore in alluminio
Accoppiamento al terreno	piedini o cuscino reologico
Condizioni ambientali per l'uso	temperatura - 10 / +70°C umidità 0-90% senza condensa
Impermeabilità	Indice di protezione IP → 65 (a prova di polvere e schizzi)
Sensori	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali Auto-bloccanti quando non acquisiscono Centrazione elettronica ed attraverso il software <i>Grilla</i> per la risposta in frequenza dei sensori
Intervallo frequenza di lavoro	0.1 - 256 Hz

L'elaborazione dei dati è stata effettuata tramite il software *Grilla vers. 6.1* in dotazione allo strumento; esso permette di definire gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN), di effettuare le analisi H/V e di valutare la VS30.

È stata eseguita n° 1 acquisizione da 20 min.

La registrazione è stata effettuata su terreno naturale compatto; a tal proposito si specifica che sono stati eliminati i primi centimetri di terreno pulendo e regolarizzando il piano di posa al fine di un corretto posizionamento/funzionamento dello strumento.

Il disturbo da traffico veicolare può essere considerato basso, in virtù della distanza dalla strada principale; eventuali passaggi casuali possono essere eliminati senza problemi essendo ben visibili negli spettri (in particolare nel diagramma hz/min della serie temporale H/V) e comunque di durata minima. L'acquisizione è avvenuta in condizioni meteo discrete (18°C, vento assente).

Per ulteriori dettagli/approfondimenti circa l'acquisizione si rimanda agli elaborati allegati.

Interpretazione dei dati

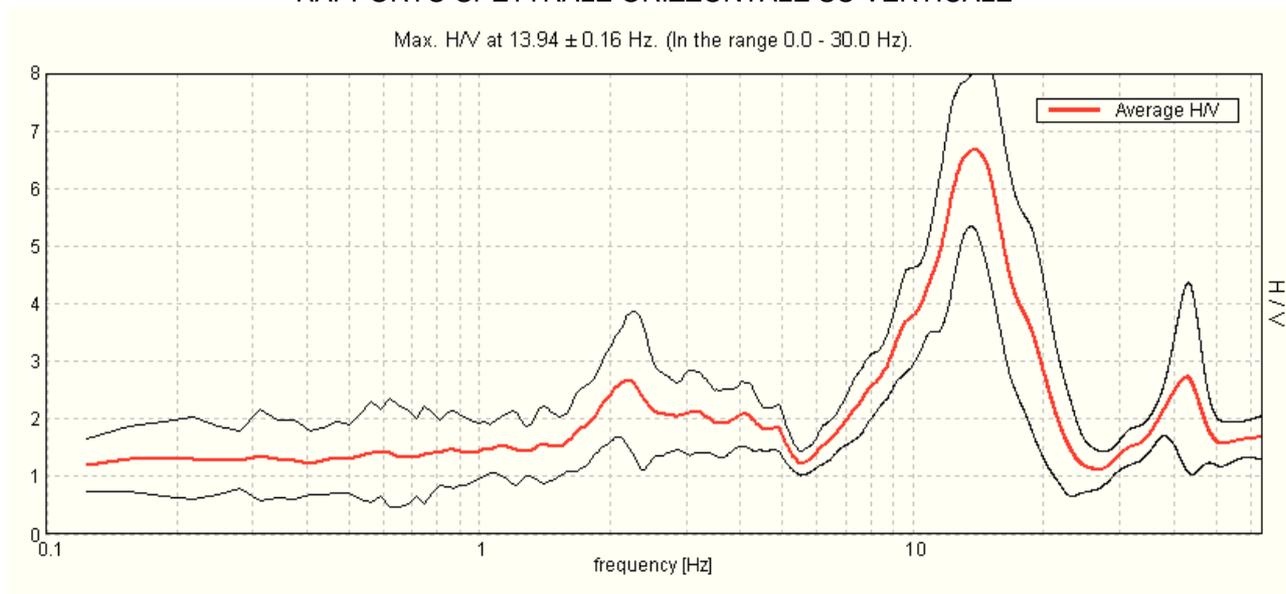
L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere i diagrammi specifici ovvero gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN) e lo spettro del moto del suolo (H/V) (vedi elaborato specifico).

In fase di elaborazione dati, inoltre, è stata eseguita anche un'analisi H/V con una percentuale di *smoothing* inferiore ovvero pari all'1% (qui non riportata) in modo tale da individuare i vari i picchi antropici e le loro frequenze; tale analisi conferma, sostanzialmente, che i picchi H/V alle frequenze individuate sono di natura stratigrafica.

La presenza di significative impedenze sismiche viene segnalata con l'elaborazione degli spettri HVSR, e delle tre componenti spaziali. I risultati analitici sono riportati in forma grafica in Allegato 1. L'analisi degli esiti di questa indagine può essere associata alle conoscenze di sottosuolo (stratigrafia e geomeccanica), ed alle misure eventualmente ottenute da altre indagini geofisiche.

L'andamento della curva H/V permette di rilevare la presenza di contrasti di rigidità evidenziati da picchi della linea rossa (average H/V) che sale a valori superiore a 2.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



Frequenze di risonanza

La curva H/V mostra tre picchi di frequenza: 40 Hz - 14 Hz - 2-3 Hz

Tutti e tre i picchi si ritengono affidabili e di origine stratigrafica.

Si osserva che il picco a più bassa frequenza (2-3 Hz) non è molto ampio e poco definito quindi poco rilevante, mentre significativo è il picco intorno ai 14 Hz che è attribuibile ad un netto passaggio di rigidità stimato intorno ai 5 m di profondità. Per quanto riguarda il picco sui 40 Hz, è attribuibile al passaggio tra i terreni vegetali superficiali e il substrato sub affiorante presente a profondità inferiori al metro.

Si ricorda che il range tipico di interesse ingegneristico/strutturale delle costruzioni è compreso tra circa 1-10 Hz.

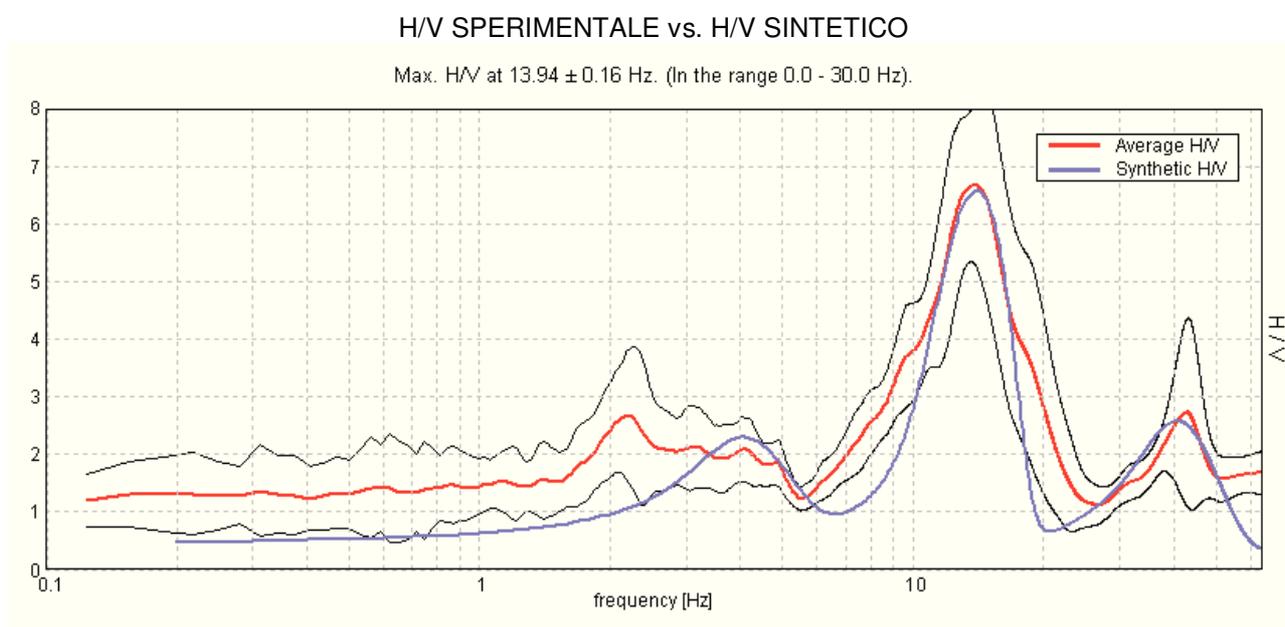
Si lascia allo strutturista il calcolo della frequenza di vibrazione della struttura in esame. La conoscenza di tale caratteristica è necessaria per valutare l'esistenza di eventuali incrementi dell'ampiezza delle oscillazioni sismiche, legati a fenomeni di doppia risonanza tra la frequenza fondamentale dei terreni e il primo modo di vibrare della struttura in progetto.

