

REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI CREMONA

## COMUNE DI CHIEVE

### VARIANTE N. 2

ALLE NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE (N.T.A.) DEL PIANO  
DELLE REGOLE DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO (P.G.T.)

### COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL P.G.T.

L.R. 11-03-2005 n° 12 \_ D.G.R. 22-12-2005 n° 8/1566

D.G.R. 28-05-2008 n° 8/7374 \_ D.G.R. 30-11-2011 n° 9/2616

## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

|   |   |
|---|---|
| Adozione:<br><br>Approvazione:  | Data:<br><br>Aprile 2019  |
| Il tecnico:<br><br><p style="text-align: center;"><b>Dott. Roberto Mariotti</b><br/><i>Geologo Specialista</i></p> <p>Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)<br/>tel/fax: 0372-23266      tel: 335-6958159<br/>e-mail: <a href="mailto:drmariotti.roberto@libero.it">drmariotti.roberto@libero.it</a><br/>pec: <a href="mailto:mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it">mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it</a></p> |  |

## SOMMARIO

|  |    |
|--|----|
| 1 – PREMESSA.....  | 1  |
| 2 – RIFERIMENTI NORMATIVI.....   | 2  |
| 3 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....  | 3  |
| 4 – INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....   | 4  |
| 5 – INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....   | 6  |
| 6 – INQUADRAMENTO SISMICO.....   | 8  |
| 6.1 – Definizione di rischio sismico e di pericolosità sismica.....                                      | 10 |
| 6.2 – Metodologia utilizzata.....  | 13 |
| 6.3 – Applicazione della metodologia al territorio comunale.....   | 16 |
| 6.3.1 – Primo livello di approfondimento.....  | 16 |
| 6.3.1.1 – Scenario di pericolosità sismica locale Z2a (cedimenti).....                                   | 17 |
| 6.3.1.2 – Scenario di pericolosità sismica locale Z2b (liquefazione).....                                | 19 |
| 6.3.1.3 – Scenario di pericolosità sismica locale Z4a<br>(amplificazioni litologiche e geometriche)..... | 23 |
| 6.3.2 – Considerazioni conclusive relative al 1° livello di approfondimento.....                         | 24 |
| 6.3.3 – Secondo livello di approfondimento.....  | 25 |
| 6.3.3.1 – Indagini sismiche realizzate.....  | 25 |
| 6.3.3.2 – Applicazione del 2° livello di approfondimento.....  | 31 |
| 6.3.4 – Considerazioni conclusive relative al 2° livello di approfondimento.....                         | 37 |
| 7 – FATTIBILITÀ GEOLOGICA.....   | 38 |
| 8 – NORME GEOLOGICHE DI PIANO.....   | 42 |
| Bibliografia.....  | 49 |

### Allegati nel testo

- All. 1 – Verifica della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche
- All. 2 – Indagini sismiche con metodo congiunto MASW-REMI – Rapporto tecnico
- All. 3 – Risultati grafici e tabulati indagini sismiche HVSR
- All. 4 – Approfondimento sismico di 2° livello
- All. 5 – Documentazione fotografica

### Allegati fuori testo

- Tav. 4A: Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello (scala 1: 10.000)
- Tav. 4B: Carta della pericolosità sismica locale di 2° livello (scala 1: 10.000)
- Tav. 5: Carta di fattibilità geologica (scala 1: 10.000)

## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

### 1 – PREMESSA

La presente relazione geologica e sismica è stata redatta, dietro incarico della Amministrazione Comunale di Chieve (CR), a supporto della Variante n. 2 alle Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A.) del Piano delle Regole del Piano di Governo del territorio (P.G.T.).

Il Comune di Chieve (CR) è dotato di Piano di Governo del Territorio (P.G.T.), adottato dal Consiglio Comunale con deliberazione n. 6 del 27 gennaio 2010 ed approvato dal Consiglio Comunale con deliberazione n. 35 del 5 luglio 2010.

Come disposto dall'art. 57 della l.r. 11 marzo 2005 n. 12 “*Legge per il governo del territorio*”, la componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. è stata definita all'interno della “*Relazione geologico-tecnica*”, redatta in maggio 2010 (aggiornata in maggio 2011) dal Dott. Geol. Alberto Soregaroli sulla base dei criteri attuativi della l.r. 12/2005 in vigore alla data di stesura della relazione (d.g.r. 8/1566/2005, d.g.r. 8/7374/2008).

Successivamente, in accordo con le disposizioni normative nazionali e coerentemente con la mappa di pericolosità sismica allegata all'O.P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519 “*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*”, la Giunta Regionale della Regione Lombardia ha approvato la d.g.r. 11 luglio 2014 n. X/2129 “*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)*”, entrata ufficialmente in vigore dal **10 aprile 2016**, disponendo per i Comuni riclassificati l'aggiornamento della componente sismica degli studi geologici di supporto agli strumenti urbanistici in occasione della revisione periodica del Documento di Piano del P.G.T..

In base a detto aggiornamento, il territorio comunale di Chieve è stato riclassificato da Zona Sismica 4 a Zona Sismica 3.

A seguito della riclassificazione sismica del territorio comunale, in considerazione del regime normativo più restrittivo e maggiormente attento alla componente sismica, sia a livello di pianificazione che di progettazione degli interventi, imposto dal passaggio alla Zona Sismica 3, l'Amministrazione Comunale ha conferito pertanto allo scrivente l'incarico di aggiornare la componente sismica del P.G.T., nonché di analizzare i principali aspetti geologici, geomorfologici, idrografici, idrogeologici e di fattibilità geologica del territorio comunale.

## 2 – RIFERIMENTI NORMATIVI

Si fornisce di seguito l'elenco della normativa di riferimento consultata per la realizzazione della presente relazione.

- **D.M. 17 gennaio 2018 (NTC18)** “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”.
- **O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274** “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*”, e succ. modifiche e integrazioni.
- **O.P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519** “*Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*”.
- **D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129** “*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)*”.
- **D.G.R. 10 ottobre 2014 n. X/2489** “*Differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014 n. 2129*”.
- **D.G.R. 8 ottobre 2015 n. X/4144** “*Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014 n. 2129*”.
- **L.R. 12 ottobre 2015 n. 33** “*Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche*”.
- **D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001** “*Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)*”
- **Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile** “*Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica*”.
- **L.R. 11 marzo 2005 n. 12** “*Legge per il governo del territorio*”.
- **D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616** “*Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005 n. 12*”.
- **D.G.R. 19 giugno 2017 n. X/6738** “*Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza...*”.
- **Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P) e succ. Var.** – approvato con delibera di C.P. n. 95 del 9 luglio 2003.
- **Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) del Comune di Chieve (CR) e succ. Var.** – approvato dal Consiglio Comunale con deliberazione n. 35 del 5 luglio 2010.

### 3 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il riferimento principale per l'analisi degli aspetti geologici e geomorfologici del territorio comunale è rappresentato dalla Tav. 1 “*Carta geomorfologica (scala 1:5.000)*” della relazione geologico-tecnica di supporto al P.G.T. comunale, nonché dalla cartografia geologica ufficiale (Fig. 46 “Treviglio” e Fig. 60 “Piacenza” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000) con le relative note illustrative.

La porzione orientale del territorio comunale, comprensiva del capoluogo e della zona industriale, ricade all'interno della formazione geologica pleistocenica (Pleistocene Superiore) di origine continentale denominata “*Fluvioglaciale Wurm-Riss (fg<sup>WR</sup>) – Diluvium Recente*” e “*Fluvioglaciale e Fluviale Wurm (fg<sup>W</sup>)*”, caratterizzata da depositi fluviali e fluvioglaciali sabbiosi e sabbioso limosi in superficie passanti a sabbie con ghiaia in profondità, con suolo di copertura generalmente inferiore al metro che rappresenta lo strato agrario.

Detti terreni definiscono il cosiddetto “*Livello Fondamentale della Pianura (L.F.P.)*”, ripiano terrazzato pianeggiante o lievemente ondulato che si sviluppa a quote altimetriche più elevate rispetto alle valli alluvionali dei principali corsi d'acqua attuali ed estinti, testimonianza dell'ultima grande fase di colmamento detritico della pianura.

La porzione occidentale del territorio comunale ricade invece all'interno della formazione geologica olocenica (Olocene Inferiore) di origine continentale denominata “*Alluvioni Antiche (a<sup>1</sup>)*”, caratterizzata da depositi alluvionali a litologia argilloso limosa, sabbiosa e/o sabbioso limosa in superficie, legati alla competenza delle paleocorrenti, passanti a sabbie con ghiaia in profondità, con suolo di copertura assente o molto ridotto.

Detti terreni definiscono l'ampia depressione valliva del fiume Adda, a morfologia subpianeggiante o lievemente ondulata, al cui interno sono ancora riconoscibili tracce di paleoalvei e paleomeandri del corso d'acqua.

Il passaggio tra il L.F.P. e la valle del fiume Adda è individuato in corrispondenza della scarpata morfologica fluviale che si sviluppa in direzione N-S in corrispondenza della porzione centrale del territorio comunale, testimonianza della consistente azione erosiva prodotta dalle acque del fiume Adda, il cui tracciato divagava con ampie forme a meandri liberi, che ha portato alla progressiva erosione dei depositi pleistocenici del L.F.P..

Tale scarpata morfologica, in alcuni tratti smussata e rimaneggiata dall'intervento antropico, presenta rigetti verticali dal ciglio superiore al piede sino a circa m. 8,00÷9,00 ed è intersecata nel tratto meridionale da tipiche "vallecole" di erosione concentrata e regressiva ad opera di acque di ruscellamento sviluppate in direzione O-E.

#### 4 – INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

I riferimenti principali per l'analisi degli aspetti idrografici del territorio comunale sono rappresentati dalla Tav. 2 "Carta idrogeologica e del sistema idrografico (scala 1:5.000)" della relazione geologico-tecnica di supporto al P.G.T. comunale e dalle tavole cartografiche (scala 1:5000) relative all'elaborato denominato "Determinazione del Reticolo Idrico Minore" redatto dallo Studio Agriter di Crema in novembre 2009, al quale si rimanda per approfondimenti.

Il reticolo idrografico è caratterizzato da una fitta rete di corsi d'acqua ad andamento N-S e O-E con funzione prevalentemente irrigua, sviluppati essenzialmente all'interno della valle del fiume Adda.

Si riportano nelle tabelle che seguono le rogge appartenenti al Reticolo Idrico Minore (R.I.M.) di competenza comunale ed alla Rete Irrigua Principale, con le relative denominazioni e descrizioni.

| RETICOLO IDRICO SUPERFICIALE                   | TOPONOMASTICA    |                    |                             |
|--|------------------|--------------------|-----------------------------|
|  | CTR              | Catastale          | Aerofotogrammetrico         |
| <u>Reticolo Idrico Minore</u>                  |                  |                    |                             |
| Roggia Melesa                                  | Roggia Melesa    | Roggia Melesa      | Roggia Melesa               |
| Roggia Valmarza                                | Roggia Valmazzo  | Roggia Valmarza    | Roggia Valmarza             |
| Roggia Nuova                                   | nd               | nd                 | nd                          |
| <u>Rete Irrigua Principale</u>                 |                  |                    |                             |
| Ramo Roggia Melesa                             | nd               | ramo Roggia Melesa | ramo Roggia Melesa          |
| Roggia Benzona                                 | Roggia Vedria    | Roggia Benzona     | Roggia Benzona              |
| Roggia Ramesa                                  | Roggia Caradella | Roggia Ramesa      | Roggia Ramesa della Benzona |
| Bocchello di Chieve della Roggia Comuna        | nd               | nd                 | nd                          |
| Bocchello di Santo Stefano della Roggia Comuna | nd               | nd                 | nd                          |

| RETICOLO IDRICO SUPERFICIALE   | DESCRIZIONE  |
|--------------------------------|--|
| <u>Reticolo Idrico Minore</u>  |  |
| Roggia Melesa                  | Nasce da fontanili in Bagnolo Cremasco. Sul confine tra i comuni di Casaletto Ceredano e Chieve si biforca: un ramo transita la zona occidentale e si immette nella Roggia Rosina, l'altro ramo attraversa l'abitato di Casaletto Ceredano, prosegue nel comune di Credera Rubbiano, ed ivi sfocia nel fiume Adda. Nel comune di Casaletto Ceredano per un breve tratto assume la denominazione di Roggia Vagno. |
| Roggia Valmarza                | Nasce in comune di Bagnolo Cremasco, a sud della c.n.a Bagnolasca di Sotto e prosegue verso sud, in territorio di Chieve, dove sfocia nella Roggia Benzona sul confine con la provincia di Lodi.   |
| Roggia Nuova                   | Ha origine nel territorio di Bagnolo Cremasco, presso la c.n.a Bagnolasca di Sopra, dall'unione del bocchello Fuga e del bocchello Vimercati. Prosegue verso sud, in comune di Chieve, dove si immette nella Roggia Valmarza.  |
| <u>Rete Irrigua Principale</u> |  |
| Ramo Roggia Melesa             | Diramazione della Roggia Melesa sul confine tra Chieve e Casaletto Ceredano. Si immette nella Roggia Rosina in Casaletto Ceredano.   |
| Roggia Benzona                 | Nasce dal fiume Tormo e da acqua di fontanili nel comune di Palazzo Pignano. Sul confine tra i comuni di Monte Cremasco e Crespatica si dirama: il ramo principale si esaurisce sul confine comunale di Chieve, il ramo secondario prende la denominazione di Roggia di Casa e si esaurisce nel comune di Crespatica.  |
| Roggia Ramesa                  | Ha origine da acque di colo in Bagnolo Cremasco sfocia nella Roggia Melesa in Chieve.  |

\* \* \*

Il territorio comunale non è interessato dalle fasce fluviali del “*Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po (P.A.I.)*”, redatto ai sensi dell’art. 17 comma 6 ter, adottato ai sensi dell’art. 18 – comma 10 della l. 183/89 con delibera del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del Fiume Po del 26 aprile 2001 n. 18 e successive modifiche e integrazioni, approvato con d.p.c.m. 24 maggio 2001.

Il territorio comunale non rientra inoltre nelle zone soggette a pericolosità idraulica ed a rischio idraulico, così come rappresentate nelle mappe di pericolosità e nelle mappe di rischio del “*Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.)*”, predisposto dalla Regione Lombardia in attuazione della Direttiva 2007/60/CE “*Direttiva Alluvioni*” e del d.lgs. 49/2010 ed approvato dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del fiume Po, aggiornamento ed integrazione del quadro conoscitivo rappresentato negli Elaborati del P.A.I., all’interno delle quali sono contenute rispettivamente la delimitazione/classificazione delle aree allagabili e la classificazione del grado di rischio al quale sono soggetti gli elementi esposti.

## **5 – INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO**

Il riferimento principale per l'analisi degli aspetti idrogeologici del territorio comunale è rappresentato dalla Tav. 2 “*Carta idrogeologica e del sistema idrografico (scala 1:5.000)*” della relazione geologico-tecnica di supporto al P.G.T. comunale.

L'assetto idrostratigrafico del sottosuolo è caratterizzato da una complessa successione di livelli acquiferi permeabili che si sviluppano in alternanza a livelli impermeabili di continuità laterale variabile, che si sviluppano per centinaia di metri al di sopra del substrato Terziario; le unità idrogeologiche che derivano da tale conformazione sono tipiche della “*Serie idrogeologica della medio-bassa pianura*” della provincia cremonese, che raggruppa terreni con proprietà idrogeologiche omogenee, all'interno dei quali circolano falde acquifere libere, semi-confinare e/o confinate in funzione della profondità e dell'assetto litostratigrafico dei corpi acquiferi.

L'assetto idrogeologico locale risulta definito dalla sovrapposizione di tre litozone dal diverso comportamento idrogeologico ed idraulico, le cui caratteristiche sono di seguito riportate.

Litozona superficiale (da 0 a 40-50 m circa di profondità da p.c.): costituisce l'acquifero superficiale sabbioso e sabbioso ghiaioso con presenza anche di ciottoli (verso nord), sede della falda freatica alimentata direttamente da apporti irrigui, precipitazioni ed infiltrazione dalla rete idrografica superficiale.

Litozona intermedia (da 40-50 a 100 m circa di profondità da p.c.): costituita prevalentemente da livelli e banchi argillosi ed argilloso torbosi, continui ed estesi arealmente, che confinano orizzonti acquiferi sabbiosi con ghiaietto, di spessore variabile e dall'incerta continuità laterale; svolge la funzione principale di separazione tra le litozone superficiale e profonda.

Litozona profonda (oltre 100 m circa di profondità da p.c.): è sede di acquiferi sabbiosi e sabbioso ghiaiosi continui, persistenti e di discreto spessore, che contengono falde acquifere in pressione, ben protette dalla litozona intermedia e da ulteriori banchi argillosi; le zone di alimentazione sono riconducibili alla fascia pedecollinare dell'alta pianura bergamasca e sono sfruttati dai pozzi pubblici ad uso idropotabile.

La realizzazione delle curve isopiezometriche della falda freatica (andamento medio relativo alla stagione invernale), sulla base di valori di soggiacenza della falda freatica rilevati in modo discontinuo nel corso degli anni, ha permesso di individuare una direzione di flusso essenzialmente NE-SO, verso il sistema drenante del fiume Adda.

La soggiacenza della falda freatica, influenzata perlopiù da fattori meteorologici (precipitazioni) ed antropici (irrigazioni), presenta valori generalmente superiori a m. 6,00 da p.c. in corrispondenza del Livello Fondamentale della Pianura (L.F.P.) e generalmente inferiori a m. 2,00 da p.c. all'interno della valle del fiume Adda.

\* \* \*

In riferimento alla vulnerabilità dell'acquifero superficiale, intesa come “*la possibilità di penetrazione e propagazione dalla superficie di sostanze inquinanti all'interno dei serbatoi naturali ospitanti la prima falda*”, il territorio comunale può essere suddiviso in tre diverse classi, di seguito riportate.

Vulnerabilità medio-bassa: assegnata al L.F.P., caratterizzato da suoli molto profondi, drenaggio buono, permeabilità moderata, con moderata capacità protettiva delle acque sotterranee; l'acquifero superficiale è sabbioso e/o sabbioso limoso con ghiaia e la soggiacenza della falda freatica è costantemente superiore a m. 6,00 da p.c..

Vulnerabilità medio-alta: assegnata al ripiano intermedio tra il L.F.P. e la valle del fiume Adda, delimitato da scarpate secondarie spesso rimaneggiate e zone più depresse di incisioni del L.F.P. urbanizzate lungo il confine nord, caratterizzato da suoli moderatamente profondi (80-140 cm), a drenaggio da lento a buono, permeabilità moderatamente elevata, con moderata capacità protettiva delle acque profonde; l'acquifero superficiale è sabbioso e/o sabbioso limoso con ghiaia e la soggiacenza della falda è compresa tra m. 2,00÷6,00 da p.c..

Vulnerabilità alta: assegnata alla piana alluvionale antica del fiume Adda, caratterizzata da suoli moderatamente profondi (80 cm), drenaggio buono o moderatamente rapido, permeabilità da moderata a moderatamente elevata, con moderata capacità protettiva delle acque profonde; l'acquifero superficiale è sabbioso e/o sabbioso limoso con ghiaia e la soggiacenza della falda è inferiore a m. 2,00 da p.c..

Relativamente alla vulnerabilità delle acque ai nitrati di origine agricola il territorio comunale con d.g.r. 11 ottobre 2006 n. 8/3297 “*Nuove aree vulnerabili ai sensi del D.lgs. 152/2006: criteri di designazione e individuazione*” è stato inserito nell'elenco dei comuni interamente compresi nell'area vulnerabile da nitrati provenienti da fonti agricole (agro-zootecniche); tale delimitazione è stata successivamente riconfermata con d.g.r. 7 marzo 2013 n. IX/4984.