Valutazione della Vs30

La procedura è la seguente: la curva sperimentale HVSR, che ha il grande vantaggio rispetto ai singoli spettri di fornire una correzione automatica per il livello assoluto del tremore, viene fittata con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte) di sottosuolo, che è sempre indipendentemente noto dalle indagini geognostiche eseguite a corredo del progetto edilizio.

La procedura di inversione consiste in 3 passi:

- 1) identificazione di un orizzonte stratigrafico superficiale (di solito ad alcuni metri di profondità),
- 2) identificazione del marker HVSR corrispondente,
- 3) fit della curva HVSR teorica utilizzando 1) e 2) come vincoli (vedi figura seguente).

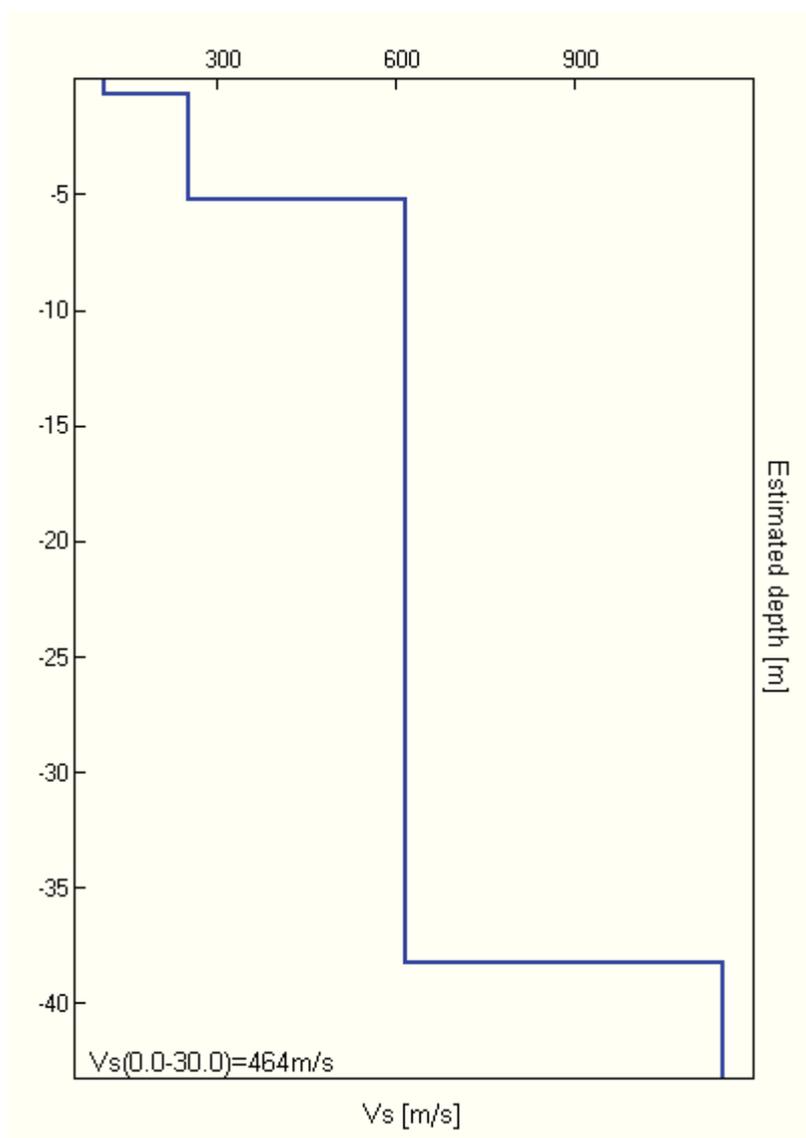


La curva HVSR teorica è calcolata assumendo un campo di tremore con sorgenti puntuali distanti posizionate casualmente sulla superficie, ed un campo d'onde che si propagano in un mezzo stratificato 1-D, con i coefficienti di accoppiamento di Ben-Menahem e Singh (1981), correzione di stabilità di Dunkin (1965) per i propagatori e con valori di Q indipendente dalla frequenza. Il fit della curva HVSR fornisce un modello stratigrafico sismico dell'andamento di Vs con la profondità da cui è immediato calcolare Vs30.

Di seguito si riporta il profilo delle Vs ottenuto, che schematizza il modello di sottosuolo geosismico fino al bedrock, che presenta valori di Vs > 800 m/s.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.70	0.70	110	0.35
5.20	4.50	250	0.35
38.20	33.00	615	0.35
inf.	inf.	1150	0.35

Vs(0.0-30.0)=464m/s



3.4 CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO – ANALISI SEMPLIFICATA

L'analisi dei dati ottenuti con l'indagine geofisica unitamente alle conoscenze geologiche e litostratigrafiche, permette di ottenere un modello di sottosuolo che in prima approssimazione viene ricondotto alla classificazione semplificata tipica delle categorie di sottosuolo definite dalle NTC 2008.

Sulla base di questi dati, e dato il limitato intervento edilizio, non si è ritenuto necessario eseguire ulteriori approfondimenti d'indagine geofisica. il suolo di fondazione del sito d'intervento viene classificato come:

- suolo di fondazione Categoria B (DM 14/01/2008)

a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione stratigrafica **S_s=1.20**

Nel caso il Progettista non ritenesse idoneo tale approccio semplificato sarà necessario ricorrere all'analisi di RSL (Risposta Sismica Locale) con utilizzo di accelerogrammi e codici di calcolo, al fine di una migliore e più approfondita valutazione delle azioni sismiche attese.

3.5 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (3.2.2 NTC)

Condizioni topografiche – amplificazione topografica S_T

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche		Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S _T		
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S _T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	T1	-	1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

L'area in esame si colloca in posizione di dorsale con il pendio a valle che presenta pendenze intorno ai 21-22°.

Pertanto la **categoria topografica è T3** a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione: **S_T=1.2**.

3.6 CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI DEL SITO (D.M. 14-01-2008)

I parametri spettrali necessari per definire l'azione sismica di progetto vengono determinati inserendo:

- a) Classe dell'edificio II - Cu = 1
- b) vita nominale della costruzione : 50 anni
- c) azione sismica : stato limite di salvaguardia della vita (tempo di ritorno : 475 anni)

I parametri tabellati sono sempre riferiti al substrato rigido. Oltre ad ag si riportano anche altri due parametri:

- Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore del sito viene ottenuto tramite la media pesata dei valori che si riferiscono ai quattro punti del reticolo che comprendono l'area in oggetto mediante la seguente formula:

$$p = \frac{\sum_1^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_1^4 \frac{1}{d_i}}$$

Dove :

p = valore del parametro di interesse nel punto in esame

pi = valore del parametro di interesse nell'i-simo punto della maglia elementare contenete il punto in esame

di = distanza del punto in esame dall'i-simo punto della maglia suddetta

Parametri sismici

Di seguito si riportano i parametri e i coefficienti sismici del sito.