## **6 – INQUADRAMENTO SISMICO**

Il riferimento normativo principale relativamente alla progettazione, all'esecuzione ed al collaudo delle costruzioni è rappresentato dal d.m. 17 gennaio 2018 “*Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018)*”.

La Regione Lombardia, con d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374 e la d.g.r. 30 novembre 2011 n. 9/2616, ha definito i criteri attuativi dell'art. 57 della l.r. 12/2005, all'interno delle quali viene più volte sottolineata l'importanza di una corretta definizione della componente sismica del P.G.T. comunale, da realizzarsi sulla base delle disposizioni nazionali e delle indicazioni tecniche previste dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*”.

L'O.P.C.M., che suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche, identificate attraverso una numerazione crescente al diminuire del sisma atteso, con successive integrazioni e/o modificazioni è entrata in vigore, per gli aspetti relativi alla classificazione sismica, il 23 ottobre 2005, in coincidenza con l'entrata in vigore del d.m. 14 settembre 2005 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”, il quale recepisce ed integra sia la documentazione tecnica dell'O.P.C.M. 3274/03 che la classificazione sismica in essa proposta.

Il Comune di Chieve, sulla base delle disposizioni dell'O.P.C.M. 3274/2003, è stato inserito in Zona Sismica 4, come confermato dalla Regione Lombardia con d.g.r. 14964/03 “*Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica»*”.

In recepimento del d.m. 14 settembre 2005 e delle indicazioni riportate in All. 1 dell'O.P.C.M. 3274/03 è stata emanata successivamente l'O.P.C.M. 28 aprile 2006 n° 3519 “*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*”, dove viene indicato che l'individuazione delle zone sismiche dovrà assumere come riferimento la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.), Gruppo di lavoro MPS 2004.

All'interno di tale mappa, allegata all'O.P.C.M. 3519/2006, vengono espressi i valori di accelerazione sismica di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in

50 anni, risultato di valutazioni relative alla **pericolosità sismica** che hanno avuto come riferimento la **zonazione sismogenetica ZS9**, realizzata per tutto il territorio nazionale dall'I.N.G.V..

In accordo con le disposizioni normative nazionali e coerentemente con la mappa di pericolosità sismica allegata all'O.P.C.M. 3519/2006, la Giunta Regionale ha approvato, con d.g.r. 11 luglio 2014 n. X/2129, l'aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia, entrato ufficialmente in vigore dal 10 aprile 2016.

A seguito di tale aggiornamento il territorio comunale di Chieve è stato riclassificato in **Zona Sismica 3**, pertanto dovrà essere adottato un regime normativo più restrittivo e maggiormente attento alla componente sismica sia a livello di pianificazione che di progettazione degli interventi.

\* \* \*

Allo stato attuale il concetto di zonazione sismica è stato totalmente superato, sostituito da un approccio di tipo quantitativo–probabilistico ed interpolatorio–deterministico che ha portato alla definizione ed alla realizzazione di un reticolo di riferimento su tutto il territorio nazionale, risultato di valutazioni relative alla pericolosità sismica che hanno avuto come riferimento la zonazione sismogenetica ZS9.

Pertanto, la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/03 e dell'O.P.C.M. 3519/06) ha un significato esclusivamente amministrativo, e nell'analisi della componente sismica del territorio comunale individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria.

La metodologia di valutazione proposta dalla Regione Lombardia in All. 5 della d.g.r. 2616/2011, *“Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T.”*, prevede difatti **tre livelli di approfondimento** con grado di dettaglio crescente; essa aggiorna le precedenti procedure di analisi, basandosi sui risultati ottenuti su alcune aree campione in territorio regionale dallo studio – pilota *“Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in determinati Comuni del territorio lombardo e supporto tecnico inerente l'analisi di vulnerabilità sismica prevista dal programma temporale delle verifiche di cui alla d.g.r. n° 14964 del 7 novembre 2003”*, redatto dal Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Strutturale (marzo 2005), successivamente integrati e/o modificati.

La pericolosità sismica di base, che presenta una discreta variabilità anche all'interno di uno stesso territorio, è definita attraverso il valore dell'accelerazione sismica orizzontale massima del suolo **a<sub>g</sub>**

su suolo rigido orizzontale in condizioni di campo libero (free field, assenza di manufatti) nonché in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , ed è funzione dei parametri sismici ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) che per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  (espresso in anni) definiscono le forme spettrali dell'azione sismica di progetto.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto di un sito specifico è necessario valutare anche l'influenza delle condizioni geologiche e geomorfologiche della zona (condizioni locali) sulla pericolosità sismica di base, valutando sia gli **effetti di amplificazione** che può subire il moto sismico di riferimento che gli **effetti di instabilità** cui sono sottoposti i terreni di fondazione se sottoposti ad una sollecitazione sismica.

*Sulla base della situazione normativa sopra esposta, all'interno del presente studio l'analisi della componente sismica verrà affrontata seguendo i criteri di cui alla d.g.r. 2616/2011, approfondendo anche alcuni argomenti trattati nel d.m. 17 gennaio 2018 (NTC2018), quali ad esempio la definizione di pericolosità sismica e la valutazione dell'accelerazione di progetto da utilizzare nella verifica alla liquefazione dei terreni di fondazione.*

## 6.1 – DEFINIZIONE DI RISCHIO SISMICO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA

La valutazione del rischio sismico (R) associato ad un evento tellurico è funzione della pericolosità (P), distinta in pericolosità sismica di base (PSB) ed in pericolosità sismica locale (PSL), della vulnerabilità (V) e del valore esposto (E), concetti di seguito brevemente descritti:

- **Pericolosità sismica di base (PSB)**: rappresenta la probabilità che l'evento sismico si verifichi in una determinata area per un determinato periodo di tempo con una data intensità, ovvero la previsione probabilistica dello scuotimento del suolo in un sito con riferimento ad un terremoto standard di riferimento.
- **Pericolosità sismica locale (PSL)**: rappresenta una stima a scala di dettaglio delle variazioni della pericolosità sismica di base per effetto delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litologiche, idrogeologiche e geotecniche del sito in cui si prevede l'evento sismico (condizioni locali).
- **Vulnerabilità (V)**: rappresenta il grado di suscettibilità del territorio agli effetti negativi prodotti dal fenomeno considerato, ovvero l'attitudine dell'elemento a rischio a subire danni, ed è funzione della distribuzione dell'urbanizzato, della densità della popolazione, della distribuzione delle attività e dei servizi pubblici, dell'ambiente naturale.

- **Valore esposto (E):** rappresenta il valore socio – economico relativo agli elementi a rischio ed è funzione della tipologia dell’elemento stesso (ospedali, scuole, case, stalle,...).

Il **rischio (R)** connesso con un determinato evento sismico rappresenta il prodotto tra questi tre fattori:

$$R = P \times V \times E$$

Esso rappresenta pertanto il valore atteso delle perdite umane, dei feriti, dei danni alle proprietà ed alle attività economiche dovuti ad un evento sismico di una data intensità che ha coinvolto una particolare area per un dato periodo di tempo.

In particolare, le analisi e gli studi riguardanti la pericolosità sismica locale (PSL) hanno permesso di individuare, in determinate caratteristiche proprie del terreno e del suo assetto morfologico, alcune delle cause che possono variare la pericolosità sismica di base (PSB) di un territorio e di conseguenza rendere alcune aree più pericolose di altre.

I differenti effetti che le condizioni locali di un’area possono determinare sono suddivisi in due categorie principali:

1. **Effetti di sito o di amplificazione sismica locale:** interessano i terreni che presentano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono legati alle caratteristiche topografiche e/o litologiche del territorio in grado di generare un’esaltazione locale delle azioni sismiche di base.
2. **Effetti di instabilità:** interessano i terreni che presentano un comportamento instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e possono causare fenomeni di franamento, di liquefazione, di subsidenza, di cedimento assoluto e differenziale.

All’interno del d.m. 17 gennaio 2018 (NTC2018), del quale si fornisce di seguito un breve stralcio, la **pericolosità sismica** costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati.

“ [...] La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $Pv_R$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purchè correttamente commisurati alla pericolosità sismica dell’area della costruzione.

Ai fini della presente normativa, le **forme spettrali** sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{V_R}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

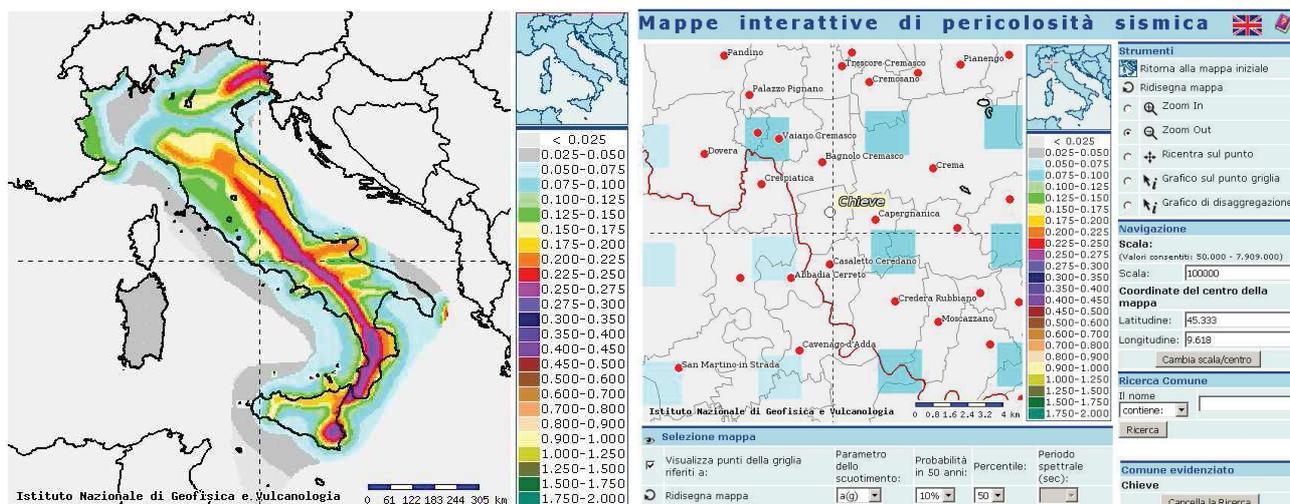
- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T_c^*$  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Per i valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 ed eventuali successivi aggiornamenti”.

La pericolosità sismica sopra citata rappresenta la **pericolosità sismica di base**, derivante da studi condotti a livello nazionale che hanno portato alla realizzazione del **reticolo o griglia di riferimento**; individuata, per un determinato tempo di ritorno  $T_R$  (**intervallo di riferimento**), l'azione sismica di base, l'azione sismica di progetto viene ottenuta tenendo in considerazione la risposta sismica locale del sito in esame, ossia gli effetti di amplificazione sismica locale.

Si riportano di seguito due stralci della mappa probabilistica interattiva della pericolosità sismica del territorio nazionale dell'I.N.G.V. (Progetto S1), espressa su una griglia regolare a passo 0.05° relativamente al parametro dello scuotimento  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima del suolo), corrispondente in ambito internazionale alla **PGA** (peak ground acceleration), con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Tempo di ritorno  $T_R=475$  anni) e riferita a suoli molto rigidi (categoria A,  $V_s>800$  m/s), risultato di valutazioni relative alla pericolosità sismica che hanno avuto come riferimento la **zonazione sismogenetica ZS9**.

Dall'analisi della mappa probabilistica, si evince che il territorio comunale di Chieve ricade in un intervallo di valori di accelerazione sismica  $a_g$  compresi tra **0,050g e 0,100g**, ponendolo di fatto in **Zona Sismica 3** e non in Zona Sismica 4, come da tabella riportata nell'O.P.C.M. 3274/2003.



| zona | accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni | accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) |
|------|--|---|
|      | [a <sub>g</sub> /g]  | [a <sub>g</sub> /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  |

Per la definizione dell'azione sismica di progetto di un sito specifico, ovvero della **pericolosità sismica locale**, è quindi necessario valutare l'influenza delle condizioni geologiche e geomorfologiche della zona (condizioni locali) sulla pericolosità sismica di base, valutando sia gli effetti di amplificazione che può subire il moto sismico di riferimento che gli effetti di instabilità cui sono sottoposti i terreni di fondazione se sottoposti ad una sollecitazione sismica.

## 6.2 – METODOLOGIA UTILIZZATA

In base alle disposizioni riportate all'interno della d.g.r. 2616/2011, la valutazione della **Pericolosità Sismica Locale (PSL)** e degli effetti prodotti dalle condizioni locali di una determinata area avviene attraverso una procedura organizzata in una struttura modulare.

Tale procedura prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente:

- **1° Livello di approfondimento:** approccio di tipo qualitativo, permette il riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica, e quindi dei differenti scenari di pericolosità sismica locale, sulla base dei dati relativi all'assetto geologico, geomorfologico, litologico, idrogeologico e geotecnico del territorio in esame, propedeutico ai successivi livelli di approfondimento.

- **2° Livello di approfondimento:** approccio di tipo semi – quantitativo, permette l'analisi degli effetti di sito o di amplificazione sismica locale attraverso la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa).
- **3° Livello di approfondimento:** approccio di tipo quantitativo, permette l'analisi sia degli effetti di instabilità, attraverso indagini ed analisi approfondite, che degli effetti di sito o di amplificazione sismica locale, con metodologie che prevedono un dettaglio maggiore di quelle utilizzate nel 2° livello.

In funzione dello scenario di pericolosità sismica locale (PSL), così come individuato nel 1° livello di approfondimento, e della zona sismica di appartenenza del territorio comunale in esame, ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/03, si dovrà passare ove previsto ai successivi livelli.

Si riporta di seguito la tabella, di cui alla d.g.r. 2616/2011, nella quale sono elencati i principali scenari di pericolosità sismica locale (PSL), individuati attraverso una sigla alfanumerica, e gli effetti che potrebbero verificarsi all'interno delle aree ad essi associate in occasione di un evento sismico.

| SIGLA      | SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PSL)   | EFFETTI                                  |
|------------|--|--|
| <b>Z1a</b> | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi  | Instabilità                              |
| <b>Z1b</b> | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti  |  |
| <b>Z1c</b> | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana   |  |
| <b>Z2a</b> | Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti   | Cedimenti                                |
| <b>Z2b</b> | Zone con depositi granulari fini saturi  | Liquefazioni                             |
| <b>Z3a</b> | Zona di ciglio H > 10 m  | Amplificazioni topografiche              |
| <b>Z3b</b> | Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo  |  |
| <b>Z4a</b> | Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi | Amplificazioni litologiche e geometriche |
| <b>Z4b</b> | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre                          |  |

|            |   |                             |
|------------|---|-----------------------------|
| <b>Z4c</b> | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi  |                             |
| <b>Z4d</b> | Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale                             |                             |
| <b>Z5</b>  | Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse | Comportamenti differenziali |

Nella tabella che segue vengono presentati i livelli di approfondimento da effettuare in funzione della zona sismica di appartenenza del territorio comunale.

| <b>LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE</b> |              |   |  |                   |
|--|--------------|---|--|-------------------|
|  |              | <b>FASE PIANIFICATORIA</b>  | <b>FASE PROGETTUALE</b>  |                   |
|  |              | <b>1° LIVELLO</b>   | <b>2° LIVELLO</b>  | <b>3° LIVELLO</b> |
| <b>ZONA SISMICA<br/>2 – 3</b>                            | obbligatorio | Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato ed urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili                   | - Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale.<br><br>-Nelle zone PSL Z1 e Z2.                                    |                   |
| <b>ZONA SISMICA<br/>4</b>                                | obbligatorio | Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n° 19904/03) | - Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale.<br><br>-Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti. |                   |

In sintesi:

- **1° Livello: fase pianificatoria** – Obbligatorio per tutti i comuni della Regione Lombardia ed esteso a tutto il territorio comunale.
- **2° Livello: fase pianificatoria**
  - Zone sismiche 2 e 3: obbligatorio nelle aree PSL Z3 e Z4 interferenti con l'urbanizzato esistente o di previsione.
  - Zona sismica 4: obbligatorio nelle aree PSL Z3 e Z4 con presenza di edifici strategici e rilevanti.

• **3° Livello: fase progettuale**

- Quando con il 2° livello di approfondimento il valore di Fa (Fattore di amplificazione) calcolato supera il valore di soglia comunale.
- Nelle aree PSL Z1 e Z2 (solo per edifici strategici e rilevanti in zona sismica 4).

Nel caso di sovrapposizione di più scenari sul medesimo ambito territoriale, si dovrà procedere con il grado di approfondimento più cautelativo.

Gli approfondimenti di 2° e 3° livello non dovranno essere eseguiti in quelle aree che, per situazioni geologiche, geomorfologiche e ambientali, o perché sottoposte a vincolo da particolari normative, siano considerate inedificabili, fermo restando tutti gli obblighi derivanti dall'applicazione di altra normativa specifica.

**6.3 – APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AL TERRITORIO COMUNALE**

Il Comune di Chieve è stato inserito, ai sensi dell'O.P.C.M. 3519/2006 e della d.g.r. 2129/2014, in **Zona Zismica 3**.

Sulla base delle indicazioni riportate in precedenza, il 1° livello di approfondimento in fase di pianificazione è obbligatorio e deve essere esteso all'intero territorio comunale.

Successivamente all'analisi delle aree di pericolosità sismica locale (PSL) individuate in questa fase, verrà valutato se sono presenti condizioni propedeutiche all'applicazione dei successivi livelli di approfondimento.

**6.3.1 – PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**

Il primo livello di approfondimento prevede la redazione della “*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*” (Tav. 4A, scala 1:10.000), all'interno della quale devono essere rappresentati gli ambiti territoriali caratterizzati dagli scenari di pericolosità sismica locale (PSL) individuati nel contesto territoriale in esame in grado di determinare gli effetti sismici locali.

Gli scenari PSL riconosciuti all'interno del territorio comunale di Chieve sono i seguenti:

- **Scenario PSL Z2a:** zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti.
- **Scenario PSL Z2b:** zone con depositi granulari fini saturi.
- **Scenario PSL Z4a:** zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

Gli scenari di pericolosità sismica individuati vengono di seguito brevemente illustrati.

### 6.3.1.1 – SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE Z2a (CEDIMENTI)

All'interno dello scenario di pericolosità sismica locale individuato con la sigla PSL Z2a ricadono i terreni di fondazione caratterizzati da depositi coesivi (altamente compressibili) saturi particolarmente scadenti.

Tali terreni, dal punto di vista sismico, vengono classificati come “*sismicamente instabili*” in quanto, in seguito allo sforzo di taglio indotto dall'azione sismica, possono essere soggetti in generale a **cedimenti assoluti e differenziali**, dovuti ad un'improvvisa densificazione del terreno incoerente insaturo oppure determinati dalle scadenti proprietà geotecniche del materiale coesivo, sia saturo che insaturo.

L'analisi e la distribuzione areale di questa tipologia di fenomeno, che potrebbe verificarsi in territorio comunale a seguito di una sollecitazione sismica, è stata effettuata essenzialmente sulla base delle informazioni derivanti dalla “*Relazione geologico-tecnica*” redatta in maggio 2010 a supporto del P.G.T. descritte in precedenza.

In particolare, l'individuazione delle zone potenzialmente soggette a cedimenti assoluti e differenziali, sia in condizioni non sismiche che sismiche, si è basata sulle considerazioni riportate nel capitolo denominato “*Caratterizzazione geotecnica dei terreni superficiali*”, condotta attraverso indagini in situ (prove penetrometriche standardizzate S.C.P.T.) e verifiche di campagna (trincee di ispezione, scarpate naturali, scavi di cantiere) ubicate come rappresentato in Tav. 3 “*Carta di sintesi e dei vincoli (scala 1:5.000)*”, integrate dallo scrivente con i risultati di indagini geognostiche più recenti.

La suddivisione del territorio comunale in aree omogenee dal punto di vista litologico e geomeccanico, così come rappresentato nella tavola citata, ha permesso di definire due ambiti territoriali ben distinti: il Livello Fondamentale della Pianura (L.F.P.) ad est e la Valle del fiume Adda ad ovest.

Mentre i depositi alluvionali appartenenti al L.F.P. nel livello direttamente influenzato da fondazioni superficiali sono caratterizzati perlopiù da terreni prevalentemente granulari sciolti a discrete caratteristiche geomeccaniche, i depositi alluvionali appartenenti alla depressione valliva del fiume Adda sono caratterizzati da terreni prevalentemente coesivi con caratteristiche geomeccaniche scadenti.

I terreni coesivi che caratterizzano tali aree sono rappresentati da depositi argillosi ed argilloso limosi, che in considerazione della loro elevata compressibilità sono potenzialmente soggetti all'insorgere di cedimenti assoluti e differenziali, non compatibili con il campo di tensioni più frequentemente trasmesse al terreno dalla maggior parte delle opere, anche di modeste entità.

In aggiunta, il basso livello di soggiacenza della falda freatica superficiale, generalmente inferiore a m. 2,00 da p.c., determina una ulteriore diminuzione della capacità portante dei terreni di fondazione, i quali risultano spesso inadeguati a garantire la stabilità delle strutture in superficie se non attraverso opportuni interventi di miglioramento e/o l'adozione di tipologie di fondazione indirette.

In corrispondenza di entrambi gli ambiti territoriali definiti emerge la tendenza ad un progressivo miglioramento delle caratteristiche geotecniche e del grado di addensamento dei terreni con la profondità.

A seguito di quanto sopra riportato, si individua pertanto lo scenario di pericolosità sismica locale **PSL Z2a** esclusivamente in corrispondenza della Valle del fiume Adda, così come rappresentato nella Tav. 4A “*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*”.

Si sottolinea che la suddivisione areale effettuata si è basata esclusivamente sulla valutazione delle proprietà geologico-tecniche del materiale che caratterizza i terreni di fondazione, a prescindere ovviamente dai parametri di progetto relativi alle strutture di fondazione, alle sovrastrutture ed ai carichi da esse trasmessi al terreno attraverso le fondazioni stesse.

La verifica della suscettibilità dei terreni di fondazione ai cedimenti rappresenta difatti in fase di pianificazione solamente un'indicazione generale sul comportamento in condizioni sismiche dei depositi alluvionali oggetto di studio; tale verifica non può e non deve sostituire approfondimenti a dettaglio maggiore, da prevedere preliminarmente alla fase progettuale in funzione sia della tipologia dell'opera che dell'utilizzo della stessa.

### 6.3.1.2 – SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE Z2b (LIQUEFAZIONE)

All'interno dello scenario di pericolosità sismica locale individuato con la sigla PSL Z2b ricadono i terreni di fondazione caratterizzati da depositi granulari fini saturi.

Tali terreni, dal punto di vista sismico, vengono classificati come “*sismicamente instabili*”, in quanto, in seguito allo sforzo di taglio indotto dall'azione sismica, possono essere soggetti a **fenomeni di liquefazione**, causati dalla perdita di resistenza al taglio di un terreno incoerente saturo a causa di un aumento istantaneo delle pressioni interstiziali, con conseguenti effetti di “*fluidificazione*” del terreno che determinano condizioni di instabilità anche di notevole entità.

L'analisi e la distribuzione areale di questa tipologia di fenomeno, che potrebbe verificarsi in territorio comunale a seguito di una sollecitazione sismica, è stata effettuata sia sulla base delle informazioni derivanti dalla “*Relazione geologico-tecnica*” redatta in maggio 2010 a supporto del P.G.T. sia sulla base di verifiche effettuate dallo scrivente.

Come riferito in precedenza, anche la verifica della suscettibilità dei terreni di fondazione alla liquefazione rappresenta in fase di pianificazione solamente un'indicazione generale sul comportamento in condizioni sismiche dei depositi alluvionali oggetto di studio; tale verifica non può e non deve sostituire approfondimenti a dettaglio maggiore, da prevedere preliminarmente alla fase progettuale in funzione sia della tipologia dell'opera che dell'utilizzo della stessa.

Con il termine “*liquefazione*” viene definita «*la circostanza, causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, caratterizzata da deformazioni permanenti significative o dall'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno*».

In particolare, con il termine “*liquefazione*” si definisce il fenomeno per cui un terreno incoerente saturo, sottoposto ad una sollecitazione sismica, assume un comportamento meccanico simile a quello dei liquidi, con l'annullamento quasi totale della sua resistenza al taglio  $\tau$  in seguito ad un aumento istantaneo della pressione interstiziale dell'acqua presente nei vuoti intergranulari.

A parità di altre condizioni, esso si verifica con maggiore probabilità in materiali incoerenti sabbiosi e/o sabbioso limosi con elevato grado di saturazione e basso grado di addensamento, ossia bassa densità relativa  $D_r$  (%) ed elevato indice dei vuoti.

Per condurre a liquefazione un terreno suscettibile al fenomeno è necessaria non solo l'occorrenza di un **forte sisma**, sia in termini di magnitudo che durata, ma anche di particolari condizioni litostratigrafiche, idrogeologiche e geomeccaniche dei terreni di fondazione.

La vigente normativa nazionale (NTC2018) stabilisce che in fase di progettazione di nuove opere e nella valutazione della sicurezza di una struttura esistente (verifica del sistema di fondazione) deve essere verificata la stabilità del sito presso il quale è ubicato il manufatto nei confronti della liquefazione, che determina potenziali effetti di instabilità nei confronti delle strutture di fondazione e delle strutture in elevazione.

La sicurezza nei confronti della liquefazione può essere valutata con procedure di analisi avanzata (specifiche analisi di risposta sismica locale e prove dinamiche di laboratorio) oppure mediante metodologie semplificate di tipo storico-empirico in funzione dell'importanza dell'opera e della sismicità dell'area di intervento; la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze indicate nel par. 7.11.3.4.2 delle NTC2018 di seguito riportate.

#### 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

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

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

In fase di pianificazione è possibile solamente fornire in generale la magnitudo del sisma di riferimento ed individuare i terreni che, in base alle caratteristiche litologiche (granulometria), geologico-tecniche (grado di addensamento) ed idrogeologiche (soggiacenza della falda freatica), sono potenzialmente suscettibili al fenomeno della liquefazione.

La verifica effettiva della liquefazione in una zona ben definita necessita di ulteriori informazioni, riguardanti sia l'azione sismica di progetto che le caratteristiche geologico-tecniche dei terreni di fondazione del sito indagato, in funzione della tipologia di opera in progetto.

Tra i vari metodi di verifica alla liquefazione riportati in letteratura, nel presente studio sono stati utilizzati il metodo semplificato deterministico dell'Eurocodice 8 (con prove penetrometriche dinamiche S.C.P.T.) ed il metodo semplificato deterministico di Robertson 1998 (con prove penetrometriche statiche C.P.T.), basati sul calcolo di un fattore di sicurezza **Fs** dato dal rapporto tra la resistenza al taglio mobilitante **R** caratteristica del materiale (**CRR** – Cyclic Resistance Ratio),

ossia il suo stato di deformazione critica, e lo sforzo di taglio T indotto dall'azione sismica (CSR – Cyclic Stress Ratio):

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

dove MSF è un fattore di scala funzione della magnitudo dei terremoti attesi.

Si considerano come valori discriminanti **Fs=1,25** (metodo Eurocodice 8) e **Fs=1,00** (metodo di Robertson), tali per cui un terreno risulterà suscettibile al fenomeno della liquefazione nei seguenti casi:

$$F_s \leq 1,25 \quad (\text{metodo Eurocodice 8})$$

$$F_s \leq 1,00 \quad (\text{metodo di Robertson})$$

Per la definizione della magnitudo di progetto (Mw) del sisma atteso si utilizza il valore della magnitudo massima attesa nella zona sismogenetica più prossima all'area di intervento, ovvero la **ZS907** "Bergamasco", alla quale è associato un valore di **Mw=6,14**, come da tabella 2.8-1 degli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)" (Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile) di seguito riportata.

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

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

Il valore dell'accelerazione sismica orizzontale massima ( $a_{max}$ ) attesa in superficie nel sito indagato è quello relativo allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (S.L.V.), secondo la seguente espressione:

$$a_{max} = ag \cdot S$$

dove:

$a_g$  = accelerazione sismica massima attesa su suolo di riferimento rigido (Categoria A) con superficie topografica orizzontale, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (S.L.V.), corrispondente al valore di ancoraggio dello spettro di risposta elastico in accelerazione con  $T=0$  (T: periodo dell'oscillatore semplice); è espressa come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ .

$S$  = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, ossia  $S=S_S \cdot S_T$ , essendo  $S_S$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica.

Il valore del potenziale di liquefazione (PL) o indice di liquefazione (IL) è definito dalla relazione di Iwasaki et al. (1978):

$$PL = \sum_{i=1}^n F(z)W(z)dz$$

dove:

|        |  |
|--------|--|
| n      | numero degli intervalli di calcolo di $F_s$ lungo la verticale |
| z      | profondità di calcolo (max 20 m)                               |
| $F(z)$ | $F(z) = 0$ per $F_s > 1$ ; $F(z) = 1 - F_s$ per $F_s \leq 1$   |
| $W(z)$ | $W(z) = 10 - 0,5z$   |
| dz     | spessore dell'intervallo di calcolo                            |

Mediante l'adozione di un programma dedicato (LiqIT – Geologismiki) è stata verificata la suscettibilità alla liquefazione di terreni indagati attraverso alcune prove penetrometriche dinamiche S.C.P.T. e/o statiche C.P.T. disponibili presso lo scrivente, localizzate come rappresentato in Tav. 4a, considerando in ogni caso in via cautelativa valori di soggiacenza della falda freatica inferiori rispetto a quelli rilevati alla data di esecuzione delle indagini.

In corrispondenza di ogni verticale di indagine penetrometrica utilizzata nelle elaborazioni sono stati determinati i valori dei parametri sismici  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  relativi allo stato limite S.L.V., calcolati in funzione delle coordinate geografiche (latitudine e longitudine) del punto di indagine attraverso il foglio di calcolo “*Spettri NTC ver. 1.0.3*”, reso disponibile dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per un generico sito del territorio nazionale.

Al fine di determinare l'accelerazione sismica massima attesa in superficie ( $a_{max}$ ) sono stati recepiti i risultati di indagini sismiche realizzate in territorio comunale, descritte successivamente ed in All. 2, che hanno permesso di definire per l'intero territorio comunale una **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO C**, cui è associato un valore di  $S_s=1,50$ , ed una **CATEGORIA TOPOGRAFICA T1**, cui è associato un valore di  $S_T=1,00$ , tale per cui:

$$S = S_s \cdot S_T = 1,50 \cdot 1,00 = 1,50$$

$$a_{max} = a_g \cdot S = a_{g(SLV)} \cdot 1,50$$

Si riportano in All. 1 i risultati grafici delle verifiche effettuate, dai quali si evince in ogni caso l'assenza di fenomeni di liquefazione.

Anche il valore dell'indice di liquefazione ottenuto (**IL=0,00**), in base alle classi di rischio riportate nella seguente legenda permette di definire un rischio di liquefazione nullo.

**Overall potential  $I_L$  : 0.00**

$I_L = 0,00$  - No liquefaction  
 $I_L$  between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable  
 $I_L$  between 5 and 15 - Liquefaction probable  
 $I_L > 15$  - Liquefaction certain

Sarà comunque compito dei tecnici incaricati della programmazione delle indagini geognostiche e della progettazione degli interventi edificatori, sotto la loro responsabilità, valutare i parametri sismici dei siti di progetto e verificare la stabilità delle opere nei confronti della liquefazione, come imposto dalla vigente normativa.

In funzione delle valutazioni sopra riportate, all'interno della Tav. 4a "*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*" lo scenario di pericolosità sismica locale **PSL Z2b** non è stato rappresentato.

**6.3.1.3 – SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE Z4a (AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE)**

Lo scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a deve essere assegnato a tutte le aree di pianura che presentano depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi, i quali dal punto di vista sismico vengono classificati come "*sismicamente stabili*" in quanto, in seguito a sollecitazioni sismiche, sono caratterizzati da fenomeni di amplificazione sismica legati alle loro particolari caratteristiche litologiche e geometriche.

Detti depositi, in funzione delle caratteristiche tessiturali e geomeccaniche e dei rapporti stratigrafici intercorrenti tra le differenti unità litologiche e tra queste ed il substrato, possono generare una variazione nell'ampiezza e nella frequenza delle onde sismiche che provoca un'amplificazione locale dell'azione sismica trasmessa dal terreno in seguito a fenomeni di riflessione multipla, di interferenza, di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno, di doppia risonanza tra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

Il substrato, come riportato nelle NTC2018, è definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da valori di  $V_s$  (velocità delle onde sismiche secondarie o di taglio) non inferiore a **800 m/s**, per il quale l'amplificazione litologica attesa è nulla.

Il territorio comunale, come descritto in precedenza, è costituito da terreni appartenenti a n. 2 formazioni geologiche:

- *Fluvioglaciale Wurm-Riss ( $fg^{WR}$ ) – Diluvium Recente o Fluvioglaciale e Fluviale Wurm ( $fg^W$ )*
- *Alluvioni Antiche ( $a^I$ )*

con caratteristiche litologiche tali da potere essere considerate appartenti allo scenario di pericolosità sismica locale **PSL Z4a**, così come rappresentato in Tav. 4A.

### 6.3.2 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE RELATIVE AL 1° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

L'applicazione del 1° livello di approfondimento ha permesso di individuare, all'interno del territorio comunale di Chieve, due differenti scenari di pericolosità sismica locale PSL, rappresentati nella Tav. 4A “*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*”, secondo le disposizioni della d.g.r. 7374/2008 e della d.g.r. 2616/2011:

- **Scenario PSL Z2a:** comprende la Valle del fiume Adda, caratterizzata da depositi superficiali argillosi ed argilloso limosi di natura coesiva con caratteristiche geomeccaniche scadenti e da valori di soggiacenza della falda freatica generalmente inferiori a m. 2,00 da p.c.; tali terreni in considerazione della loro elevata compressibilità sono potenzialmente soggetti all'insorgere di cedimenti assoluti e differenziali, che potrebbero determinare condizioni di instabilità rilevanti durante un evento sismico.
- **Scenario PSL Z4a:** caratterizza tutti i depositi alluvionali e fluvioglaciali granulari e coesivi presenti in zone di pianura ovvero l'intero territorio comunale.

In seguito alle risultanze del 1° livello di approfondimento, l'applicazione dei successivi livelli al territorio comunale di Chieve, che appartiene alla Zona Sismica 3, dovrà seguire le seguenti fasi:

• **2° Livello: fase pianificatoria**

- Obbligatorio nelle zone PSL Z4a se interferenti con urbanizzato ed urbanizzabile.

• **3° Livello: fase progettuale**

- Nelle zone PSL Z4a quando con il 2° livello di approfondimento il valore di Fa (Fattore di amplificazione) calcolato supera il valore di soglia comunale.
- Nelle aree PSL Z2a per tutte le tipologie di edifici.

Pertanto, si ritiene necessaria in fase di pianificazione l'applicazione del 2° livello di approfondimento per tutte le zone interferenti con urbanizzato ed urbanizzabile interessate dallo scenario sismico **PSL Z4a** (effetti di amplificazione litologica e geometrica), esteso all'intero territorio comunale, in quanto anche le zone interessate dallo scenario sismico **PSL Z2a** (effetti di instabilità-cedimenti), che rappresenta lo scenario PSL principale, sono interessate dallo scenario sismico PSL Z4a (scenario PSL secondario).

### **6.3.3 – SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**

Attraverso il 2° livello di approfondimento è stata effettuata una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione litologica e geometrica attesi all'interno delle aree individuate nella procedura di 1° livello ed appartenenti allo scenario di pericolosità sismica **PSL Z4a**, potenzialmente suscettibili alle amplificazioni del segnale sismico di riferimento (azione sismica di base).

#### **6.3.3.1 – INDAGINI SISMICHE REALIZZATE**

Come previsto nelle NTC18 (par. 3.2.2), la valutazione dell'amplificazione stratigrafica necessaria alla definizione dell'azione sismica di progetto, in alternativa a specifiche analisi di risposta sismica locale, può essere effettuata con riferimento alle **categorie di sottosuolo** (approccio semplificato), la cui individuazione si basa sui valori della velocità di propagazione delle onde di taglio **V<sub>s</sub>**.

Per depositi con profondità del substrato (formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da  $V_s \geq 800$  m/s) superiore a 30m dal piano di imposta delle fondazioni superficiali la velocità equivalente  $V_{s,eq}$  delle onde di taglio è definita dal parametro **V<sub>s30</sub>**.

Ai fini della determinazione del valore della  $V_{S30}$ , necessario per la definizione della categoria di sottosuolo prevalente in territorio comunale, sono state realizzate per conto dello scrivente dal Dott. Geol. Alberto Lepori n. 4 indagini sismiche condotte con metodo “REMI” (Refraction Microtremor), tecnica “passiva” basata sulla registrazione del rumore sismico indotto da attività antropiche, e con metodo “MASW” (Multichannel Analysis of Surface Waves), tecnica “attiva” basata sulla misura delle onde superficiali (onde di Rayleigh).

Le tracce degli stendimenti sismici delle indagini MASW-REMI (MR) realizzate e di indagini MASW (M) note sono rappresentate in Tav. 4B “*Carta della pericolosità sismica locale di 2° livello*”, mentre il **rapporto tecnico** delle indagini sismiche realizzate viene riportato in All. 2.

I dati sismici acquisiti ed elaborati hanno consentito di determinare il profilo di velocità delle onde “S” dei siti indagati fino oltre 30 m di profondità e di ottenere i valori di  $V_{S30}$  (da p.c.) riportati nella seguente tabella.

|                    | MR1 | MR2 | MR3 | MR4 | M5  | M6  | M7  |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $V_{S30}$<br>[m/s] | 304 | 294 | 306 | 324 | 301 | 324 | 299 |

Poiché le NTC2018 stabiliscono che per fondazioni superficiali la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse i valori di  $V_{S30}$  variano secondo le tabelle riportate nel rapporto tecnico di All. 2, dalle quali emerge un progressivo aumento del valore di  $V_{S30}$  con la profondità del piano di imposta delle strutture di fondazione.

Confrontando il valore di  $V_{S30}$  ottenuto con i corrispondenti intervalli di valori associati alle categorie di sottosuolo riportate nella Tabella 3.2.II del Cap. 3.2.2 delle NTC2018, si evince che la categoria di sottosuolo prevalente in territorio comunale è la **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO C**, alla quale appartengono depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

\* \* \*

Al fine di valutare la **frequenza di vibrazione fondamentale** dei terreni indagati attraverso le indagini sismiche MASW-REMI sono state realizzate **n. 8 prove H/V – metodo dei rapporti spettrali a stazione singola HVSR** (metodo Nakamura), la cui localizzazione è riportata in Tav. 4B.

Tale metodo si basa sulla misura del microtremore naturale del suolo, il quale agendo da oscillatore naturale permette, tramite adeguata strumentazione, la misura diretta delle frequenze di vibrazione dei terreni e dei manufatti.

La tecnica utilizzata, proposta da Nakamura per lo studio delle amplificazioni di sito assume che i microtremori consistano principalmente di onde di Rayleigh che si propagano in un singolo strato sofficie su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Tale tecnica permette di separare i termini di sorgente-percorso e di sito tramite i rapporti tra le componenti del moto, senza utilizzare alcun sito di riferimento.