Sito in esame		Siti di riferimento		
latitudine:	44,3232766912662	Sito 1 ID: 17611	Lat: 44,3051Lon: 10,8360	Distanza: 2446,209
longitudine:	10,8533502082896	Sito 2 ID: 17612	Lat: 44,3067Lon: 10,9058	Distanza: 4565,631
Classe:	2	Sito 3 ID: 17390	Lat: 44,3566Lon: 10,9037	Distanza: 5457,259
Vita nominale:	50	Sito 4 ID: 17389	Lat: 44,3551Lon: 10,8338	Distanza: 3862,745

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T3
Periodo di riferimento:	50 anni
Coefficiente cu:	1

Parametri sismici		Operatività SLO	
Probabilità di superamento:	81 %	Ss:	1,200
Tr:	30[anni]	Cc:	1,450
ag:	0,056 g	St:	1,200
Fo:	2,499	Kh:	0,016
Tc*:		Kv:	0,008
	0,252[s]	Amax:	0,795
		Beta:	0,200

Parametri sismici		Danno SLD	
Probabilità di superamento:	63 %	Ss:	1,200
Tr:	50[anni]	Cc:	1,430
ag:	0,070 g	St:	1,200
Fo:	2,490	Kh:	0,020
Tc*:		Kv:	0,010
	0,265[s]	Amax:	0,987
		Beta:	0,200

Parametri sismici		Salvaguardia della vita SLV	
Probabilità di superamento:	10 %	Ss:	1,200
Tr:	475[anni]	Cc:	1,410
ag:	0,159 g	St:	1,200
Fo:	2,522	Kh:	0,055
Tc*:		Kv:	0,028
	0,292[s]	Amax:	2,252
		Beta:	0,240

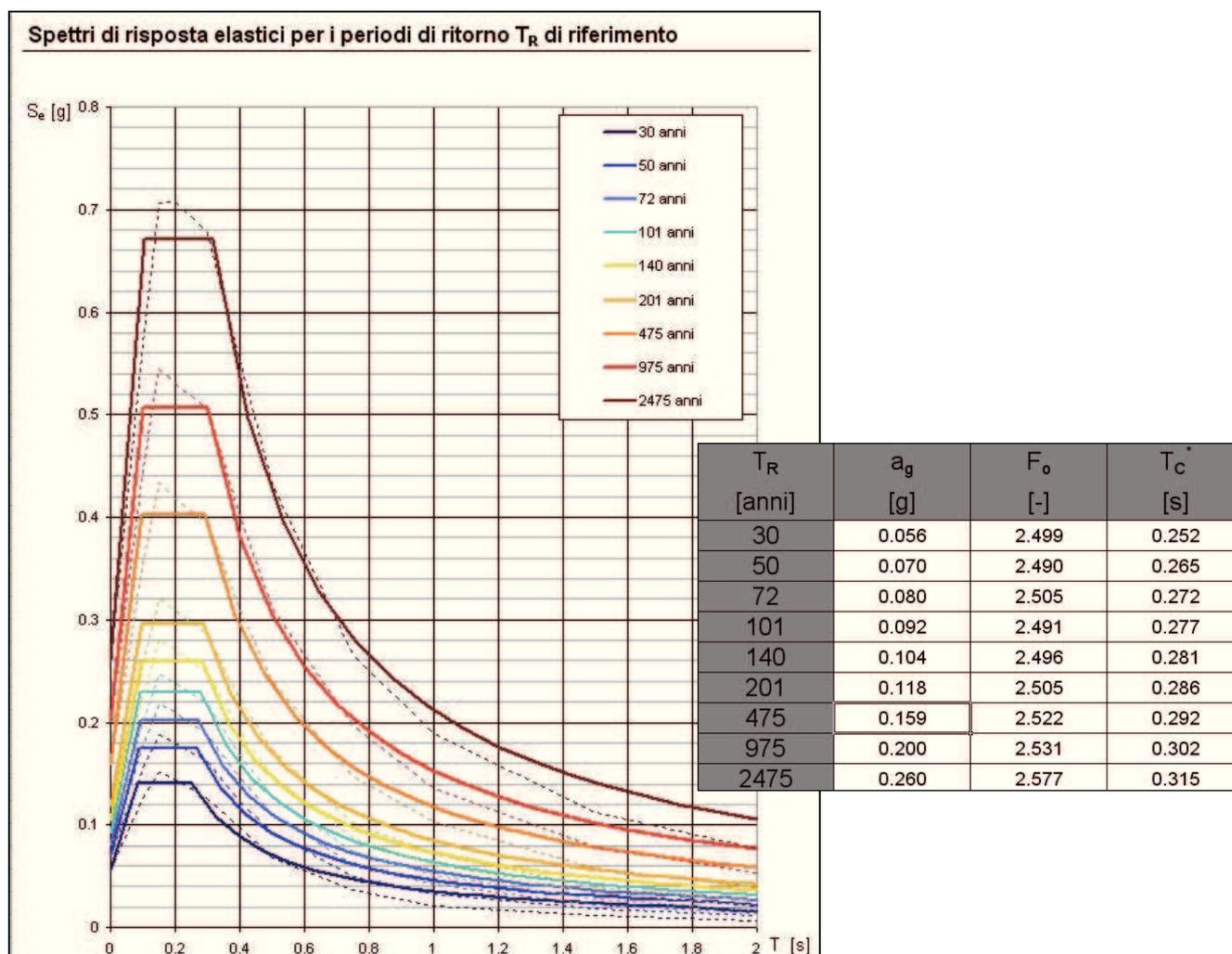
Parametri sismici		Prevenzione del collasso SLC	
Probabilità di superamento:	5 %	Ss:	1,200
Tr:	975[anni]	Cc:	1,400
ag:	0,200 g	St:	1,200
Fo:	2,531	Kh:	0,081
Tc*:	0,302[s]	Kv:	0,040
		Amax:	2,831
		Beta:	0,280

3.6.1 Valutazione dell'azione sismica - Spettri di risposta del sito

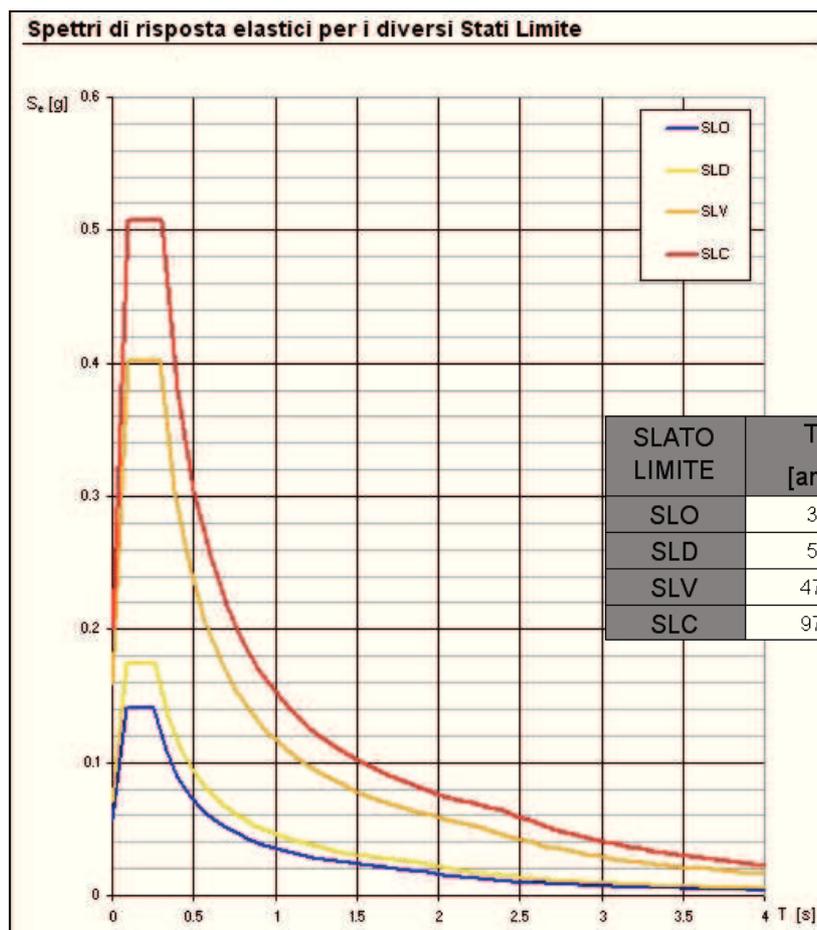
Il D.M. 2008 richiede di definire lo spettro di risposta elastico in accelerazione per il sito in esame. Tale spettro indica, per ciascuna frequenza, la risposta allo scuotimento massimo (da terremoto) di un oscillatore elastico smorzato semplice (struttura teorica tipo) con frequenza propria pari alla frequenza considerata.