Le ipotesi su cui si basa la tecnica di Nakamura sono le seguenti:

- *i microtremori sono generati da sorgenti superficiali e non da sorgenti profonde i cui contributi sono trascurabili;*
- *le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base dello strato considerato;*
- *la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale;*
- *il picco visibile nei rapporti H/V (rapporto tra l'ampiezza spettrale della componente orizzontale e l'ampiezza spettrale della componente verticale) è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore ed è invece fortemente dipendente dalle condizioni stratigrafico-litologiche del terreno. Tale picco è inoltre ben correlato con la frequenza fondamentale di vibrazione del terreno soggetto alla propagazione di onde S verticali e con il picco fondamentale delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.*

Le principali applicazioni delle prove H/V si possono così sintetizzare:

- ✓ Misura delle frequenze di risonanza dei suoli;
- ✓ Effetti di sito e microzonazione sismica (curve H/V, metodo di Nakamura);
- ✓ Stratigrafia sismica passiva;
- ✓  $V_{s30}$  da fit vincolato della curva H/V;
- ✓ Segnalazione dei possibili fenomeni di doppia risonanza suolo-struttura.

Di particolare importanza è la frequenza di vibrazione del sito, caratterizzata dal maggiore rapporto di ampiezze **H/V**, nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (frequenze generalmente inferiori a 15 Hz), denominata frequenza fondamentale di vibrazione  **$f_0$** .

E' possibile poi determinare la profondità degli strati sismici mediante la misura diretta delle frequenze di vibrazione, associata alla misura delle velocità delle onde S tramite la relazione:

$$f_0 = V_s / 4H$$

dove  $V_s$  è la velocità media delle onde di taglio e  $H$  è la profondità della discontinuità sismo-stratigrafica.

Le prove HVSR indicate in cartografia con le sigle **H1, H3, H5, H7** sono state effettuate mediante tromografo digitale “**TROMINO ENGY**” (Micromed S.r.l) mentre quelle indicate con le sigle **H2, H4, H6, H8** sono state effettuate mediante tromografo digitale “**ECHO TROMO HVSR3**” (Ambrogeo Instruments).

Il tromografo digitale “**TROMINO ENGY**” racchiude al suo interno 3 terne (2 di velocimetri e l'altra di accelerometri) di sensori ortogonali tra loro con possibilità di campionamento nell'intervallo di frequenze compreso tra 0,1 e 256 Hz; sono state acquisite n. 4 registrazioni di lunghezza pari a 20 minuti con campionamento a 128 Hz orientando la componente y del geofono secondo il nord geografico.

Il tromografo digitale “**ECHO TROMO HVSR3**” a 3 canali è interfacciato ad un geofono 3D da superficie con sensori a frequenza propria di 2.0 Hz; sono state acquisite n. 4 registrazioni di lunghezza pari a 20 minuti con campionamento a 155 Hz orientando la componente y del geofono secondo il nord geografico.

Per l'elaborazione dei dati sismici è stato utilizzato il software “**GRILLA**” (Micromed S.r.l), che consente di effettuare:

- Analisi spettrale completa delle tracce e calcolo delle curve H/V per la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo.
- Procedure di pulizia delle tracce nel dominio del tempo e delle frequenze.
- Test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee (Criteri Sesame).
- Determinazione delle frequenze dei modi di vibrare delle strutture con rimozione dell'effetto di sottosuolo.
- Creazione di un report automatico con tabelle e illustrazioni.

Il risultato dell'elaborazione è rappresentato da una “*curva di ellitticità*” che rappresenta il **rapporto spettrale H/V** tra il segnale delle componenti orizzontali ed il segnale della componente verticale; l'analisi dell'andamento dello spettro medio e delle corrispondenti curve di confidenza (deviazione standard) nell'intervallo di frequenze di interesse permette di individuare in modo

diretto la frequenza di risonanza  $f_0$  del sito indagato, corrispondente nel grafico al picco massimo del rapporto H/V cui è associato il massimo valore di amplificazione stratigrafica dovuta ad un contrasto di impedenza sismica (prodotto tra densità e velocità dell'onda sismica nel mezzo) tra strati (unità sismiche) differenti.

I risultati ottenuti sono stati successivamente confrontati e validati attraverso il software free “GEOPSY”.

In All. 3 sono riportati i grafici ed i tabulati delle n. 8 indagini sismiche HVSR realizzate, rappresentati da: parametri e risultati della registrazione, grafico dello spettro medio del rapporto spettrale H/V e delle relative curve di confidenza, serie temporale del rapporto spettrale H/V risultante dalla pulizia del segnale nel dominio delle frequenze, grafico di direzionalità del rapporto spettrale H/V, grafico degli spettri delle singole componenti del moto (V, NS, EW) e verifica dei **criteri SESAME**.

Le linee guida del progetto di ricerca europeo SESAME (2004) stabiliscono una serie di criteri (essenzialmente di tipo statistico) per la valutazione della significatività dei risultati dell'indagine sismica HVSR realizzata e del grafico del rapporto spettrale H/V ottenuto.

I primi 3 criteri riguardano l'affidabilità statistica della curva H/V ottenuta e la correttezza delle finestre temporali scelte per l'elaborazione.

I restanti 6 criteri riguardano la chiarezza del picco massimo del rapporto H/V, sia rispetto alle frequenze circostanti che alla sua stabilità nei rapporti H/V delle singole finestre.

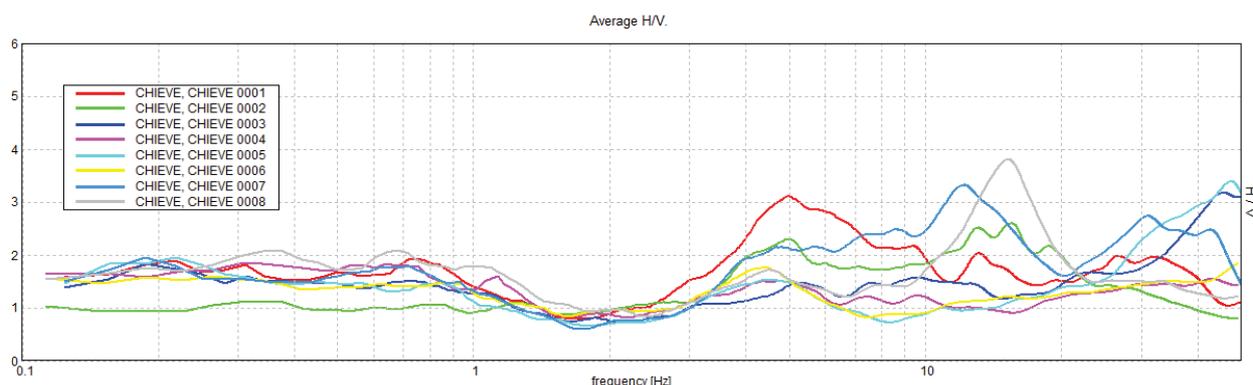
Come riportato nei report allegati, in ogni caso sono stati rispettati tutti i 3 criteri relativi all'affidabilità statistica della curva H/V, di conseguenza le indagini sismiche realizzate sono state eseguite in modo corretto e significativo dal punto di vista geofisico.

I criteri relativi alla chiarezza del picco H/V non sono stati invece soddisfatti completamente; questo è dovuto in ambito di pianura alluvionale all'assenza di contatti stratigrafici netti tra litotipi con caratteristiche meccaniche differenti, come accade ad esempio al passaggio tra substrato roccioso e depositi alluvionali di copertura.

Nel caso in esame, i picchi del rapporto H/V individuati sono legati perlopiù ad un passaggio graduale tra depositi alluvionali sciolti con differente grado di addensamento, che genera amplificazioni in un intervallo di frequenze più largo.

Si ritiene opportuno sottolineare che il non superamento di questi criteri non significa che non ci sono contrasti di impedenza sismici significativi (risonanze stratigrafiche) nel sito in esame ma solo che non ci sono picchi H/V singoli ben definiti, per le motivazioni sopra esposte.

Si riportano di seguito su un unico grafico i rapporti spettrali H/V ottenuti dalle n. 8 indagini sismiche HVSR realizzate (riportati in modo più completo in All. 3).



Si riassumono nella seguente tabella i valori delle frequenze di risonanza  $f_0$  dei siti indagati (+/- una deviazione standard che rappresenta il “range” della stima della frequenza di vibrazione) ed i valori di ampiezza  $A_0$  dei picchi del rapporto spettrale H/V alle corrispondenti frequenze  $f_0$ .

| <b>Indagine sismica HVSR</b> | <b>Frequenza di risonanza <math>f_0</math> [Hz]</b> | <b>Ampiezza <math>A_0</math> del picco del rapporto spettrale H/V</b> |
|------------------------------|---|---|
| HVSR_1                       | 0,72  | 2,00  |
| HVSR_2                       | 0,74  | 1,10  |
| HVSR_3                       | 0,75  | 1,52  |
| HVSR_4                       | 0,64  | 1,83  |
| HVSR_5                       | 0,78  | 1,51  |
| HVSR_6                       | 0,73  | 1,45  |
| HVSR_7                       | 0,73  | 1,80  |
| HVSR_8                       | 0,68  | 2,15  |

Analizzando i risultati delle prove HVSR, nel rispetto dei criteri SESAME, emerge che la frequenza fondamentale (di risonanza) dei siti indagati presenta un valore ricadente nell’intervallo  **$f_0=0,64\div0,78$  Hz** +/- una deviazione standard.

Tale amplificazione sismica massima, alla quale corrisponde un valore del rapporto  $H/V=1,10\div 2,15$  ed un periodo di oscillazione pari a  $T=1,28\div 1,56s$ , è associata ad un contrasto di impedenza sismica profondo.

In corrispondenza di tutte le indagini sismiche HVSR realizzate è possibile individuare almeno una **frequenza  $f_1$**  alla quale corrisponde un significativo picco del rapporto H/V, come riportato nella seguente tabella.

| Indagine sismica HVSR | Frequenza $f_1$ [Hz] | Ampiezza $A_1$ del picco del rapporto spettrale H/V |
|-----------------------|----------------------|---|
| HVSR_1                | 5,00                 | 3,10  |
| HVSR_2                | 14,95                | 2,52  |
| HVSR_3                | 9,38                 | 1,56  |
| HVSR_4                | 4,78                 | 1,60  |
| HVSR_5                | 4,53                 | 1,53  |
| HVSR_6                | 4,39                 | 1,76  |
| HVSR_7                | 12,19                | 3,32  |
| HVSR_8                | 14,95                | 3,78  |

Dall'analisi della tabella si evidenzia la presenza di frequenze (nell'intervallo di valori  $0,50\div 15,00Hz$ ) dell'ordine di  $f_1=4,39\div 5,00 Hz$  (+/- una deviazione standard) e  $f_1=9,38\div 14,95 Hz$  (+/- una deviazione standard) cui sono associate significative amplificazioni dovute a contrastati di impedenza sismica superficiali individuati rispettivamente a profondità dell'ordine di m.  $15,00\div 20,00$  da p.c. e m.  $3,00\div 5,00$  da p.c. al passaggio tra strati (unità sismiche) differenti.

### 6.3.3.2 – APPLICAZIONE DEL 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

La procedura utilizzata, come descritto in All. 5 della d.g.r. 2616/2011, fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione ( $F_a$ ), riferito agli intervalli di periodo tra  $0,1\div 0,5 s$  e  $0,5\div 1,5 s$ , opportunamente scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale.

In particolare, l'intervallo tra  $0,1\div 0,5 s$  si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra  $0,5\div 1,5 s$  si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

L'applicazione del 2° livello di approfondimento permette di individuare le aree PSL Z4a nelle quali la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale, ovvero se il Fa calcolato (FAC) risulta superiore al Fa di soglia (FAS), fornito dal Politecnico di Milano, relativo al Comune di Chieve, riferito ad entrambi gli intervalli di periodo sopra menzionati ed in funzione della categoria di sottosuolo di riferimento (NTC2018).

La procedura relativa agli effetti litologici consiste brevemente in:

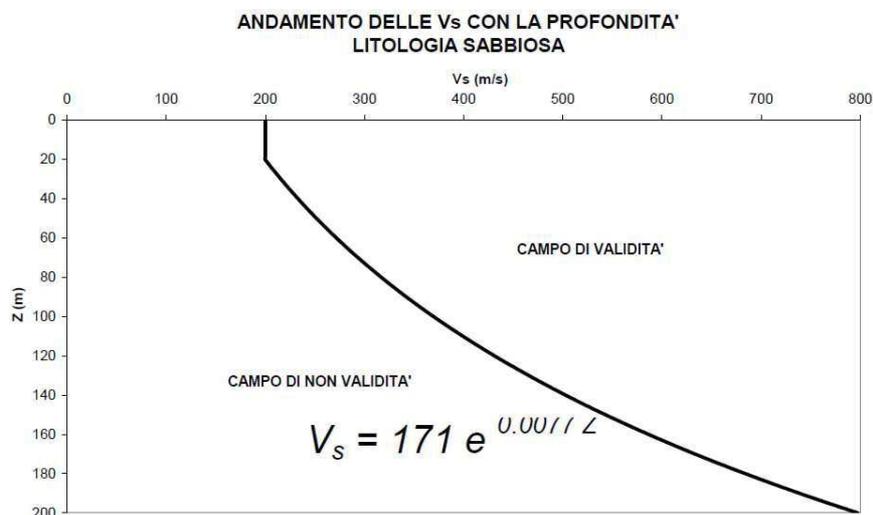
- Individuazione della litologia prevalente nell'area in esame, sulla base dei risultati derivanti da indagini geognostiche e stratigrafie di pozzi disponibili.
- Definizione della distribuzione delle Vs (velocità delle onde di taglio) con la profondità fino a valori di  $V_s \geq 800$  m/s e della categoria di sottosuolo di riferimento, sulla base di indagini sismiche realizzate e/o note.
- Scelta della scheda litologica di valutazione di riferimento, riportata in All. 5 della d.g.r. 2616/2011.
- Determinazione algebrica del Fa relativo ai due intervalli di periodo citati.
- Confronto tra il Fa calcolato (FAC) ed il Fa di soglia (FAS) relativo al territorio comunale.
- Considerazioni conclusive.

Il grado di attendibilità dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici utilizzati nella procedura di 2° livello è riportato nella successiva tabella (Tab. 2 d.g.r. 2616/2011).

| Dati                        | Attendibilità | Tipologia  |
|-----------------------------|---------------|--|
| Litologici                  | Bassa         | Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe           |
|                             | <b>Alta</b>   | Da prove di laboratorio e da prove in sito           |
| Stratigrafici<br>(spessori) | Bassa         | Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe           |
|                             | <b>Media</b>  | Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)  |
|                             | Alta          | Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo) |
| Geofisici (Vs)              | Bassa         | Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe           |
|                             | Media         | Da prove indirette e relazioni empiriche             |
|                             | <b>Alta</b>   | Da prove dirette (sismica in foro o superficiale)    |

Sulla base delle informazioni derivanti dalle indagini geognostiche e dalle stratigrafie di pozzi disponibili, nonché dei risultati delle indagini sismiche realizzate e note, è possibile individuare come litotipi dominanti i depositi sabbioso limosi la cui granulometria rientra in quelle previste nella scheda litologica di valutazione denominata “*scheda litologia sabbiosa*”.

Il profilo di velocità delle onde secondarie Vs ottenuto con le indagini MASW-REMI rientra in ogni caso nel campo di validità della scheda litologica adottata, come di seguito riportato.



Il **periodo proprio del sito T** necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità è pari a  $V_s \geq 800$  m/s (bedrock sismico) ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Attraverso le indagini sismiche MASW-REMI realizzate il “*bedrock sismico s.s.*” non è stato individuato in quanto in ambito di pianura alluvionale è generalmente presente a profondità molto elevate (centinaia di metri), pertanto si ritiene più corretto ai fini della procedura l'utilizzo del periodo proprio T dei siti indagati individuato mediante le indagini sismiche HVSR e corrispondente alla frequenza fondamentale  $f_0$  del sito.

All'interno della scheda di valutazione scelta, come rappresentato in All. 4, sono state utilizzate in ogni caso le curve 2 (colore verde) e le corrispondenti formule algebriche, adottando il valore del periodo proprio T di ciascun sito desunto dal rapporto spettrale ottenuto con le indagini HVSR realizzate in corrispondenza dello stesso.

Per il Comune di Chieve (CR) i valori di Fa di soglia sono riportati nella banca dati **soglie\_lomb.xls**, all'interno della quale essi presentano, per le diverse categorie di sottosuolo ed in funzione dell'intervallo di periodo T della struttura, i seguenti valori:

| Valori di soglia del fattore di amplificazione Fa per l'intervallo di periodo 0,1 – 0,5 s |                           |                           |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Comune  | Categoria di suolo tipo B | Categoria di suolo tipo C | Categoria di suolo tipo D | Categoria di suolo tipo E |
| Chieve  | 1,4                       | 1,8                       | 2,2                       | 1,9                       |

| Valori di soglia del fattore di amplificazione Fa per l'intervallo di periodo 0,5 – 1,5 s |                           |                           |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Comune  | Categoria di suolo tipo B | Categoria di suolo tipo C | Categoria di suolo tipo D | Categoria di suolo tipo E |
| Chieve  | 1,7                       | 2,4                       | 4,1                       | 3,0                       |

Si riportano di seguito i risultati ottenuti nei 4 siti di riferimento indagati con le indagini sismiche MASW – REMI (MR) e HVSr (H) realizzate.