Con T si intende il periodo fondamentale di risonanza dell'edificio (in secondi) e con ag l'accelerazione massima di picco del sottosuolo (pga) in caso di terremoto (m/s²).

Di seguito si riportano gli spettri elastici di risposta per periodo di ritorno Tr e per Stati limite.



Tratto da: sito CLSP – Software Spettri di Risposta Ver 1.0.3. Con linea continua gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

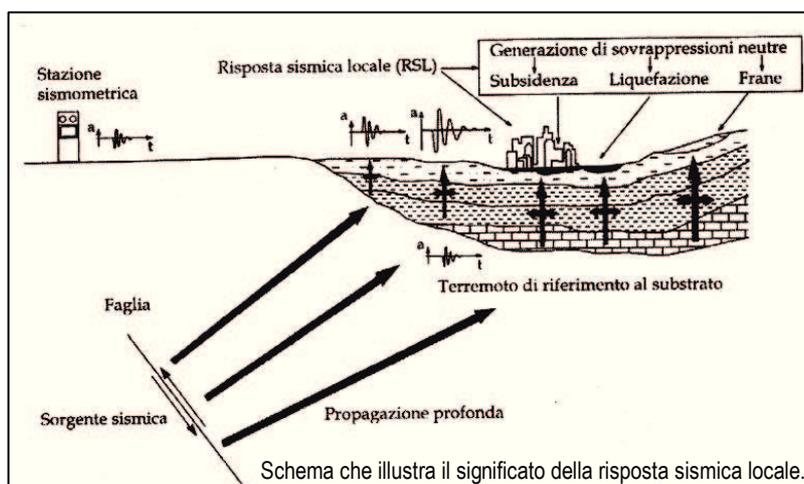


SLATO LIMITE	T _R [anni]	a _g [g]	F ₀ [-]	T _C ⁺ [s]
SLO	30	0.056	2.499	0.252
SLD	50	0.070	2.490	0.265
SLV	475	0.159	2.522	0.292
SLC	975	0.200	2.531	0.302

Tratto da: sito CLSP – Software Spettri di Risposta Ver 1.0.3.

3.7 PERICOLOSITÀ SISMICA ED EFFETTI LOCALI

La diversa entità dei danni prodotti da un terremoto nello stesso ambito territoriale dimostra che le azioni sismiche possono assumere, anche a distanze di poche decine di metri, caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni



geologiche che caratterizzano un dato ambito territoriale (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, ecc). La microzonazione sismica si propone di studiare e valutare quantitativamente l'influenza che le condizioni geologiche locali hanno sui movimenti del suolo durante un evento sismico.

Il risultato di uno studio di questo tipo si traduce in una carta di dettaglio (carta della microzonazione sismica) che pone limitazioni di natura urbanistica e fornisce prescrizioni di progetto per le costruzioni che, in alcuni casi, possono anche risultare più gravose di quelle contemplate dalle normative vigenti.

L'elemento base della microzonazione sismica è la valutazione della "risposta sismica locale" (RSL). Con tale termine s'intende l'insieme delle modifiche in intensità, ampiezza e frequenza, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraverso gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

Amplificazione sismica – Considerazioni generali

Terreni con caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti possono, in condizioni di sollecitazione sismica, perdere temporaneamente o permanentemente la capacità portante a loro ascrivibile in condizioni statiche, causando cedimenti e lesioni negli edifici, anche se questi sono stati costruiti secondo criteri tali da far loro sopportare le sollecitazioni indotte dai terremoti attesi.

Altro caso riguarda l'effetto di liquefazione in condizioni sismiche dei terreni sabbiosi saturi che, sotto sollecitazioni cicliche, tendono a perdere la loro resistenza al taglio.

In alcuni casi, le particolari caratteristiche del sito, sia di tipo morfologico sia derivanti dalla natura del substrato, possono determinare effetti di amplificazione delle sollecitazioni, rispetto ad una situazione tipo. Si precisa che la situazione tipo è in generale definita da un'area pianeggiante con roccia granitica come appoggio per le strutture di fondazione degli edifici oppure, negli studi di microzonazione sismica, come il substrato roccioso (bedrock) che risente del terremoto di riferimento per il sito in questione, rispetto al quale si verifica l'eventuale effetto di amplificazione.

Tale effetto di amplificazione è legato alla presenza di terreni con rigidità inferiori a quella di riferimento; tale condizione di minore rigidità può ad esempio essere espressa dal valore dell'impedenza acustica della roccia (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche): più l'impedenza acustica della roccia è minore rispetto a quella della roccia di riferimento più l'effetto di amplificazione si rende evidente.

L'effetto di amplificazione sismica si risente poi anche quando il substrato è costituito da "terreni" (in senso geotecnico: terreni quaternari, depositi superficiali, ecc.), che per la loro stessa natura sono caratterizzati da valori di impedenza acustica sempre inferiori a quelli della roccia di riferimento. In questi casi, tuttavia, accade spesso che il fenomeno di amplificazione non risulta la causa delle lesioni e dei crolli degli edifici costruiti su questi terreni. In effetti, sono le caratteristiche geotecniche dei medesimi, che in condizioni di sollecitazione sismica tendono a peggiorare decisamente, a determinare i crolli: a causa della perdita di capacità portante alle strutture di fondazione, che avviene prima che l'effetto di amplificazione venga risentito dalla struttura degli immobili.

Di base, i due coefficienti di amplificazione che normalmente si considerano in mancanza di studi specialistici sono: S (in base al profilo stratigrafico e tipo di suolo) e S_T (coefficiente di amplificazione topografica).

3.8 EFFETTI DI SITO – MICROZONAZIONE SISMICA

L'esperienza e le ricerche sul terreno, hanno messo in evidenza l'esistenza di aree che tendono a risentire maggiormente degli effetti distruttivi delle scosse telluriche, rispetto ad altre aree poste nelle loro immediate vicinanze. Tale comportamento è legato alla possibilità del verificarsi di diversi tipi di fenomeni: effetto d'instabilità da terremoto, amplificazione sismica per caratteristiche litologiche, amplificazione sismica per caratteristiche topografiche, liquefazione, cedimenti.

Per l'area in esame, si escludono effetti locali indotti da instabilità, liquefazione e da cedimenti.

Nei Cap. 3.3-3.4-3.5 sono stati valutati gli effetti dovuti alle caratteristiche litologiche e a quelle topografiche.

Dalla consultazione dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Pavullo, di seguito si riporta la "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", nella quale la frazione di Lavacchio rientra nella *zona 1* (zona stabile suscettibile di amplificazione locali).

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Zona 1 (Substrato geologico non rigido stratificato NRS)

S

Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli lapidei prevalenti: rapporto L/P > 3.

$F_x = F_A.PGA = 1.6/1.8$
 $F_y = F_A IS 0,1-0,5 s = 1.6/1.7$
 $F_z = F_A IS 0,5-1,0 s = 1.4/1.5$

Lo studio geologico e sismico svolto conferma in linea generale la classificazione attribuita con lo Studio di Microzonazione Sismica comunale, con alcune doverose specifiche emerse dall'indagine specifica eseguita in sito:

- presenza, oltre che di amplificazione stratigrafica, di possibile amplificazione topografica legata alla morfologia a dorsale con fianchi ripidi ($i > 20^\circ$) del sito;
- velocità $V_s > 800$ m/s del substrato sismico.





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

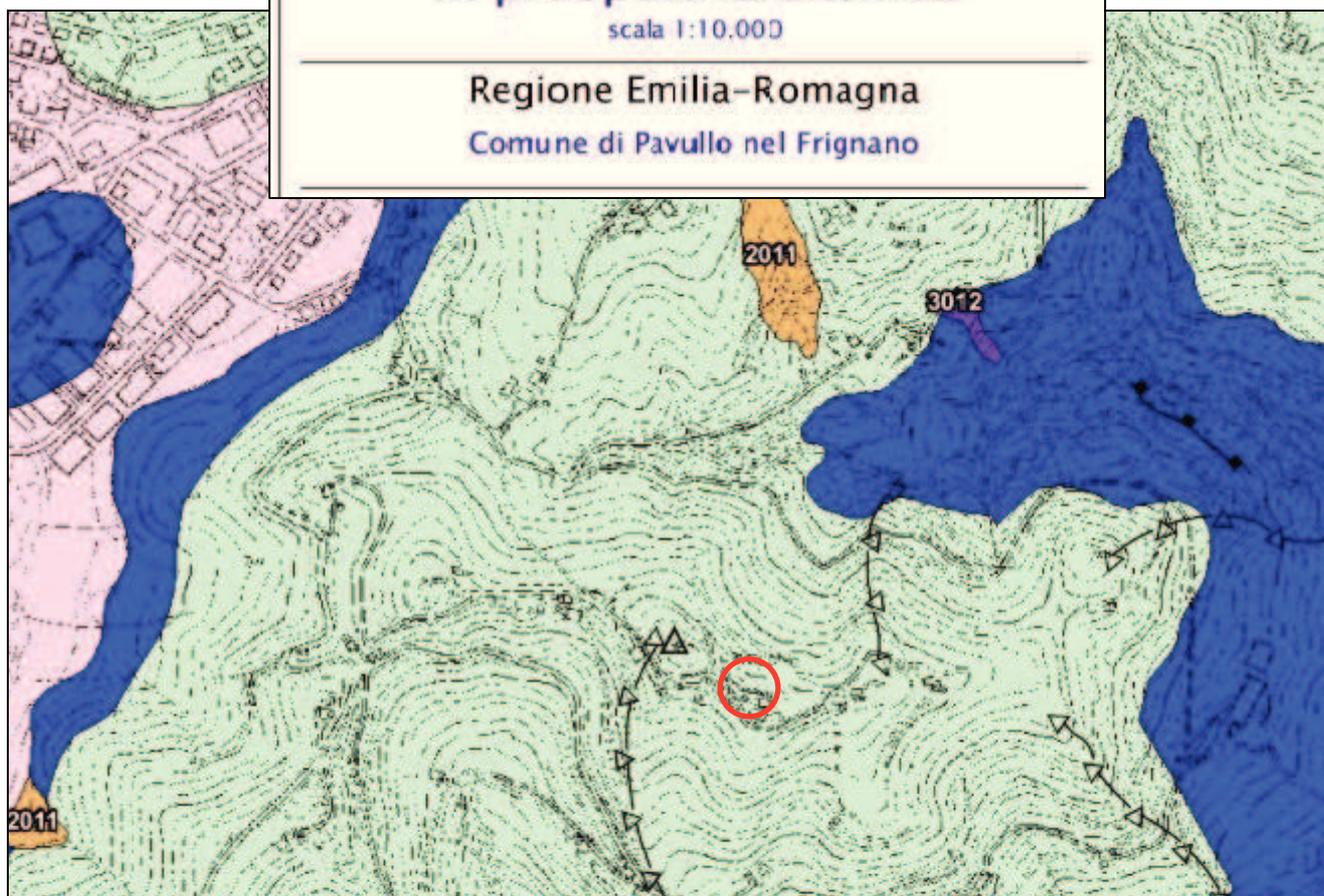
MICROZONAZIONE SISMICA

Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

scala 1:10.000

Regione Emilia-Romagna

Comune di Pavullo nel Frignano



Legenda

<p>Zone stabili</p> <ul style="list-style-type: none"> Lapideo Coesivo sovraconsolidato 	<p>Zone suscettibili di instabilità</p> <ul style="list-style-type: none"> Instabilità di versante attiva Instabilità di versante quiescente Cadimenti differenziali
<p>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</p> <ul style="list-style-type: none"> Zona 1 Zona 2 Zona 3 Zona 4 Zona 5 Zona 6 Zona 7 Zona 8 Zona 9 Zona 10 Zona 11 Zona 12 	<p>Forme di superficie e sepolte</p> <ul style="list-style-type: none"> Falda detritica Cono di alluvionale Orlo di scarpata morfologica >20m creste valle sepolta larga valle sepolta stretta Picco isolato Sinkho e, g.otte, cavità isolate Traccia per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche

4. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

4.1 MODELLO GEOLOGICO

Nell'area in esame è stato eseguito uno studio geologico basato sul rilevamento diretto e dall'analisi visiva dei terreni di substrato, che si presenta in condizioni di sub-affioramento.

I caratteri della formazione sono ben visibili in diversi punti dell'abitato di Lavacchio. Nell'immediato intorno inoltre, il rilevamento diretto ha permesso di individuare alcuni affioramenti della formazione di substrato che evidenziano la presenza di arenarie e arenarie-marnose. Tutti gli ammassi rocciosi in affioramento si presentano intensamente alterati dagli agenti atmosferici e fratturati, con orientazione del sistema di lesioni tale da isolare blocchi e massi di dimensioni anche metriche.

4.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI CAMPAGNA - CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

A completamento delle conoscenze bibliografiche, si è voluto condurre un'indagine diretta volta alla caratterizzazione litostratigrafica specifica del terreno di fondazione, mediante l'esecuzione n° 1 scavo (Fig. 15 - All. 1).

Di seguito viene descritta la sequenza litostratigrafica intercettata con lo scavo.

LITOSTRATIGRAFIA- SCAVO 1

0.0 ÷ 0.5 metri	Terreno agrario-vegetale passante a falda di detrito a media compattazione e ben drenata, con abbondante frazione grossolana di disfacimento.
0.5 ÷ 1.0 metri	Arenarie marnose cementate, fratturate e alterate in disfacimento, asciutte. Si tratta di una litologia di substrato alterato.

In fase esecutiva degli scavi di fondazione sarà necessario verificare e accertare puntualmente gli assunti litostratigrafici e geotecnici scelti nella presente relazione.

4.3 IDROLOGIA SOTTERRANEA

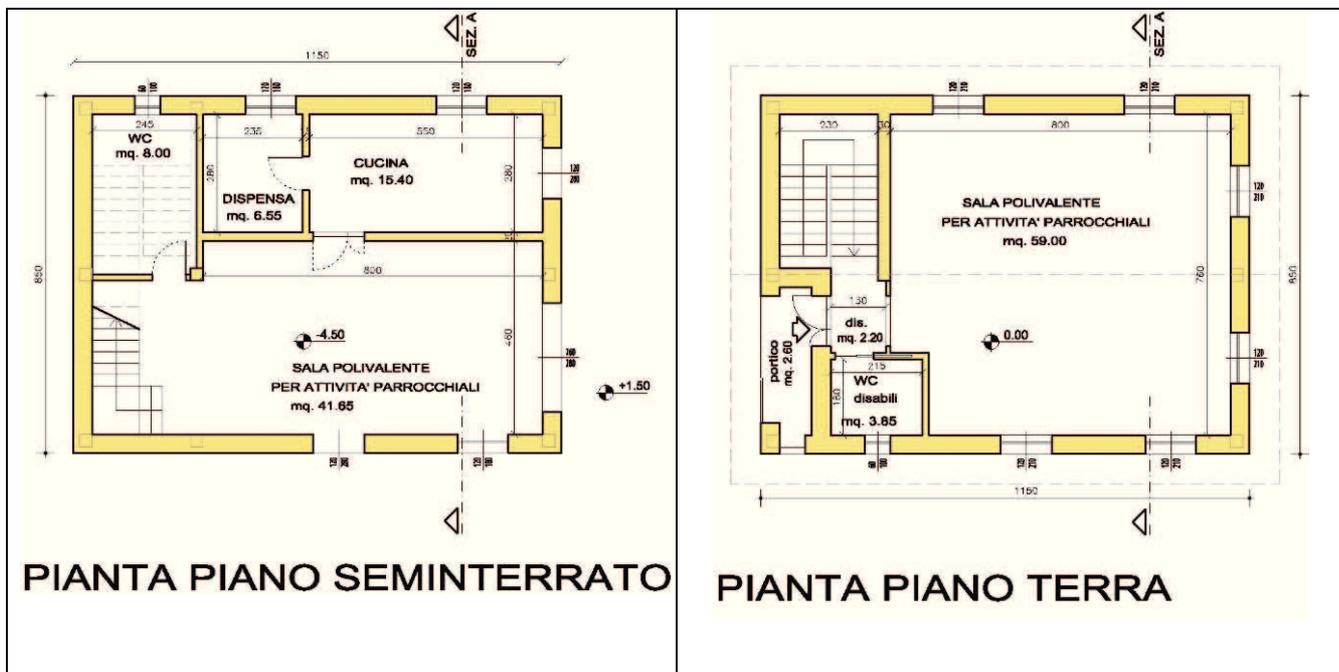
Per quanto riguarda la conformazione e il regime idrologico del sottosuolo, nel sito e nello scavo non sono state rilevate emergenze acquifere superficiali.