### 1) ZONA CAMPO SPORTIVO (MR1, H1, H2)

Considerando un periodo proprio delle strutture ricadente nell'intervallo **0,1-0,5s**, relativo alla curva n. 2 ed al periodo del terreno T misurato (1,35s), si evince che:

$$Fa_{0,1-0,5s} = 1,00$$

Considerando un periodo proprio delle strutture ricadente nell'intervallo **0,5-1,5s**, relativo alla curva n. 2 ed al periodo del terreno T misurato (1,35s), si evince che:

$$Fa_{0,5-1,5s} = 1,55$$

Considerando i valori di soglia di Fa riferiti alla categoria di sottosuolo C, ovvero:

- $Fa_{(soglia) 0,1-0,5s} = 1,8$
- $Fa_{(soglia) 0,5-1,5s} = 2,4$

ed i corrispondenti valori calcolati di Fa (arrotondati alla prima cifra decimale), ovvero:

- $Fa_{(calc) 0,1-0,5s} = 1,0$
- $Fa_{(calc) 0,5-1,5s} = 1,6$

considerando la variabilità  $\pm 0,1$  che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto, si evince che:

$$\begin{aligned} Fa_{(calc) 0,1-0,5s} = 1,0 \pm 0,1 &\leq Fa_{(soglia) 0,1-0,5s} = 1,8 \\ Fa_{(calc) 0,5-1,5s} = 1,6 \pm 0,1 &\leq Fa_{(soglia) 0,5-1,5s} = 2,4 \end{aligned}$$

## 2) ZONA CIMITERO (MR2, H3, H4)

Considerando un periodo proprio delle strutture ricadente nell'intervallo **0,1-0,5s**, relativo alla curva n. 2 ed al periodo del terreno T misurato (1,33s), si evince che:

$$\mathbf{Fa_{0,1-0,5s} = 1,00}$$

Considerando un periodo proprio delle strutture ricadente nell'intervallo **0,5-1,5s**, relativo alla curva n. 2 ed al periodo del terreno T misurato (1,33s), si evince che:

$$\mathbf{Fa_{0,5-1,5s} = 1,56}$$

Considerando i valori di soglia di Fa riferiti alla categoria di sottosuolo C, ovvero:

- $\mathbf{Fa_{(soglia) 0,1-0,5s} = 1,8}$
- $\mathbf{Fa_{(soglia) 0,5-1,5s} = 2,4}$

ed i corrispondenti valori calcolati di Fa (arrotondati alla prima cifra decimale), ovvero:

- $\mathbf{Fa_{(calc) 0,1-0,5s} = 1,0}$
- $\mathbf{Fa_{(calc) 0,5-1,5s} = 1,6}$

considerando la variabilità  $\pm 0,1$  che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto, si evince che:

$$\begin{aligned} \mathbf{Fa_{(calc) 0,1-0,5s} = 1,0 \pm 0,1} &\leq \mathbf{Fa_{(soglia) 0,1-0,5s} = 1,8} \\ \mathbf{Fa_{(calc) 0,5-1,5s} = 1,6 \pm 0,1} &\leq \mathbf{Fa_{(soglia) 0,5-1,5s} = 2,4} \end{aligned}$$

## 3) ZONA PARCO GIOCHI (MR3, H5, H6)

Considerando un periodo proprio delle strutture ricadente nell'intervallo **0,1-0,5s**, relativo alla curva n. 2 ed al periodo del terreno T misurato (1,28s), si evince che:

$$\mathbf{Fa_{0,1-0,5s} = 1,00}$$

Considerando un periodo proprio delle strutture ricadente nell'intervallo **0,5-1,5s**, relativo alla curva n. 2 ed al periodo del terreno T misurato (1,28s), si evince che:

$$\mathbf{Fa_{0,5-1,5s} = 1,58}$$

Considerando i valori di soglia di Fa riferiti alla categoria di sottosuolo C, ovvero:

- $\mathbf{Fa_{(soglia) 0,1-0,5s} = 1,8}$
- $\mathbf{Fa_{(soglia) 0,5-1,5s} = 2,4}$

ed i corrispondenti valori calcolati di Fa (arrotondati alla prima cifra decimale), ovvero:

- $\mathbf{Fa_{(calc) 0,1-0,5s} = 1,0}$
- $\mathbf{Fa_{(calc) 0,5-1,5s} = 1,6}$

considerando la variabilità  $\pm 0,1$  che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto, si evince che:

$$\begin{aligned} \mathbf{Fa}_{(\text{calc}) 0,1-0,5 s} &= \mathbf{1,0 \pm 0,1} & \leq & \mathbf{Fa}_{(\text{soglia}) 0,1-0,5 s} = \mathbf{1,8} \\ \mathbf{Fa}_{(\text{calc}) 0,5-1,5 s} &= \mathbf{1,6 \pm 0,1} & \leq & \mathbf{Fa}_{(\text{soglia}) 0,5-1,5 s} = \mathbf{2,4} \end{aligned}$$

#### 4) ZONA VIA LAGO GERUNDO (MR4, H7, H8)

Considerando un periodo proprio delle strutture ricadente nell'intervallo **0,1-0,5s**, relativo alla curva n. 2 ed al periodo del terreno T misurato (1,37s), si evince che:

$$\mathbf{Fa}_{0,1-0,5 s} = \mathbf{1,00}$$

Considerando un periodo proprio delle strutture ricadente nell'intervallo **0,5-1,5s**, relativo alla curva n. 2 ed al periodo del terreno T misurato (1,37s), si evince che:

$$\mathbf{Fa}_{0,5-1,5 s} = \mathbf{1,54}$$

Considerando i valori di soglia di Fa riferiti alla categoria di sottosuolo C, ovvero:

- $\mathbf{Fa}_{(\text{soglia}) 0,1-0,5 s} = \mathbf{1,8}$
- $\mathbf{Fa}_{(\text{soglia}) 0,5-1,5 s} = \mathbf{2,4}$

ed i corrispondenti valori calcolati di Fa (arrotondati alla prima cifra decimale), ovvero:

- $\mathbf{Fa}_{(\text{calc}) 0,1-0,5 s} = \mathbf{1,0}$
- $\mathbf{Fa}_{(\text{calc}) 0,5-1,5 s} = \mathbf{1,5}$

considerando la variabilità  $\pm 0,1$  che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto, si evince che:

$$\begin{aligned} \mathbf{Fa}_{(\text{calc}) 0,1-0,5 s} &= \mathbf{1,0 \pm 0,1} & \leq & \mathbf{Fa}_{(\text{soglia}) 0,1-0,5 s} = \mathbf{1,8} \\ \mathbf{Fa}_{(\text{calc}) 0,5-1,5 s} &= \mathbf{1,5 \pm 0,1} & \leq & \mathbf{Fa}_{(\text{soglia}) 0,5-1,5 s} = \mathbf{2,4} \end{aligned}$$

I valori ottenuti, al fine di agevolare il confronto tra i Fa calcolati ed i valori di Fa di soglia, vengono riportati nella seguente tabella riepilogativa.

|                           | Zona campo sportivo | Zona cimitero | Zona parco giochi | Zona via Lago Gerundo | Fa soglia per sottosuolo Tipo C |
|---------------------------|---------------------|---------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------|
| $\mathbf{Fa}_{0,1-0,5 s}$ | 1,0                 | 1,0           | 1,0               | 1,0                   | <b>1,8</b>                      |
| $\mathbf{Fa}_{0,5-1,5 s}$ | 1,6                 | 1,6           | 1,6               | 1,5                   | <b>2,4</b>                      |

Come si deduce dalla tabella, in tutti gli ambiti territoriali analizzati i valori di Fa di soglia (FAS) proposti dalla normativa sono superiori ai corrispondenti valori di Fa calcolati (FAC), pertanto la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica e geometrica del sito; in fase di progettazione edilizia si applica quindi lo spettro previsto dalla normativa vigente per la categoria di sottosuolo C.

#### **6.3.4 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE RELATIVE AL 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**

Il 2° livello di approfondimento è stato applicato alle zone interferenti con urbanizzato ed urbanizzabile appartenenti allo scenario di pericolosità sismica locale **PSL Z4a**, sulla base della delimitazione areale rappresentata nella Tav. 4A “*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*”.

La procedura di 2° livello è stata applicata in corrispondenza di n. 4 siti di riferimento indagati mediante le indagini sismiche MASW-REMI e HVSR; in corrispondenza di ognuno di essi è stato calcolato il Fattore di amplificazione litologica atteso (FAC), secondo le indicazioni della d.g.r. 2616/2011, sia relativamente all’intervallo di periodo 0,1–0,5 s che all’intervallo di periodo 0,5–1,5 s, tipici delle tipologie edilizie più comuni, utilizzando il valore del periodo proprio T di ciascun sito desunto dal rapporto spettrale ottenuto con le indagini HVSR.

I valori di Fa calcolati (FAC) sono stati successivamente confrontati con i Fa di soglia (FAS) proposti dalla normativa relativamente al territorio comunale di Chieve ed alla categoria di sottosuolo considerata (categoria C) ed in tutti i casi analizzati è stato ottenuto il seguente risultato:

$$\mathbf{FAC < FAS}$$

Di conseguenza, a seguito dei risultati ottenuti è possibile concludere che in generale nelle zone interferenti con urbanizzato ed urbanizzabile interessate dallo scenario sismico PSL Z4a in fase di progettazione edilizia è possibile applicare lo spettro previsto dalla normativa vigente per la categoria di sottosuolo C.

In definitiva, poichè il Comune di Chieve appartiene alla **Zona Sismica 3**, in fase progettuale il **3° livello di approfondimento** dovrà essere applicato solamente:

- **Nelle zone PSL Z2a per tutte le tipologie di edifici**

La suddivisione areale del territorio relativa agli scenari PSL Z4a e PSL Z2 viene riportata nella cartografia di Tav. 4B “*Carta della pericolosità sismica locale di 2° livello*”.

## 7 – FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Sulla base delle informazioni descritte in precedenza (fase di analisi, fase di sintesi/valutazione), in parte recepite dalla “*Relazione geologico-tecnica*” redatta in maggio 2010 (aggiornata in maggio 2011) a supporto del P.G.T., è stata redatta nella fase di proposta la “*Carta di Fattibilità Geologica*” (Tav. 5, scala 1:10.000).

Alle classi di fattibilità geologica individuate sono stati sovrapposti gli scenari di pericolosità sismica locale PSL rappresentati nella Tav. 4B “*Carta della pericolosità sismica locale di 2° livello*”, ovvero gli scenari di pericolosità sismica **PSL Z2a** (zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti) e **PSL Z4a** (zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi); la rappresentazione delle zone PSL non comporta un automatico cambio di classe di fattibilità geologica ma fornisce indicazioni riguardo agli approfondimenti da effettuare in fase di progettazione in considerazione della componente sismica del territorio comunale.

La rappresentazione delle classi di fattibilità e della zonazione sismica del territorio comunale in formato “*shape file*”, secondo lo schema fisico dei dati definito dalla Regione Lombardia, permetterà l’aggiornamento del mosaico della fattibilità contenuto nel *Geoportale regionale*.

Ad ogni classi di fattibilità geologica sono state attribuite specifiche prescrizioni, riportate all’interno delle “*Norme Geologiche di Piano*”, comprensive di indicazioni normative relativamente agli aspetti sismici.

L’attribuzione delle classi di fattibilità geologica al territorio comunale è avvenuta attraverso le due fasi successive previste dalla d.g.r. 2616/2011 di seguito descritte.

Nella prima fase ad ogni ambito territoriale omogeneo individuato all’interno della Tav. 3 “*Carta di sintesi e dei vincoli*”, soggetto a specifici fenomeni che ne determinano condizioni di pericolosità e vulnerabilità, è stato attribuito un valore di ingresso, riportato nella Tabella 1 della citata delibera, corrispondente al fattore di vulnerabilità e/o pericolosità in essa rilevato, propedeutico alla definitiva attribuzione delle classi di fattibilità geologica (fase 2).

All’interno del territorio comunale di Chieve sono state individuate le seguenti condizioni previste nella menzionata tabella.

### **Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico**

Aree a bassa soggiacenza della falda – Classe di ingresso: **3**.

Aree con emergenza della falda (zone umide artificiali) – Classe di ingresso: **4**.

### **Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche**

Aree prevalentemente limo-argillose con limitata capacità portante – Classe di ingresso: **3**.

Come riportato nella d.g.r. 2616/2011 “*Non è richiesta l’individuazione nella carta di fattibilità dei perimetri delle aree di tutela assoluta e di rispetto delle captazioni ad uso idropotabile, delle fasce di rispetto del reticolo idrico principale e minore, nonché dei cimiteri e dei depuratori, in quanto soggette a specifica normativa. L’attribuzione della classe di fattibilità di tali aree deve derivare esclusivamente dalle caratteristiche geologiche delle stesse.*”

Lo stesso discorso può essere esteso ai tratti significativi della scarpata principale e delle scarpate secondarie, la cui fascia di rispetto da entrambe le direzioni dall’orlo è definita e normata da specifica normativa.

Nella seconda fase è stata valutata l’opportunità di modificare il valore di ingresso assegnato nella prima fase; a seguito delle considerazioni effettuate sono state confermate le classi di ingresso adottate nella fase 1 e definite di conseguenza le classi di fattibilità geologica di seguito descritte.

### **Classe 1 – Fattibilità senza particolari limitazioni**

Aree che non presentano particolari limitazioni all’utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d’uso.

Rappresenta l’ambito territoriale che si sviluppa nella porzione orientale del territorio comunale ad est dell’orlo della scarpata morfologica fluviale principale, comprensivo del capoluogo e della zona industriale, caratterizzato dai terreni che definiscono il “*Livello Fondamentale della Pianura (L.F.P.)*”.

Le aree comprese all’interno di tale classe presentano generalmente valori di soggiacenza della falda freatica superiori a m. 6,00 m da p.c. (vulnerabilità idrogeologica medio-bassa), che permettono di limitare e/o escludere interferenze con eventuali volumetrie interrato di progetto; i terreni di fondazione presentano livelli superficiali prevalentemente granulari sciolti a discrete caratteristiche geomeccaniche, che tendono ad un progressivo miglioramento in profondità.

## **Classe 2 – Fattibilità con modeste limitazioni**

Aree nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso.

Rappresenta la fascia territoriale che si sviluppa in direzione N-S tra l'orlo della scarpata morfologica fluviale principale (ad est) e l'orlo della scarpata morfologica fluviale secondaria (ad ovest).

Le aree comprese all'interno di tale classe presentano generalmente valori di soggiacenza della falda freatica compresi tra m. 2,00÷6,00 da p.c. (vulnerabilità idrogeologica medio-alta), che escludono e/o limitano la realizzazione di volumetrie interrato o, nell'ipotesi di realizzazione delle stesse, impongono l'utilizzo di idonei sistemi di impermeabilizzazione delle strutture interrato e di opportune tecniche di abbattimento delle acque sotterranee in fase di scavo; i terreni di fondazione presentano livelli superficiali prevalentemente granulari sciolti a discrete-mediocri caratteristiche geomeccaniche, che tendono ad un progressivo miglioramento in profondità.

## **Classe 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni**

Aree nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità e/o vulnerabilità individuate.

Rappresenta l'ambito territoriale che si sviluppa nella porzione occidentale del territorio comunale ad ovest dell'orlo della scarpata morfologica fluviale secondaria, caratterizzato dai terreni che definiscono la Valle del fiume Adda.

Le aree comprese all'interno di tale classe presentano generalmente valori di soggiacenza della falda freatica inferiori a m. 2,00 da p.c. (vulnerabilità idrogeologica alta), che le rendono non idonee alla realizzazione di volumetrie interrato e che potrebbero rendere necessarie opportune tecniche di abbattimento delle acque sotterranee in fase di scavo; i terreni di fondazione presentano livelli superficiali prevalentemente coesivi (argille ed argille limose) a scadenti caratteristiche geomeccaniche, che tendono ad un progressivo miglioramento in profondità.

## **Classe 4 – Fattibilità con gravi limitazioni**

Aree nelle quali sono state riscontrate gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di alta pericolosità e/o vulnerabilità individuate.

Rappresenta la zona umida artificiale di forma sub-circolare localizzata ad ovest del centro abitato nella Valle del fiume Adda, caratterizzata da falda freatica superficiale in affioramento (vulnerabilità idrogeologica molto elevata).

\* \* \*

Nel capitolo che segue si riportano le “*Norme Geologiche di Piano*”, che contengono la normativa d’uso associata ad ognuna delle classi di fattibilità geologica attribuite al territorio comunale di Chieve e le corrispondenti indicazioni relative alle indagini di approfondimento da realizzare prima degli interventi urbanistici.

Inoltre, per le aree appartenenti agli scenari di pericolosità sismica locale PSL individuati in territorio comunale, si riporta la normativa sismica di riferimento e le modalità di applicazione della stessa in funzione dei risultati emersi nel corso dello studio.

## 8 – NORME GEOLOGICHE DI PIANO

### ART. 1 – Generalità

1. Il Comune di Chieve è tenuto ad informare i Soggetti Attuatori delle previsioni dello strumento urbanistico, denominato “*Piano di Governo del Territorio (P.G.T.)*”, sulle limitazioni derivanti dalla classificazione di fattibilità assegnata e dalle prescrizioni contenute all’interno delle “*Norme Geologiche di Piano*” e ne deve garantire il rispetto.
2. Le “*Norme Geologiche di Piano*” devono essere riportate integralmente all’interno del “*Documento di Piano*” del P.G.T. e del “*Piano delle Regole*” del P.G.T..
3. Le indagini e gli approfondimenti prescritti per tutte le classi di fattibilità geologica e per le aree PSL Z2a e PSL Z4a devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi, in quanto propedeutici alla pianificazione dell’intervento ed alla progettazione stessa.
4. Il riferimento normativo principale relativamente alla progettazione, all’esecuzione ed al collaudo di tutte le tipologie di costruzioni è rappresentato dal D.M. 17-01-2018 “*Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018)*” e successive modifiche ed integrazioni.  
Poiché il territorio comunale ricade in Zona Sismica 3, si rende obbligatoria nelle verifiche di sicurezza l’adozione del “*metodo di verifica agli stati limite*” per qualsiasi tipologia di intervento e qualsiasi categoria di opera, nonché la definizione dell’azione sismica di progetto.
5. In sede di presentazione di Variante Generale al P.G.T., di Variante Parziale al P.G.T., dei Piani Attuativi (P.A.), dei Programmi Integrati di Intervento (P.I.I.), di richiesta di Permesso di Costruire (PdC), di Denuncia di Inizio Attività (D.I.A.), di Segnalazione Certificata di Inizio Attività (S.C.I.A.) o di titoli equivalenti deve essere obbligatoriamente consegnata, congiuntamente alla restante documentazione e nel caso di interventi che riguardano o hanno influenza su opere e/o sistemi geotecnici in aree ricadenti in classe di fattibilità geologica 2 e 3, copia della relazione geologica di fattibilità R3 (cap. 4 d.g.r. 2616/2011) per consentire all’Autorità competente di valutare se il progetto presentato è compatibile con le limitazioni geologiche associate alle classi di fattibilità geologica 2 e 3, in funzione della tipologia di intervento.
6. Prima dell’inizio dei lavori strutturali si rende obbligatorio il deposito sismico del progetto, di cui alla d.g.r. 30 marzo 2016 n. X/5001 “*Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13,*

comma 1, della l.r. 33/2015)” e successive modifiche ed integrazioni, comprensivo, nel caso in cui l’intervento riguardi o abbia influenza su opere e/o sistemi geotecnici ai sensi del punto 6.1.1 delle NTC2018, di relazione geologica R1 (par. 6.2.1 NTC2018) e di relazione geotecnica R2 (par. 6.2.2 NTC2018) a supporto del progetto strutturale, con adeguati approfondimenti sismici, salvo semplificazioni previste per interventi di modesta rilevanza ricadenti in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, per le quali si rende comunque obbligatoria la redazione della relazione geologica di fattibilità R3 in sede di richiesta del titolo edilizio abilitativo nei casi di cui al comma 5.

#### **ART. 2 – Classe di Fattibilità Geologica 1 – Fattibilità senza particolari limitazioni**

1. Per le aree ricadenti in questa classe, qualsiasi intervento edificatorio che apporti variazioni dei sovraccarichi di progetto applicati ai terreni di fondazione attraverso le strutture di fondazione dovrà essere preceduto da specifiche indagini geognostiche e sismiche, dirette e/o indirette, finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico di riferimento del sito e del modello geotecnico del sottosuolo, necessari alla progettazione.
2. Le indagini geognostiche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o intervento e devono riguardare il volume di terreno significativo, ovvero la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.
3. Le indagini sismiche, finalizzate alla definizione dell’azione sismica di progetto, devono essere conformi alle prescrizioni della normativa vigente, in funzione del tipo di opera e/o intervento.
4. La caratterizzazione e la modellazione geologico-sismica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica (R1), che è parte integrante del progetto strutturale, a firma di geologo iscritto all’Albo.  
La caratterizzazione e la modellazione geotecnica del sottosuolo devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geotecnica (R2), che è parte integrante del progetto strutturale, a firma di professionista abilitato iscritto all’Albo.  
Le due relazioni possono essere accorpate in un’unica relazione geologica e geotecnica (R1+R2).
5. Le indagini e le relazioni devono essere effettuate secondo le disposizioni normative vigenti in materia.

### **ART. 3 – Classe di Fattibilità Geologica 2 – Fattibilità con modeste limitazioni**

1. Per le aree ricadenti in questa classe, per qualsiasi intervento edificatorio che apporti variazioni dei sovraccarichi di progetto applicati ai terreni di fondazione attraverso le strutture di fondazione valgono le medesime indicazioni riportate in art. 2.
2. In caso di interventi che prevedono la realizzazione di piani interrati e/o seminterrati deve essere definita la soggiacenza della falda freatica superficiale mediante l'installazione di almeno un tubo piezometrico, finalizzato alla misura diretta del livello piezometrico ed alla verifica delle sue variazioni nel tempo.
3. Il progetto deve contenere, all'interno della relazione geologica di fattibilità (R3) a firma di geologo iscritto all'Albo, da presentare per l'ottenimento del titolo edilizio, un'adeguata descrizione delle modalità di definizione della soggiacenza minima della falda freatica superficiale in corrispondenza dell'area di intervento, nonché delle metodologie previste per escludere eventuali interferenze reciproche tra le acque sotterranee e le opere in progetto (impermeabilizzazioni, tecniche di abbattimento della falda in fase di scavo,...).
4. La relazione geologica R1 e la relazione geologica R3 possono essere accorpate in un'unica relazione geologica (R1+R3), che può essere utilizzata sia per l'ottenimento del titolo edilizio sia nella procedura di deposito sismico del progetto (prima dell'inizio dei lavori strutturali).
5. La relazione geotecnica R2 non deve essere presentata per l'ottenimento del titolo edilizio ma solamente nella procedura di deposito sismico del progetto (prima dell'inizio dei lavori strutturali).

### **ART. 4 – Classe di Fattibilità Geologica 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni**

1. Per le aree ricadenti in questa classe, per qualsiasi intervento edificatorio che apporti variazioni dei sovraccarichi di progetto applicati ai terreni di fondazione attraverso le strutture di fondazione valgono le medesime indicazioni riportate in art. 2.
2. In caso di interventi che prevedono scavi in falda deve essere definita la soggiacenza della falda freatica superficiale; è sconsigliata la realizzazione di piani interrati e/o seminterrati.
3. Devono essere realizzate adeguate indagini geognostiche finalizzate in particolare all'individuazione ed alla definizione dei livelli litologici superficiali coesivi a scadenti caratteristiche geomeccaniche, potenzialmente soggetti all'insorgere di cedimenti assoluti e

differenziali, non compatibili con il campo di tensioni più frequentemente trasmesse al terreno dalla maggior parte delle opere, anche di modeste entità.

4. Il progetto deve contenere, all'interno della relazione geologica di fattibilità (R3) a firma di geologo iscritto all'Albo, da presentare per l'ottenimento del titolo edilizio, un'adeguata descrizione delle modalità di definizione della soggiacenza minima della falda freatica superficiale in corrispondenza dell'area di intervento, delle metodologie previste per escludere eventuali interferenze reciproche tra le acque sotterranee e le opere in progetto (tecniche di abbattimento della falda in fase di scavo,...), delle indagini geognostiche realizzate per caratterizzare i terreni di fondazione.
5. La relazione geologica R1 e la relazione geologica R3 possono essere accorpate in un'unica relazione geologica (R1+R3), che può essere utilizzata sia per l'ottenimento del titolo edilizio sia nella procedura di deposito sismico del progetto (prima dell'inizio dei lavori strutturali).
6. La relazione geotecnica R2 non deve essere presentata per l'ottenimento del titolo edilizio ma solamente nella procedura di deposito sismico del progetto (prima dell'inizio dei lavori strutturali).

#### **ART. 5 – Classe di Fattibilità Geologica 4 – Fattibilità con gravi limitazioni**

1. E' vietato qualsiasi intervento che depauperi il grado di naturalità e biodiversità della zona umida artificiale, che deve essere conservata dal proprietario nel suo stato naturale, evitando gli interventi che possano provocarne l'interramento e garantendo l'alimentazione idrica della falda freatica.

#### **ART. 6 – Scenari di pericolosità sismica locale PSL**

1. Per le zone appartenenti allo scenario PSL Z2a è obbligatoria in fase di progettazione l'applicazione del corrispondente 3° livello di approfondimento secondo le disposizioni della d.g.r. 2616/2011 per tutte le tipologie di edifici.
2. Per le zone appartenenti allo scenario PSL Z4a non è obbligatoria in fase di progettazione l'applicazione del corrispondente 3° livello di approfondimento; si consiglia l'applicazione dello spettro previsto per la categoria di sottosuolo C.

## **ART. 7 – Indicazioni relative agli aspetti sismici**

1. Le indagini sismiche, finalizzate alla definizione dell'azione sismica di progetto, devono essere conformi alle prescrizioni della normativa vigente (NTC2018), in funzione del tipo di opera e/o intervento.

- Edifici ed opere rilevanti e strategiche, costruzioni in Classe d'uso 3 e 4: le indagini sismiche sono obbligatorie e devono essere finalizzate almeno alla determinazione del profilo di velocità delle onde sismiche di taglio  $V_s$ , propedeutico alla definizione della categoria di sottosuolo (approccio semplificato), alla stima della frequenza e/o periodo di risonanza del sito ed alla stima/individuazione del bedrock sismico.

Non è ammessa la valutazione del profilo di  $V_s$  tramite relazioni empiriche con i risultati di altre prove in sito.

La definizione di una categoria di sottosuolo inferiore (B) rispetto alla categoria di sottosuolo C definita attraverso le indagini sismiche effettuate a supporto dell'aggiornamento della componente sismica del P.G.T. dovrà essere verificata mediante la procedura di 2° livello, da effettuare in fase di progettazione in corrispondenza dell'area di intervento.

Sono fortemente raccomandate specifiche analisi di risposta sismica locale.

- Edifici ed opere ordinarie, costruzioni in Classe d'uso 1 e 2: è ammesso l'utilizzo della categoria di sottosuolo C (approccio semplificato) definita attraverso le indagini sismiche effettuate a supporto dell'aggiornamento della componente sismica del P.G.T..

E' facoltà del tecnico incaricato l'esecuzione di indagini sismiche sito-specifiche finalizzate alla valutazione del profilo di  $V_s$ , anche tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio prove penetrometriche dinamiche e prove penetrometriche statiche.

La definizione di una categoria di sottosuolo inferiore (B) rispetto alla categoria di sottosuolo C definita nel P.G.T. dovrà essere verificata mediante la procedura di 2° livello, da effettuare in fase di progettazione in corrispondenza dell'area di intervento.

2. E' obbligatoria in fase progettuale, per tutte le tipologie di opere, la valutazione della stabilità del sito, presso il quale è ubicato il manufatto oggetto di intervento, nei confronti della liquefazione in condizioni sismiche.

---

**ART. 8 - Elenco degli edifici strategici e rilevanti di cui al Decreto Dirigenziale della Regione Lombardia D.d.u.o. 21 novembre 2003 n. 19904.**

**1. Edifici ed opere strategiche:** categorie di edifici e di opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza regionale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile.

- Edifici destinati a sedi dell'Amministrazione regionale (prioritamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza).
- Edifici destinati a sedi dell'Amministrazione provinciale (prioritamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza).
- Edifici destinati a sedi dell'Amministrazione comunale (prioritamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza).
- Edifici destinati a sedi di Comunità Montane (prioritamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza).
- Strutture non di competenza statale individuate come sedi di sale operative per la gestione delle emergenze (COM, COC, ecc.).
- Centri funzionali di protezione civile.
- Edifici ed opere individuate nei piani di emergenza o in altre disposizioni per la gestione dell'emergenza.
- Ospedali e strutture sanitarie, anche accreditate, dotati di Pronto Soccorso o dipartimenti d'emergenza, urgenza ed accettazione.
- Sedi Aziende Unità Sanitarie Locali (limitatamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza).
- Centrali operative 118.

**2. Edifici ed opere rilevanti:** categorie di edifici e di opere infrastrutturali di competenza regionale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

**a) Edifici**

- Asili nido e scuole, dalle materne alle superiori (sia pubbliche che private).
- Strutture ricreative (ivi compresi gli oratori), sportive e culturali, locali di spettacolo ed intrattenimento in genere.
- Edifici aperti al culto non rientranti tra quelli di cui all'allegato 1, elenco B, punto 1.3 del decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, n. 3685 del 21 ottobre 2003.
- Strutture sanitarie e/o socio assistenziali con ospiti non autosufficienti (ospizi, orfanotrofi, ecc.).
- Edifici e strutture aperti al pubblico destinate all'erogazione dei servizi, adibiti al commercio (centri commerciali), suscettibili di grande affollamento.

**b) Opere infrastrutturali**

- Punti sensibili (ponti, gallerie, tratti stradali, tratti ferroviari) situati lungo strade "strategiche" provinciali e comunali non comprese tra la "grande viabilità" di cui al citato documento del Dipartimento della Protezione Civile nonché quelle considerate "strategiche" nei piani di emergenza provinciali e comunali.
- Stazioni di linee ferroviarie a carattere regionale (FNM, metropolitane).

- Porti, aeroporti ed eliporti non di competenza statale individuati nei piani di emergenza o in altre disposizioni per la gestione dell'emergenza.
- Strutture non di competenza statale connesse con la produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica.
- Strutture non di competenza statale connesse con la produzione, trasporto e distribuzione di materiali combustibili (oleodotti, gasdotti, ecc.).
- Strutture connesse con il funzionamento di acquedotti locali.
- Strutture non di competenza statale connesse con i servizi di comunicazione (radio, telefonia fissa e portatile, televisione).
- Strutture a carattere industriale, non di competenza statale, di produzione e stoccaggio di prodotti insalubri e/o pericolosi.
- Opere di ritenuta di competenza statale.

Cremona, aprile 2019

Il tecnico  
Dott. Geol. Roberto Mariotti



## **Bibliografia**

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (I.N.G.V.) (2004) – “*Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica prevista dall’Ordinanza P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 – Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile*” – Gruppo di lavoro 2004, I.N.G.V., Milano – Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (I.N.G.V.) – DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE (D.P.C.) (2007) – “*Progetto SI – Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza P.C.M. 3274/2003 e progettazione di ulteriori sviluppi. Rapporto finale.*” – a cura di C. Meletti, G.M. Calvi, M. Stucchi.

POLITECNICO DI MILANO – REGIONE LOMBARDIA (2005) – “*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in determinati Comuni del territorio lombardo e supporto tecnico inerente l’analisi di vulnerabilità sismica prevista dal programma temporale delle verifiche di cui alla d.g.r. n° 14964 del 7 novembre 2003 – 1° Obiettivo – Rapporto Finale*” – Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano – a cura di Pergalani F., Compagnoni M., Petrini V. – Milano.

GEOLOGISMIKI – “*Manuale utente del software LiqIt – versione 4.70*”.

**Dott. Roberto Mariotti** – *Geologo Specialista*  
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)  
e-mail: [drmariotti.roberto@libero.it](mailto:drmariotti.roberto@libero.it)

tel/fax: 0372-23266  
cell: 335-6958159  
pec: [mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it](mailto:mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it)

---

# ALLEGATO 1

## VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE

# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

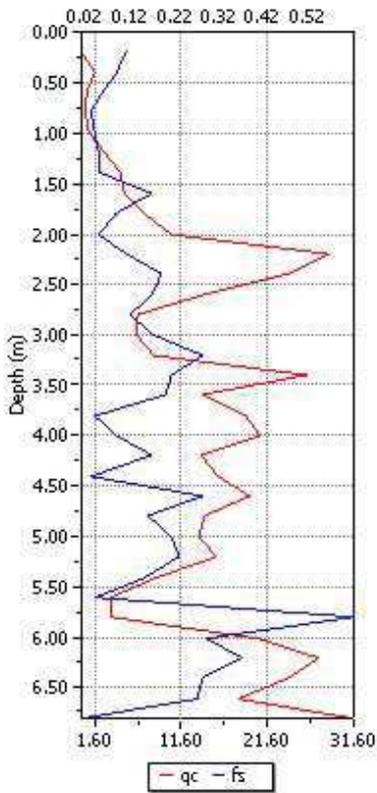
**Project title : Via Mulino - Chieve (CR)**

**Project subtitle : CPT5**

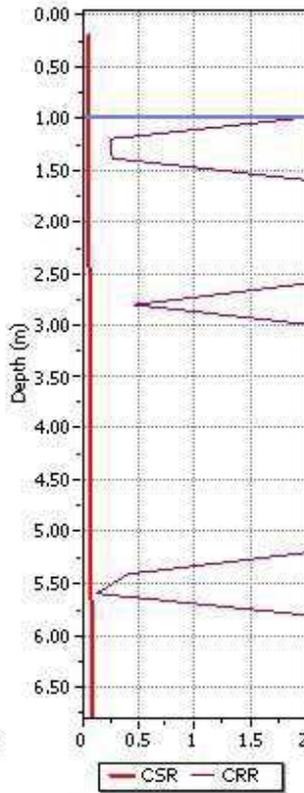
**Input parameters and analysis data**

|                          |                       |                              |        |
|--------------------------|-----------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type:       | Cone Penetration Test | Depth to water table:        | 1.00 m |
| Analysis type:           | Deterministic         | Earthquake magnitude $M_w$ : | 6.14   |
| Analysis method:         | Robertson (1998)      | Peak ground acceleration:    | 0.12 g |
| Fines correction method: | Robertson (1998)      | User defined F.S.:           | 1.00   |

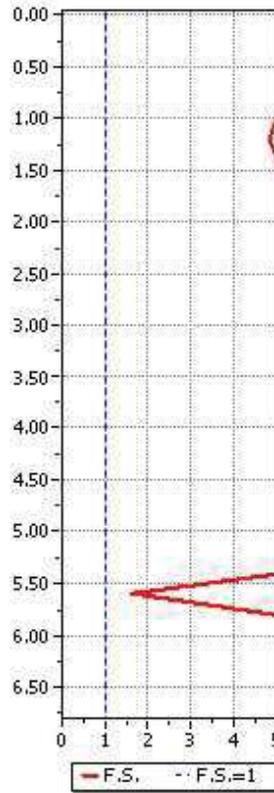
**CPT data graph**



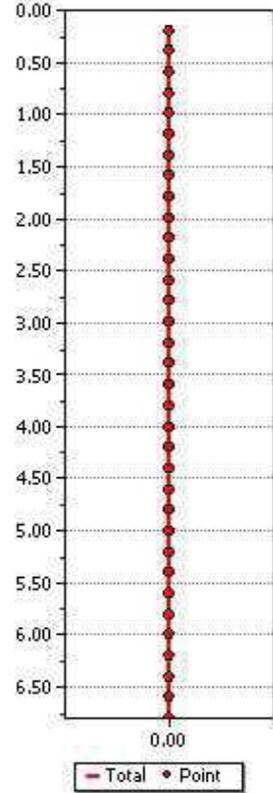
**Shear stress ratio**



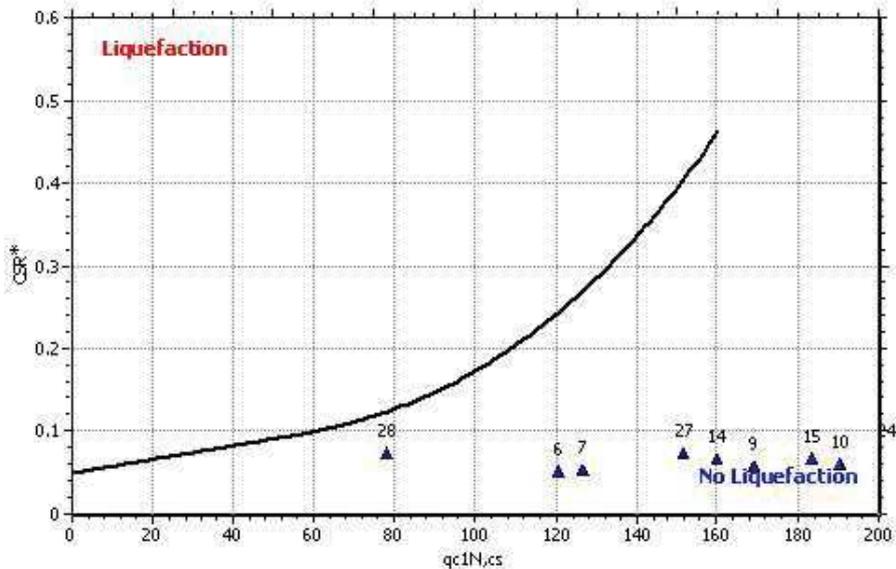
**Factor of safety**

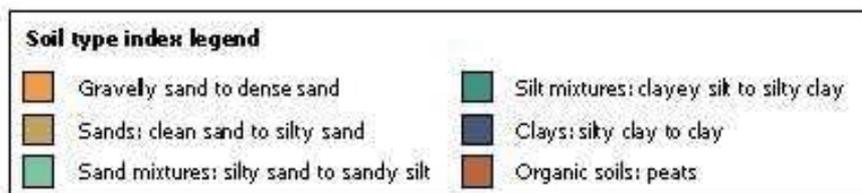
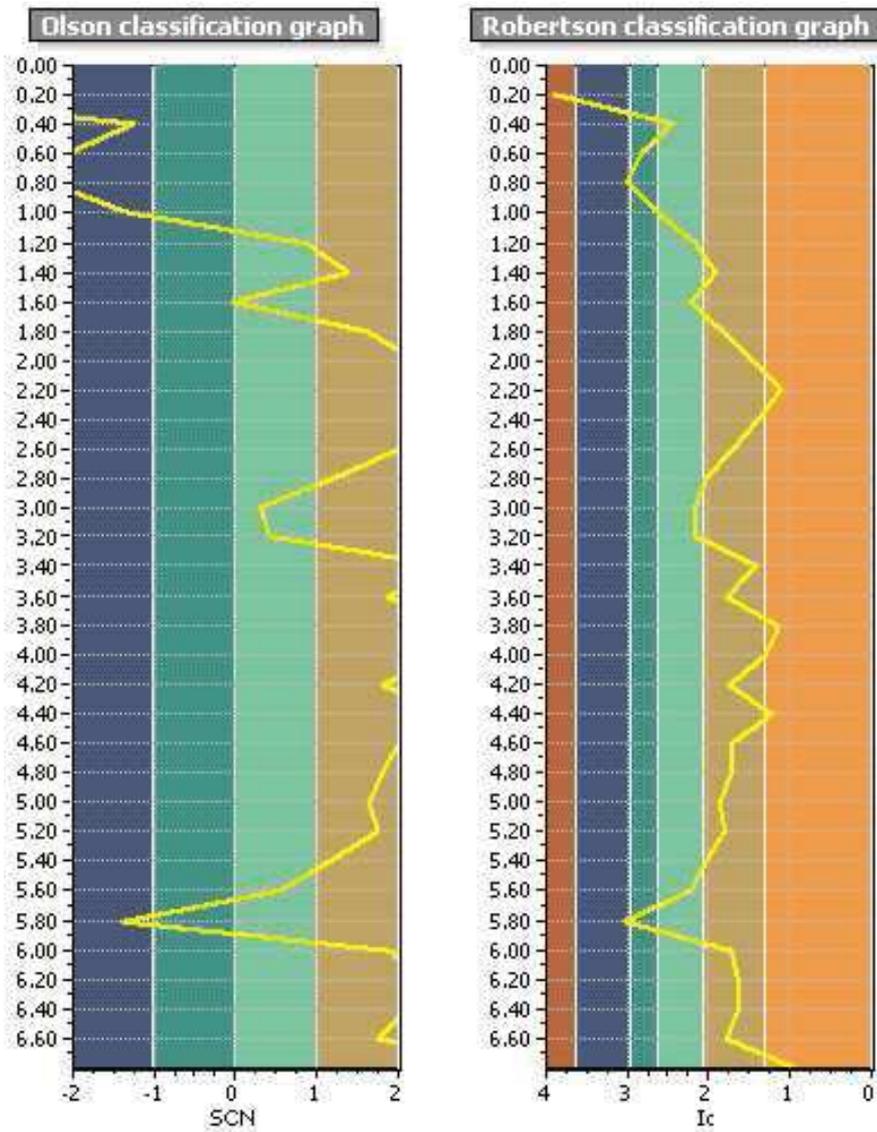