Nel corso dei lavori, sarà opportuno operare un efficace sistema di cattura drenante posto a retro del muro contro terra alla quota del piano di fondazione. Le eventuali acque raccolte andranno adeguatamente smaltite nella rete di scolo esistente, evitando dispersioni superficiali.

4.4 TIPOLOGIA D'INTERVENTO

Nell'area in studio è in previsione la costruzione di un fabbricato a servizio della Parrocchia. Per le caratteristiche dimensionali e costruttivi si rimanda agli elaborati progettuali.

FIGURA 17 – PIANTE E SEZIONE DI PROGETTO scala grafica



4.5 CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE INDIVIDUATE

Sulla base delle indagini svolte, e tramite la comparazione con litologie confrontabili dal punto di vista geotecnico (fonti bibliografiche), di seguito si riportano i valori indicativi dei parametri geotecnici di resistenza

Parametri geotecnici nominali					
Strati	γ	C'	ϕ	Cu	Ed
prof. in m	(t/mc)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)
Falda detritica (0-0.5 m)	1.8	10	24	70	5000
Substrato arenaceo >0.5/1 m	2.1	-	34	-	30000

Legenda: γ peso di volume; C' coesione efficace ϕ angolo d'attrito; Cu coesione non drenata; Ed modulo edometrico

Si tratta di parametri geotecnici definiti attraverso una stima ragionata e cautelativa che ha voluto tener conto del tipo di indagini svolte.

4.6 PROPOSTA DI TIPOLOGIA DI FONDAZIONE

Quanto riportato in questo capitolo è una proposta che fa seguito alla modellazione geologica del sito; rimane in capo allo strutturista l'individuazione della scelta progettuale definitiva.

Dalle verifiche eseguite, si può indicare come idoneo, per la realizzazione del fabbricato, l'utilizzo di fondazioni superficiali, tipo trave rovescia.

Nella scelta della profondità fondale andrà tenuto conto che il D.M.14/01/2008 prescrive che il piano di fondazione deve essere situato sotto la coltre di terreno vegetale nonché sotto lo strato interessato dal gelo e da significative variazioni stagionali del contenuto d'acqua (strato attivo).

Si consiglia comunque di eseguire l'appoggio delle fondazioni su terreni naturali con caratteristiche omogenee e raggiungere le litologie di primo substrato, garanti di maggiore resistenza e stabilità.

In fase esecutiva, l'apertura degli scavi di fondazione e la definizione delle relative quote di progetto permetterà di quantificare puntualmente la natura e i caratteri lito-tecnici dei terreni, e di conseguenza affinare eventualmente la profondità e il dimensionamento delle fondazioni.

5. VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

5.1 VERIFICHE CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) - GEO

In questo capitolo viene svolta la verifica della capacità portante del terreno di fondazione con sisma e in condizioni statiche.

Si ipotizza una tipologia di fondazione tipo trave rovescia con quota minima a -0.8 m

I parametri geotecnici assunti nelle verifiche, sono stati definiti attraverso una stima ragionata e cautelativa dei valori nello stato limite ultimo (SLU).

Le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) vengono condotte con la seguente metodologia e con i seguenti parametri:

FONDAZIONE A TRAVE ROVESCIA

- metodo	Hansen (1970), come illustrato da Bowles (1991)
- meccanismi di stato	cond. a breve e a lungo termine.
- coefficienti parziali	(NTC 2008 – Tab 6.2.II)
- approccio	approccio 2
- tipo fondazione	trave rovescia
- profondità d'imposta	-0.8 m
- inclinazione piano di campagna	10°
- ag	0.159 (Cu=1)
- Ss	1.2
- St	1.2

Di seguito si riportano i parametri geotecnici nominali assunti per il terreno di fondazione, si assumono cautelativamente i parametri dei terreni di copertura.

PARAMETRI GEOTECNICI NOMINALI PER IL TERRENO DI FONDAZIONE

Terreno di fondazione	γ	C'	ϕ	Cu	Ed
Falda detritica di copertura	(t/mc)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)
	2.1	-	34°	-	30000

Legenda: γ peso di volume; C' coesione efficace ϕ angolo d'attrito; Cu coesione non drenata; Ed modulo edometrico

L'elaborazione al 5° percentile di distribuzione della media permette di ottenere i valori caratteristici: $\phi_k, C_{uk}, C_k, E_{dk}$.

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI E DI PROGETTO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Terreno di fondazione	C'k	ϕ_k	Cuk	Edk
	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)
	-	32.2°	-	28440

L'elaborazione con l'Approccio 2, fornisce i seguenti risultati della capacità portante.

Si sottolinea che queste verifiche potranno eventualmente essere affinate in accordo con lo Strutturista.

CAPACITÀ PORTANTE – SLV (SISMA)

Approccio	Combinazione	Coeff. rid. cap. port.	Resistenza di progetto Rd (Kpa) Ver. breve termine (CU)	Resistenza di progetto Rd (Kpa) Ver. lungo termine ϕ, c (CD)
2	(A1+M1+R3)	2.3	-	108

VERIFICA A LUNGO TERMINE (ϕ, c) - Approccio 2 (A1+M1+R3)				
CAPACITÀ PORTANTE FONDAZIONI				
Metodo di Hansen, 1970, come illustrato da Bowles, 1991*				
Riferimenti normativi: DM 14/01/08 e Circ. CCSSLLPP 617/09				
	Rd	108	kPa	Ed 100 kPa
		Ed <= Rd, OK, verificato!		
INPUT GEOTECNICO				
FS globale gamma-R	γ_R	2.30		
Inerzia della struttura K_{hi} (C7.11.5.3.1)	K_{hi}	0.200	$K_{hi} = S(d)T1$	
Inerzia del suolo: K_{hk} (C7.11.5.3.1.7.)	K_{hk}	0.055	$K_{hk} = \beta s^* ag^* Ss^* St$	
Carico verticale sulla fondaz, KN	N_d	100		
Angolo di attrito, di progetto gradi	Φ_d	32.2	dc	1.32
coesione di progetto, kPa	cd	0	dq	1.22
Densità terreno sotto la fondaz, $kN m^{-3}$	$\gamma' f$	21	dy	1
Densità vespaio o riporto, $kN m^{-3}$	$\gamma' v$	22		
Profondità di incasso, m	D	0.8	ic	0.57
Larghezza di fondazione, m	B	1	iq	0.59
Lunghezza fondazione, m	L	1	iy	0.47
Eccentricità secondo B, m	eb	0		
Eccentricità secondo L, m	el	0	zy	0.97
Inclinazione del piano campagna, gradi	b	10		
Forze inerziali del suolo? (s = si, n = no)	z	s	ry	1
Frazione spinta passiva, %	Epd	0		

CAPACITÀ PORTANTE – SLU (COND. STATICHE)

Approccio	Combinazione	Coeff. rid. cap. port.	Resistenza di progetto Rd (Kpa) Ver. breve termine (CU)	Resistenza di progetto Rd (Kpa) Ver. lungo termine (CD)
2	(A1+M1+R3)	2.3	-	265

VERIFICA A LUNGO TERMINE (ϕ, c) - Approccio 2 (A1+M1+R3)				
CAPACITÀ PORTANTE FONDAZIONI				
Metodo di Hansen, 1970, come illustrato da Bowles, 1991*				
Riferimenti normativi: DM 14/01/08 e Circ. CCSSLLPP 617/09				
	Rd	265	kPa	Ed 100 kPa
		Ed <= Rd, OK, verificato!		
INPUT GEOTECNICO				
FS globale gamma-R	γ_R	2.30		
Inerzia della struttura K_{hi} (C7.11.5.3.1)	K_{hi}	0.000	$K_{hi} = S(d)T1$	
Inerzia del suolo: K_{hk} (C7.11.5.3.1.7.)	K_{hk}	0.000	$K_{hk} = \beta s^* ag^* Ss^* St$	
Carico verticale sulla fondaz, KN	N_d	100		
Angolo di attrito, di progetto gradi	Φ_d	32.2	dc	1.32
coesione di progetto, kPa	cd	0	dq	1.22
Densità terreno sotto la fondaz, $kN m^{-3}$	$\gamma' f$	21	dy	1
Densità vespaio o riporto, $kN m^{-3}$	$\gamma' v$	22		
Profondità di incasso, m	D	0.8	ic	1
Larghezza di fondazione, m	B	1	iq	1
Lunghezza fondazione, m	L	1	iy	1
Eccentricità secondo B, m	eb	0		
Eccentricità secondo L, m	el	0	zy	1
Inclinazione del piano campagna, gradi	b	10		
Forze inerziali del suolo? (s = si, n = no)	z	s	ry	1
Frazione spinta passiva, %	Epd	0		

Dalle verifiche svolte emerge che i valori della resistenza di progetto, risultano:

$R_d = 108 \text{ Kpa}$ ($R_d = 1.08 \text{ kg/cm}^2$) approccio 2 – SLV sisma

$R_d = 265 \text{ Kpa}$ ($R_d = 2.65 \text{ kg/cm}^2$) approccio 2 – SLU cond. statiche

6. CONSIDERAZIONI FINALI

Nell'area in esame (Fig. 1-2), è stato eseguito uno studio volto alla ricostruzione degli aspetti geologici e sismici connessi con la realizzazione di un fabbricato a servizio della Parrocchia.

Lo studio ha messo in evidenza i seguenti aspetti:

- il terreno di fondazione è caratterizzato da un debole spessore di falda di detrito medio-grossolano a media compattazione e ben drenato; al di sotto di intercettano arenarie marnose consistenti.
- I dati geologici e geomorfologici rilevati permettono di apprezzare le attuali buone condizioni di stabilità naturali del sito.
- Non si rilevano processi erosivi da parte delle acque meteoriche.
- La caratterizzazione sismica dell'area ha permesso di classificare il suolo di fondazione come categoria B.
- L'accelerazione massima su suolo rigido e pari a $a_g = 0.159$ ($C_u=1$).
- Allo stato limite ultimo (SLV) l'ampl. stratigrafica $S_s=1,2$ l'ampl. topografica $S_t=T_3=1.2$.
- L'indagine sismica HVSR mostra tre picchi di frequenza: 40 Hz - 14 Hz - 2/3 Hz
- Per gli effetti di sito, si escludono fenomeni quali instabilità, liquefazione o cedimenti sismo-indotti. Si avrà invece amplificazione sismica per caratteristiche litologiche e topografiche.

Lo studio geologico e sismico svolto conferma in linea generale la classificazione attribuita con lo Studio di Microzonazione Sismica comunale (zona 1 - zona stabile suscettibile di amplificazione locali), con alcune doverose specifiche emerse dall'indagine specifica eseguita in sito:

- presenza, oltre che di amplificazione stratigrafica, di possibile amplificazione topografica legata alla morfologia a dorsale con fianchi ripidi ($i>20^\circ$) del sito;
- velocità $V_s>800$ m/s del substrato sismico.

Si raccomanda un adeguato allontanamento delle acque superficiali, attraverso congrue opere di canalizzazione, per ridurre i processi di infiltrazione.

Tenuto conto del modello geologico desunto dalle indagini condotte, si può indicare come idoneo l'utilizzo di fondazioni superficiali tipo trave rovescia con appoggio minimo a -0.8 m di profondità dal piano campagna attuale.

Le verifiche geotecniche della capacità portante del terreno di fondazione in cond. sismiche (S_{lu}/S_{lv} - Geo), hanno fornito i seguenti valori della resistenza di progetto:

$R_d = 108$ Kpa ($R_d=1.08$ kg/cm²) approccio 2 - SLV sisma

$R_d = 265$ Kpa ($R_d=2.65$ kg/cm²) approccio 2 - SLU cond. statiche

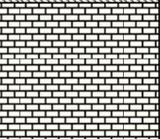
Dalle considerazioni sopra esposte, e nel rispetto delle prescrizioni indicate, si ritiene l'intervento edificatorio in progetto compatibile con le caratteristiche geologiche e sismiche dell'area.

Redatta a Pavullo il 22/10/2014



ALLEGATO - 1 -

SCAVO

Dott. Geol. SANTI BORTOLOTTI MARCO Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo n/F. (MO) Tel/Fax. (0536) 324233 - Cell. (339) 4679008			DATA ESECUZIONE 11/10/2014	METODO PERFOR Scavo	SCAVO N° 1	
PROPRIETA':			QUOTA -	ATTREZZO:		
LIVELLO ACQUA: DATA: 11/10/2014 mt. da p.c.: -			PROF. FORO 1.00	LOCALITA': Lavacchio - Pavullo n/F. (MO)		
			DIR. LAVORI: Dott. Geol. Santi Bortolotti			
			OPERATORE:			
metri	quota da p.c.	simbologia	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	POCKET kg/cmq	TORVANE kg/cmq	SPT
0.20	-0.50		Terreno agrario-vegetale passante a falda detritica a media compattazione e ben drenata con abbondante frazione grossolana di disfacimento.			
0.40						
0.60						
0.80	-1.00		Arenarie marnose, grigie, alterate, asciutte. Si tratta di una litologia di substrato alterato.			
1.00						
1.20		FINE SCAVO				
1.40						
1.60						
1.80						
2.00						
2.20						
2.40						
2.60						
2.80						
3.00						
3.20						
3.40						
3.60						
3.80						
4.00						
4.20						
4.40						
4.60						
4.80						
5.00						

SAGGIO N° 1



ALLEGATO - 2 -

INDAGINE SISMICA - HVSR

INDAGINE SISMICA - HVSR Lavacchio – Pavullo (Mo)

Strumento: TRZ-0162/01-11

Inizio registrazione: 11/10/14 12:42:23 Fine registrazione: 11/10/14 13:02:23

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

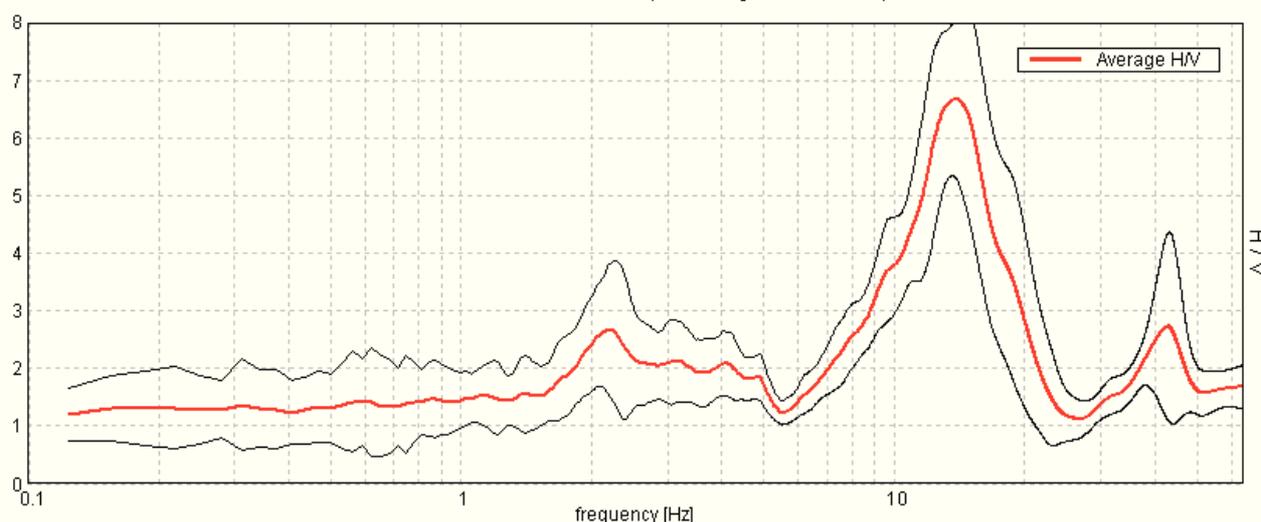
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