**Settlements (cm)**



**$M_w=7^{1/2}$ ,  $\sigma_v=1$  atm base curve**





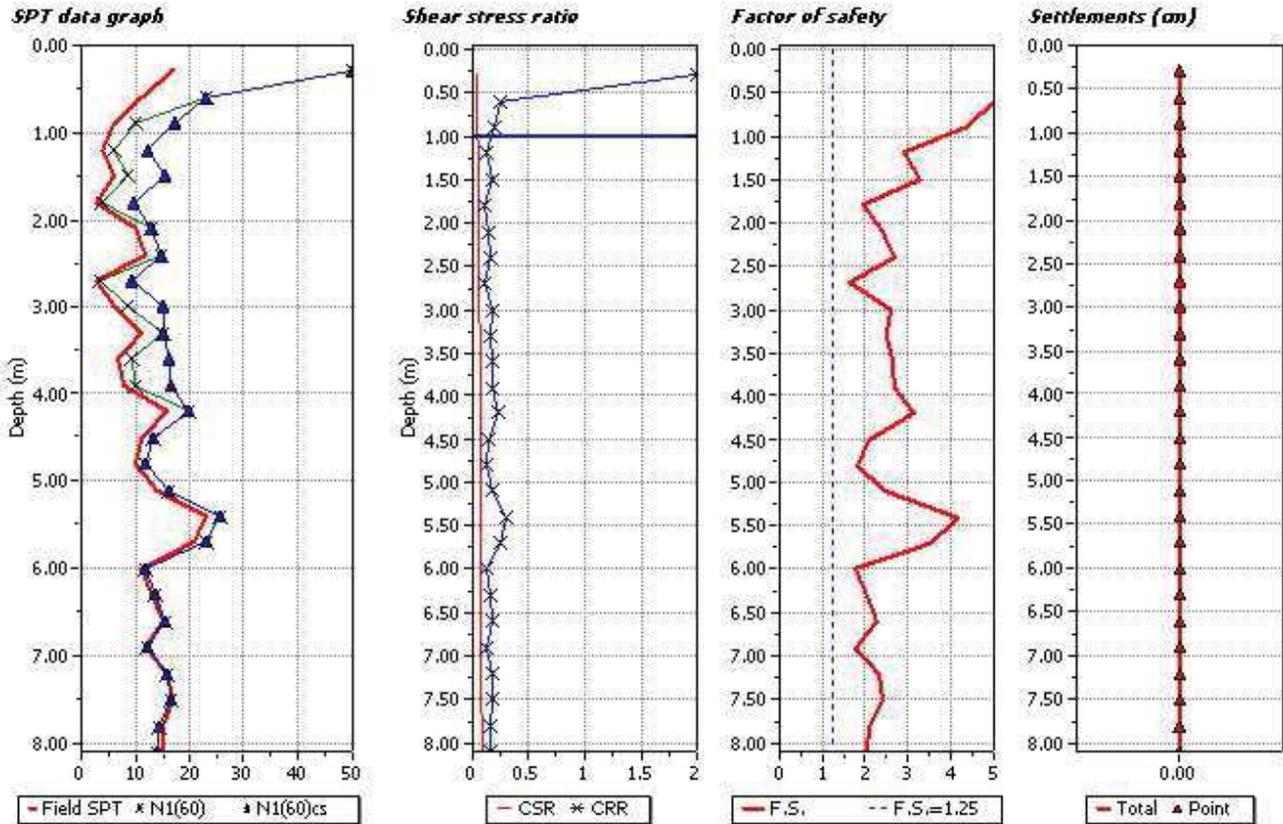
# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

**Project title : Via Mulino - Chieve (CR)**

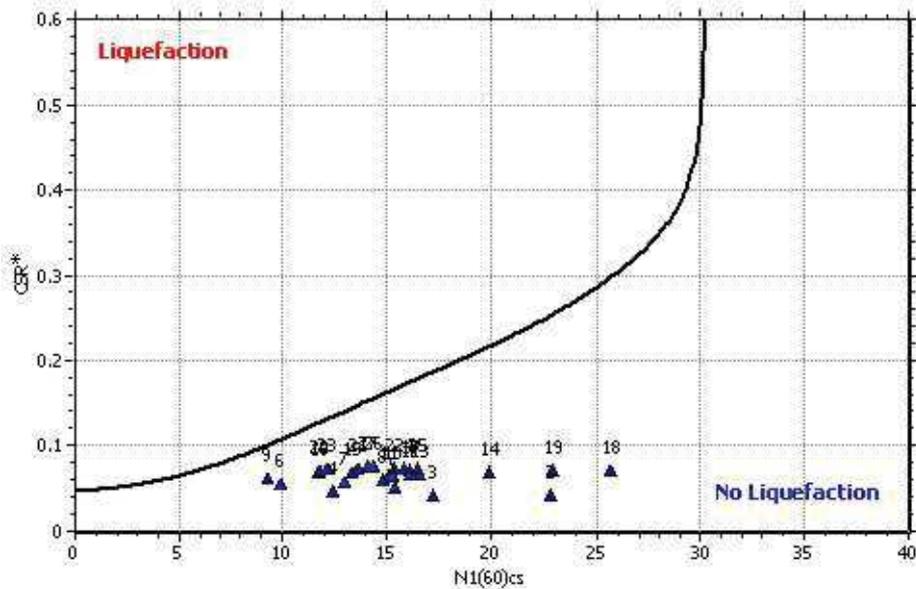
**Project subtitle : SCPT4**

**Input parameters and analysis data**

|                          |                           |                              |        |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type:       | Standard Penetration Test | Depth to water table:        | 1.00 m |
| Analysis type:           | Deterministic             | Earthquake magnitude $M_w$ : | 6.14   |
| Analysis method:         | Eurocode 8                | Peak ground acceleration:    | 0.12 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed             | User defined F.S.:           | 1.25   |



$M_w=7^{1/2}$ ,  $\sigma_v=1$  atm base curve



# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

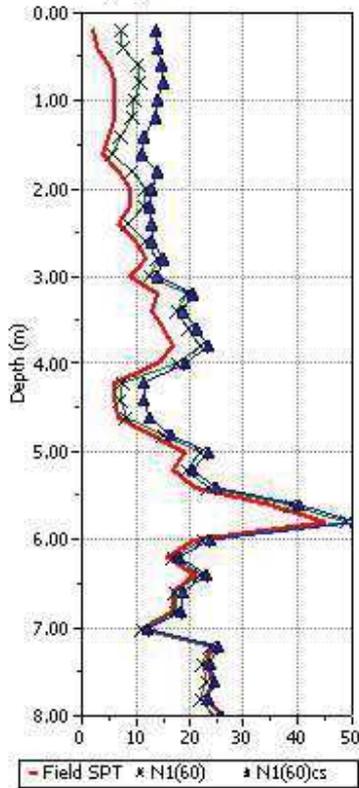
**Project title :** Az. Agr. S. Gerolamo - Chieve (CR)

**Project subtitle :** SPT2

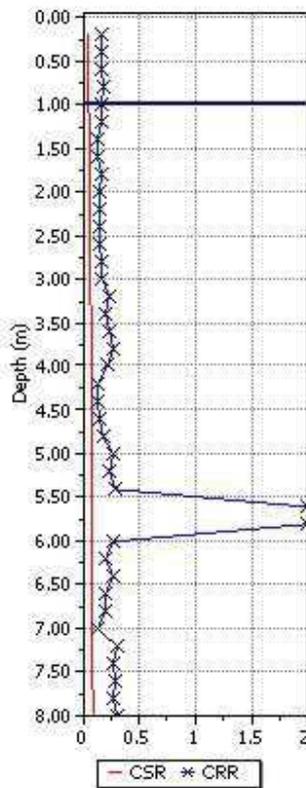
**Input parameters and analysis data**

|                          |                           |                              |        |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type:       | Standard Penetration Test | Depth to water table:        | 1.00 m |
| Analysis type:           | Deterministic             | Earthquake magnitude $M_w$ : | 6.14   |
| Analysis method:         | Eurocode 8                | Peak ground acceleration:    | 0.12 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed             | User defined F.S.:           | 1.25   |

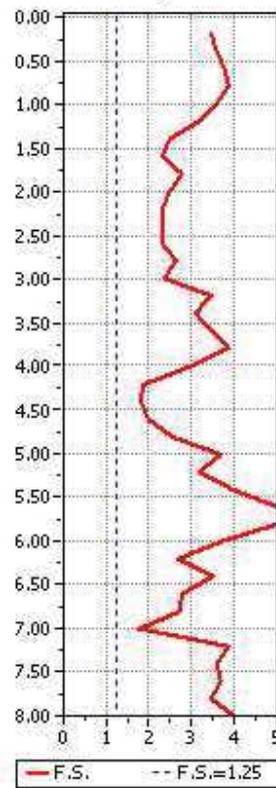
**SPT data graph**



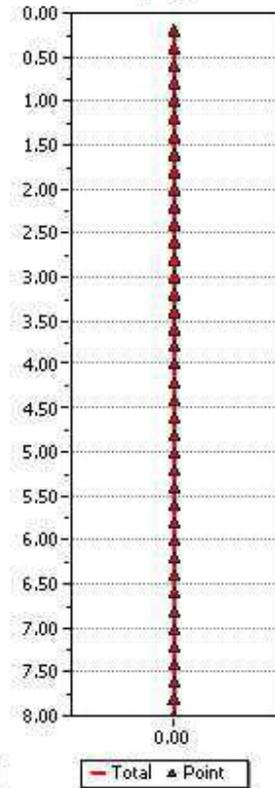
**Shear stress ratio**



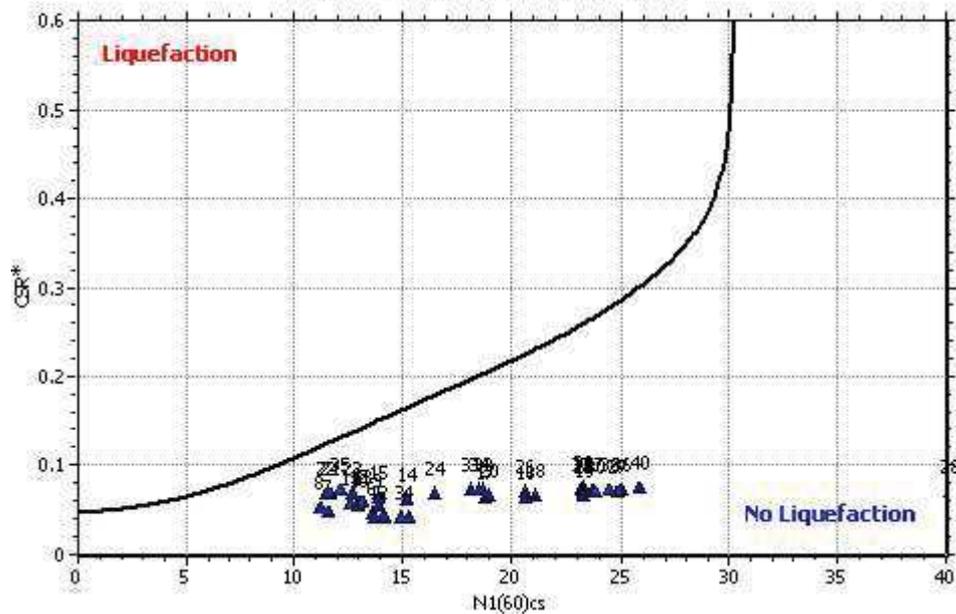
**Factor of safety**



**Settlements (mm)**



$M_w=7^{1/2}$ ,  $\sigma_v=1$  atm base curve



# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

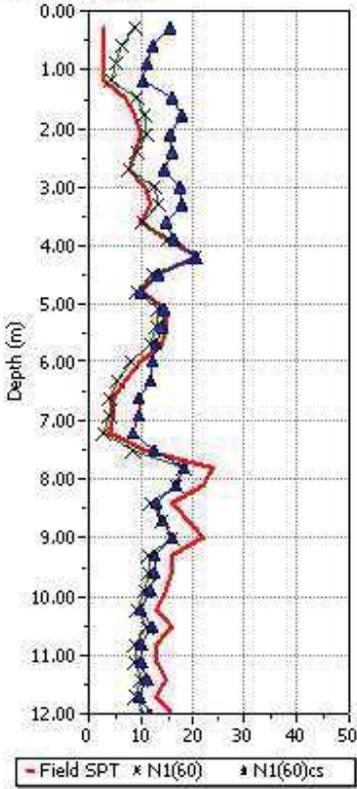
**Project title :** Madi Ventura S.p.A. - Chieve (CR)

**Project subtitle :** SCPT1 (2011)

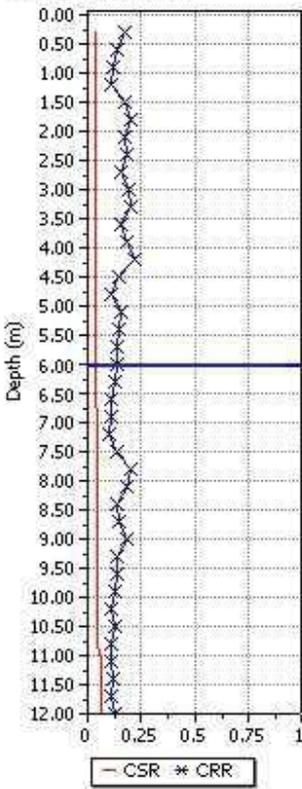
**Input parameters and analysis data**

|                          |                           |                              |        |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type:       | Standard Penetration Test | Depth to water table:        | 6.00 m |
| Analysis type:           | Deterministic             | Earthquake magnitude $M_w$ : | 6.14   |
| Analysis method:         | Eurocode 8                | Peak ground acceleration:    | 0.12 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed             | User defined F.S.:           | 1.25   |

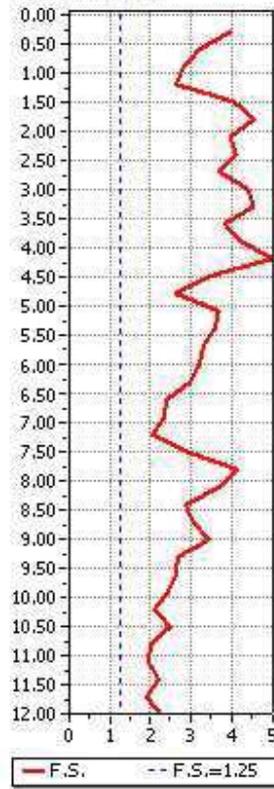
**SPT data graph**



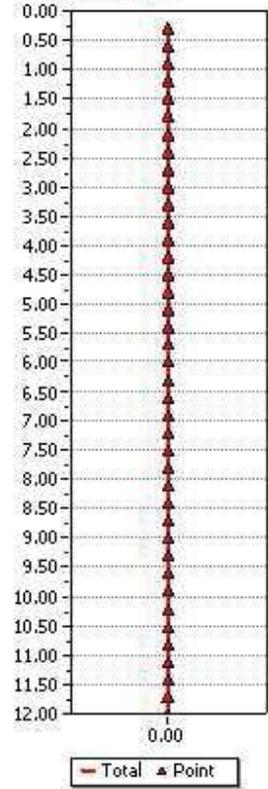
**Shear stress ratio**



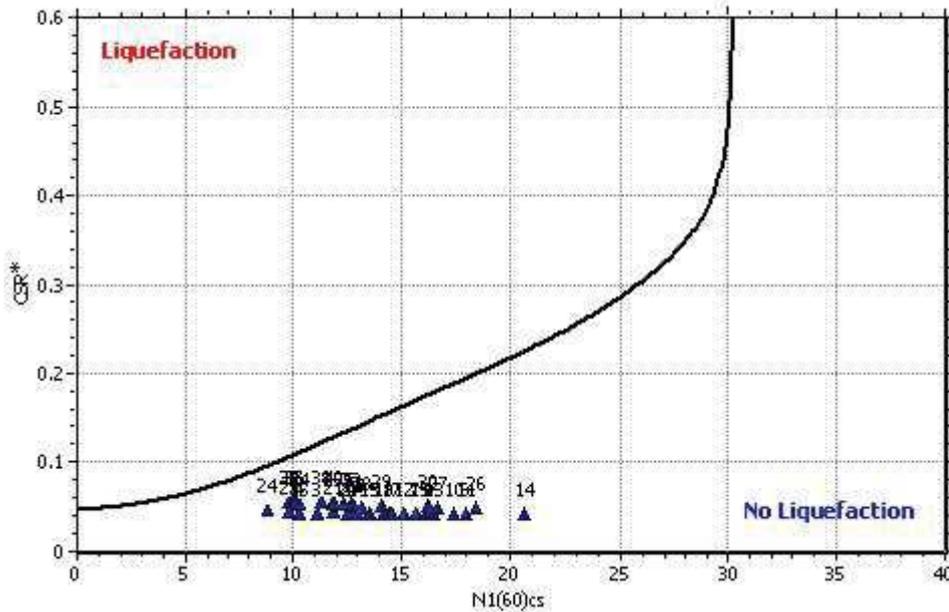
**Factor of safety**



**Settlements (mm)**



**$M_w=7^{1/2}$ ,  $\sigma'_v=1$  atm base curve**



# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

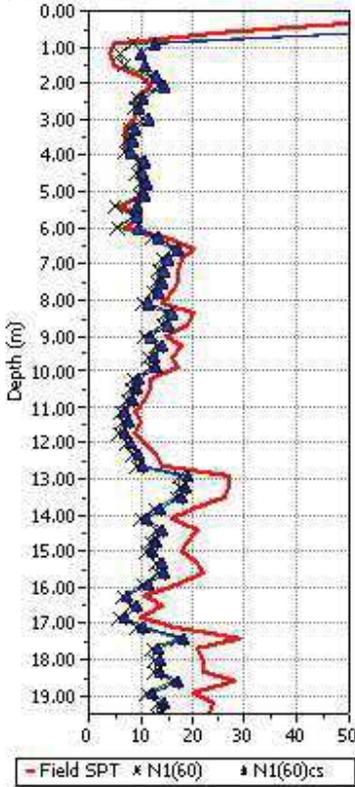
**Project title : Madi Ventura S.p.A. - Chieve (CR)**

**Project subtitle : SCPT7 (2017)**

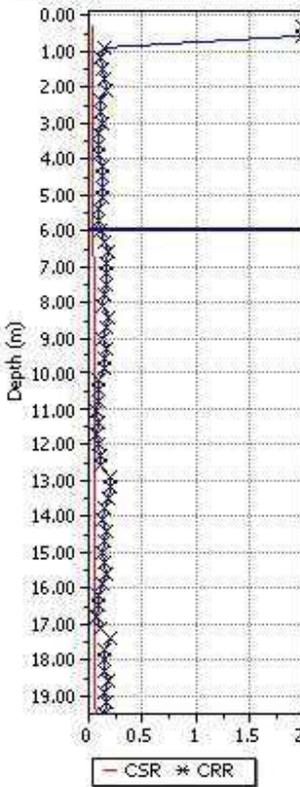
**Input parameters and analysis data**

|                          |                           |                              |        |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type:       | Standard Penetration Test | Depth to water table:        | 6.00 m |
| Analysis type:           | Deterministic             | Earthquake magnitude $M_w$ : | 6.14   |
| Analysis method:         | Eurocode 8                | Peak ground acceleration:    | 0.12 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed             | User defined F.S.:           | 1.25   |