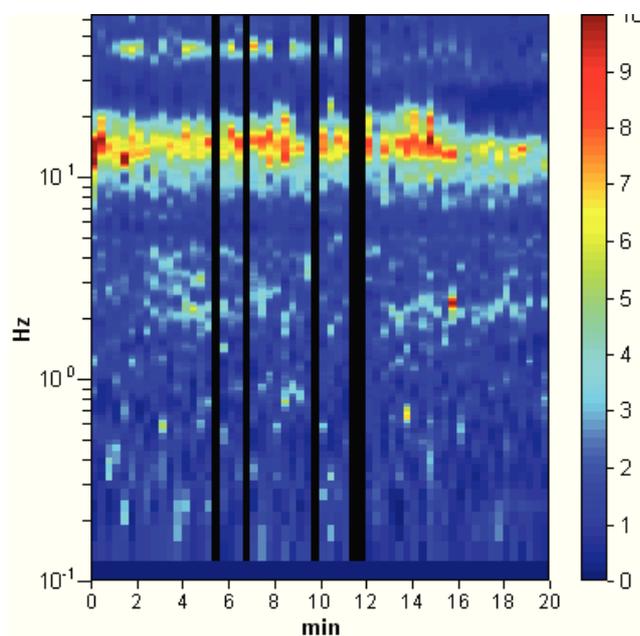
Tabella 1

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

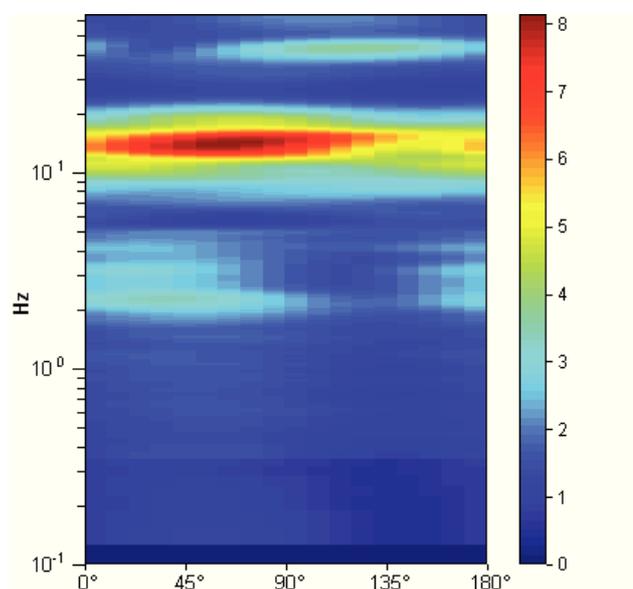
Max. H/V at 13.94 ± 0.16 Hz. (In the range 0.0 - 30.0 Hz).



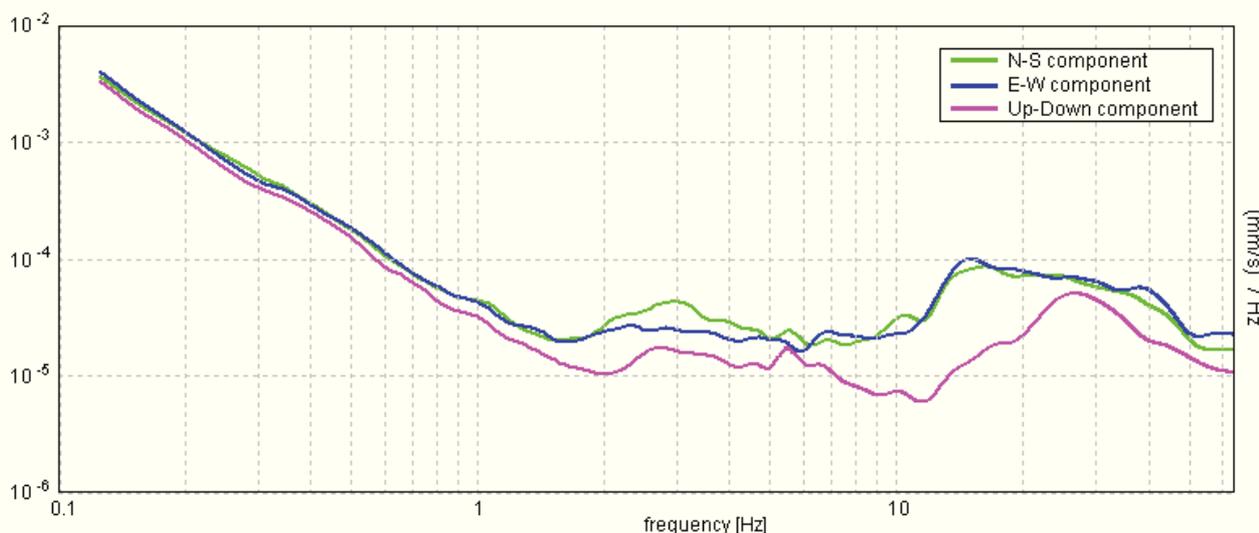
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 13.94 ± 0.16 Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	13.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	15331.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 670	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	9.156 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	19.219 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.67 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00578 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08049 < 0.69688	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6871 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 13.94 ± 0.16 Hz. (In the range 0.0 - 30.0 Hz).

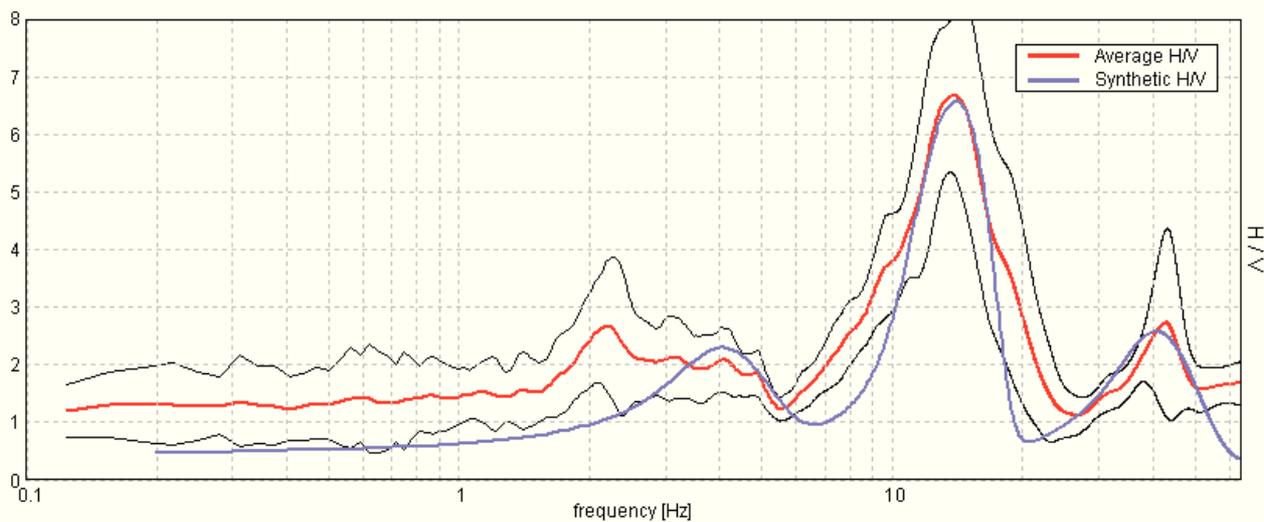


Tabella 2

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.70	0.70	110	0.35
5.20	4.50	250	0.35
38.20	33.00	615	0.35
inf.	inf.	1150	0.35

Vs(0.0-30.0)=464m/s