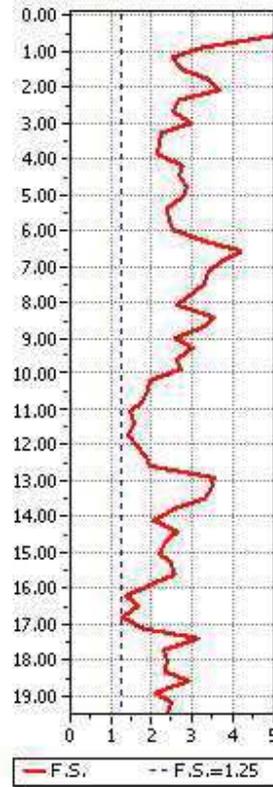
**SPT data graph**



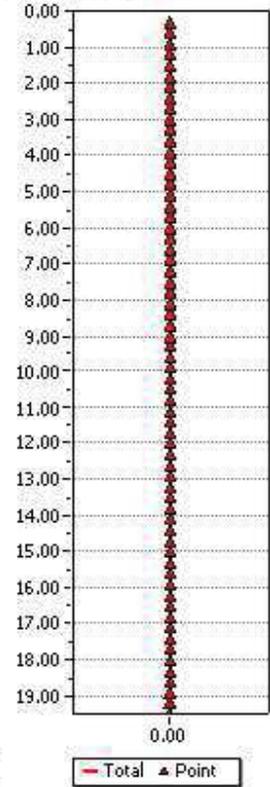
**Shear stress ratio**



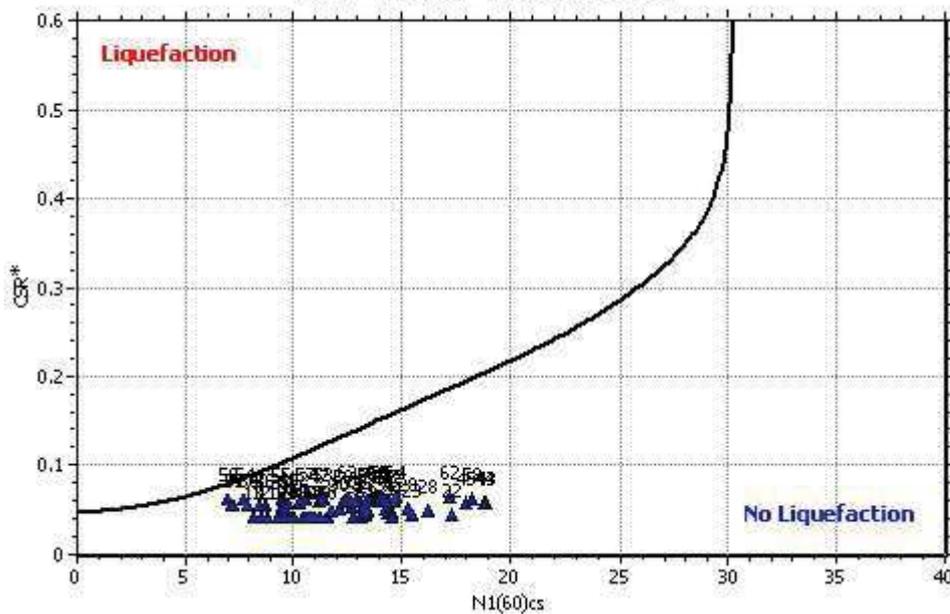
**Factor of safety**



**Settlements (mm)**



**$M_w=7^{1/2}$ ,  $\sigma = 1$  atm base curve**



# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

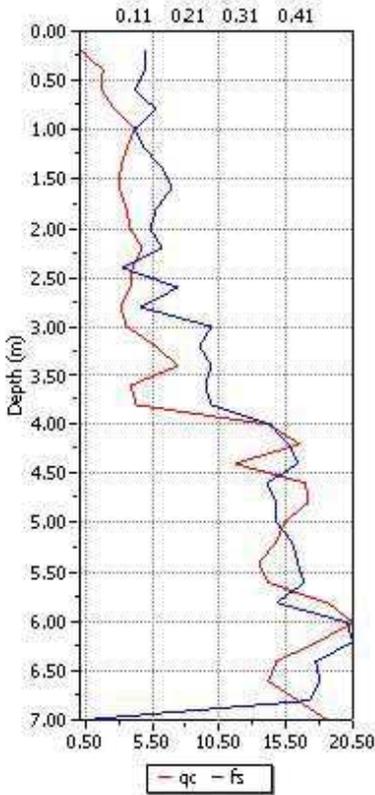
**Project title : P.L. 4 P.R.G. - Chieve (CR)**

**Project subtitle : CPT5**

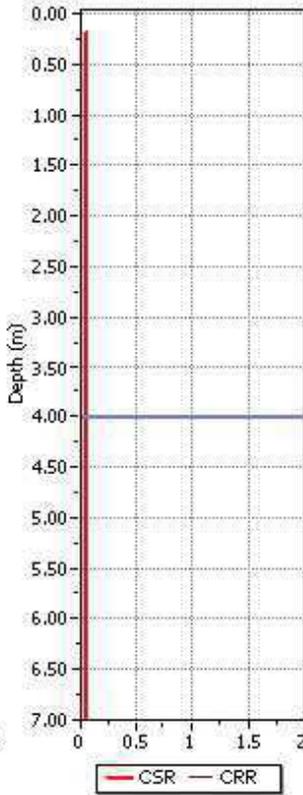
**Input parameters and analysis data**

|                          |                       |                              |        |
|--------------------------|-----------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type:       | Cone Penetration Test | Depth to water table:        | 4.00 m |
| Analysis type:           | Deterministic         | Earthquake magnitude $M_w$ : | 6.14   |
| Analysis method:         | Robertson (1998)      | Peak ground acceleration:    | 0.12 g |
| Fines correction method: | Robertson (1998)      | User defined F.S.:           | 1.00   |

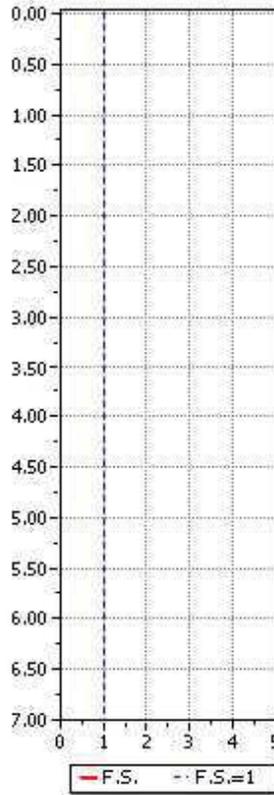
**CPT data graph**



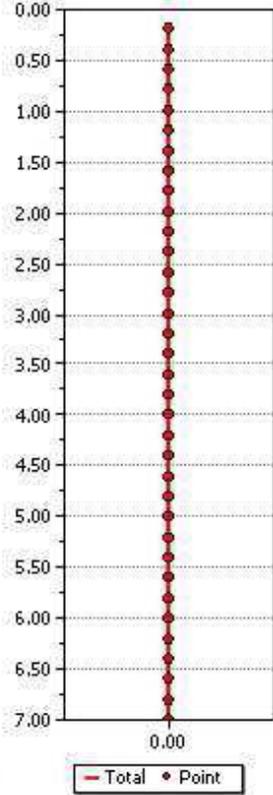
**Shear stress ratio**



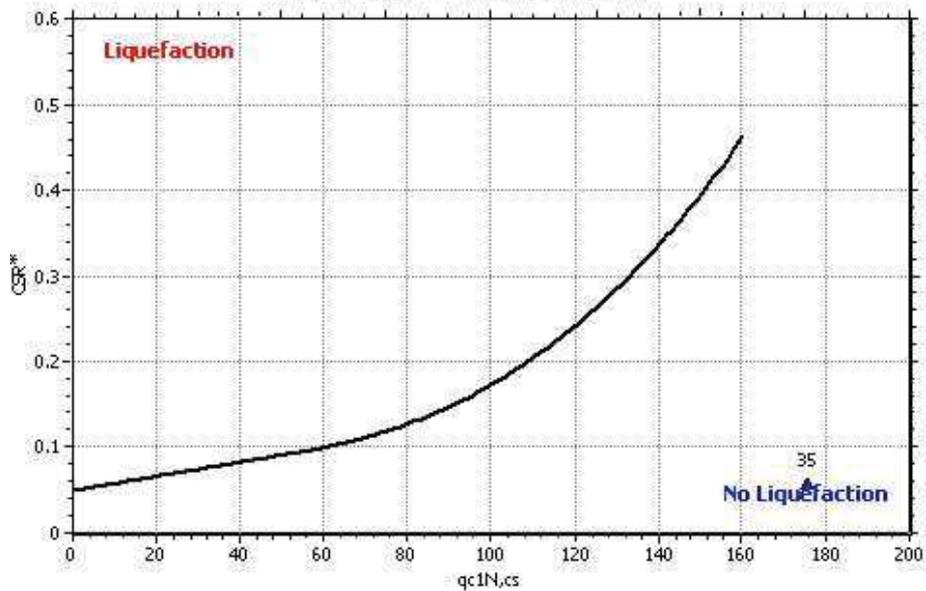
**Factor of safety**

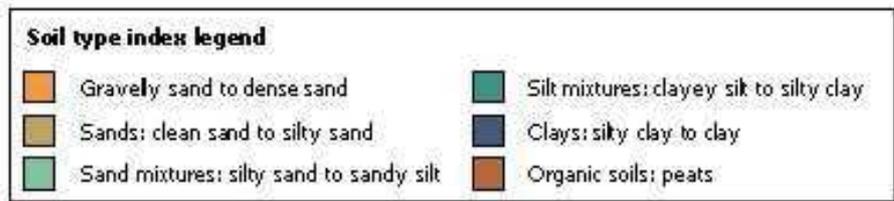
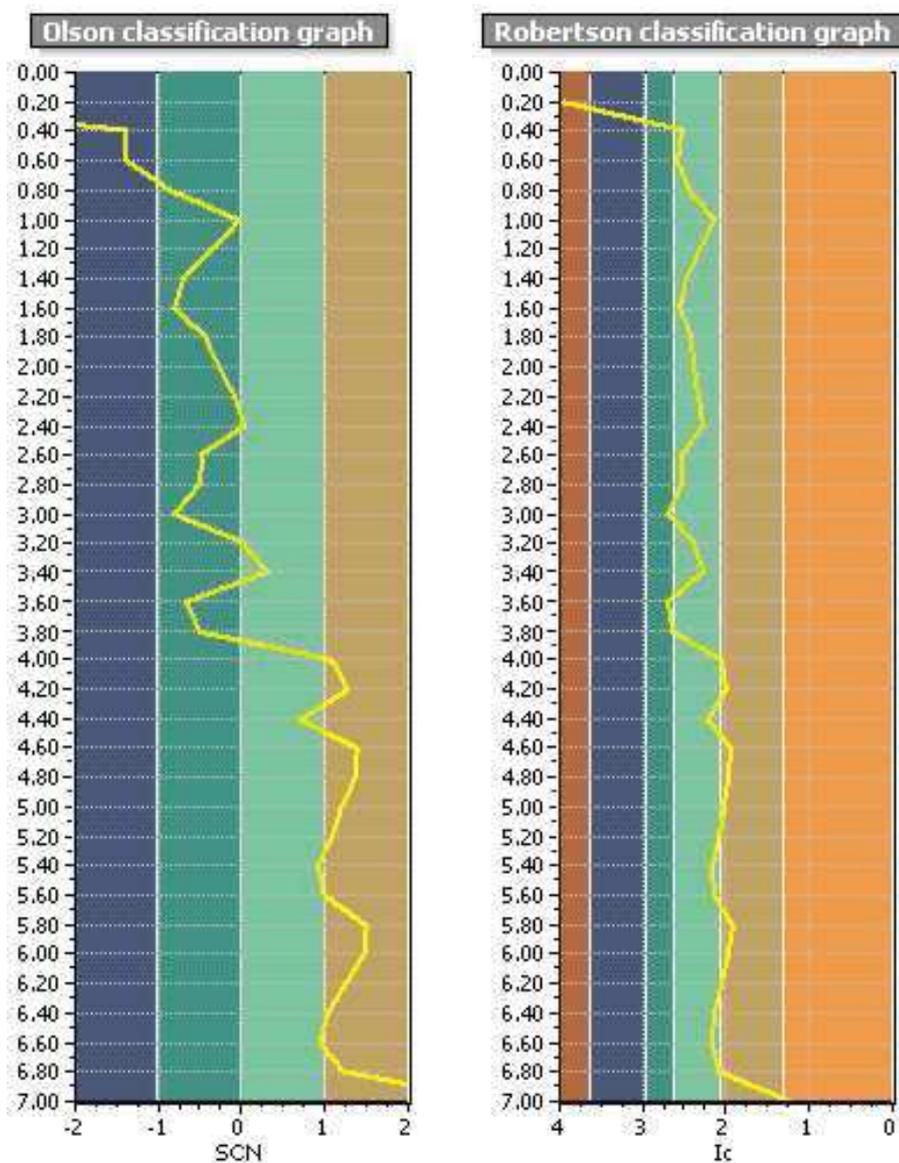


**Settlements (cm)**



$M_w=7^{1/2}$ ,  $\sigma = 1$  atm base curve





**Dott. Roberto Mariotti** – *Geologo Specialista*  
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)  
e-mail: [drmariotti.roberto@libero.it](mailto:drmariotti.roberto@libero.it)

tel/fax: 0372-23266  
cell: 335-6958159  
pec: [mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it](mailto:mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it)

---

# **ALLEGATO 2**

**INDAGINI SISMICHE  
CON METODO CONGIUNTO MASW-REMI**

**RAPPORTO TECNICO**

## Sommario

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | PREMESSA INDAGINI SISMICHE.....                            | 2  |
| 2     | INDAGINI PER LA DETERMINAZIONE DELLA V <sub>sH</sub> ..... | 2  |
| 2.1   | STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....                             | 3  |
| 2.2   | PROVE ATTIVE “MASW” .....                                  | 3  |
| 2.2.1 | Cenni metodologici.....                                    | 3  |
| 2.2.2 | Modalità esecutive delle prove “Masw” .....                | 5  |
| 2.2.3 | Elaborazione dei dati .....                                | 5  |
| 2.3   | PROVE PASSIVE “RE.MI.” .....                               | 6  |
| 2.3.1 | Cenni metodologici.....                                    | 6  |
| 2.3.2 | Modalità esecutive delle prove “Remi” .....                | 8  |
| 2.3.3 | Elaborazione dei dati .....                                | 8  |
| 2.4   | ANALISI DEI RISULTATI.....                                 | 14 |
| 2.5   | CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE.....          | 15 |

## 1 PREMESSA INDAGINI SISMICHE

Il rapporto illustra e commenta le indagini geofisiche eseguite nel Comune di Chieve (CR).

Le indagini sismiche sono state finalizzate sia alla determinazione della categoria del suolo di fondazione, ai sensi del testo unitario "NTC 2018", che alla valutazione della frequenza di vibrazione fondamentale dei siti indagati.

## 2 INDAGINI PER LA DETERMINAZIONE DELLA VsH

Le indagini sono state condotte con due metodologie sismiche che possono essere considerate complementari:

- **RE.MI. - Refraction Microtremor.**
- **MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves.**

La metodologia **RE.MI.** è una tecnica "passiva" in quanto si basa sulla registrazione del rumore sismico indotto dalle attività antropiche (traffico, fabbriche ecc.). I pregi ed i limiti principali di questa tecnica si possono così sintetizzare:

### Pregi

- ✓ adatta in ambienti fortemente antropizzati;
- ✓ elevate profondità di indagine, anche in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), per la capacità di campionare basse frequenze.

### Limiti

- ✓ non adatta in ambienti poco "rumorosi";
- ✓ possibilità di sovrastimare i valori di  $V_s$  in presenza di rumore fortemente direzionale non ortogonale allo stendimento sismico.

Viceversa la metodologia **MASW** è una tecnica "attiva" in quanto si basa sulla registrazione del segnale sismico indotto da una massa battente. I pregi ed i limiti principali di questa tecnica si possono così sintetizzare:

### Pregi

- ✓ adatta in ambienti "non rumorosi";
- ✓ buona capacità di definizione dei valori di  $V_s$ , soprattutto per quanto riguarda gli orizzonti più superficiali (primi 20-30m).

### Limiti

- ✓ poco adatta in ambienti fortemente antropizzati e rumorosi;
- ✓ limitate profondità di indagine in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

Difficilmente, prima di realizzare l'indagine, è possibile valutare qual è la tecnica che può fornire i risultati migliori, quindi in campagna si procede con la realizzazione di entrambe le tecniche, e solo dopo, in fase di elaborazione, saranno confrontati, ed eventualmente "combinati", gli spettri di velocità di fase ottenuti con le 2 tecniche.

In generale, utilizzando le due metodologie in modo “combinato”, sarà dunque possibile ottenere un buon dettaglio superficiale e una maggior profondità d’indagine.

## 2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il “Geode” è un sismografo modulare a 24 bit che rappresenta l’ultima frontiera dei sistemi di registrazione sismica combinando il meglio dei tradizionali sismografi Geometrics con la flessibilità di un sistema ripartito in unità distinte. Geode è un sismografo ad elevata dinamica (144 dB di range dinamico totale – 105 dB istantanei a 2 msec di campionamento). Grazie all’ampia banda d’ingresso (1.75 Hz – 20 kHz, con velocità di campionamento da 0.02 msec a 16 msec), esso è perfettamente idoneo per un’ampia gamma di applicazioni: sismica a rifrazione, sismica a riflessione (anche ad altissima risoluzione), monitoraggio di vibrazioni, applicazioni sismologiche, downhole e VSP. In acquisizione sono disponibili tutte le funzioni di filtri, pre-amplificazione, line-test e instrument-test, tipiche dei sistemi di registrazioni evoluti.



Figura 1: Sismografo “Geode” collegato al pc

- L’attrezzatura utilizzata è composta da:
- Sismografo modulare Geode 3-1000+ canali,
- Massa battente da 10 Kg,
- Piastra di battuta in alluminio 15x15x2,5cm,
- Batteria ricaricabile 12 V,
- Cavo per sismica a rifrazione stranded, 130 mt con 24 takeouts SPT-21 a 5 metri di intervallo e due code da 7.5 mt l’una terminate con connettore Bendix 61S,
- Geofoni GS20DX, 2.0 Hz verticali, 395 Ohm con puntale da 3” ed 1,5 mt di cavo terminato con mueller clip singola MC-20-SP,
- Computer portatile ACER.

## 2.2 PROVE ATTIVE “MASW”

### 2.2.1 Cenni metodologici

Il metodo **MASW** (multichannel analysis of surface waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla

propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi.

Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate lungo uno stendimento lineare di sensori.

Il metodo consente generalmente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente, nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 20 - 30 m, in funzione della rigidità del suolo.

L'elaborazione dei dati con il metodo MASW prevede tre fasi di lavoro:

- 1. la prima fase prevede il calcolo dello spettro di velocità di fase apparente relativo ai sismogrammi registrati;*
- 2. la seconda fase consiste nell'extrapolare dallo spettro di velocità, la curva di dispersione sperimentale;*
- 3. la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica corrispondente al modello di suolo assegnato.*

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due. Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, la densità di massa e si variano lo spessore  $h$  e la velocità  $V_s$  degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità  $V_s$  e degli spessori  $h$ , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica. In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

### 2.2.2 Modalità esecutive delle prove "Masw"

In totale sono stati realizzati 4 stendimenti sismici costituiti da allineamenti di 15-18 geofoni spazati di 5 m. La lunghezza delle registrazioni è stata di 1 sec, con un passo di campionamento di 0.250 ms. L'energizzazione, realizzata a distanze di 5 e 10 metri dal primo geofono, è stata ottenuta con una massa battente di 10 Kg.

### 2.2.3 Elaborazione dei dati

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è il "winMASW" Academy della Eliosoft. In una prima fase è stato calcolato lo spettro velocità di fase-frequenza che poi è stato "combinato" con lo spettro ricavato dalle prove ReMi.

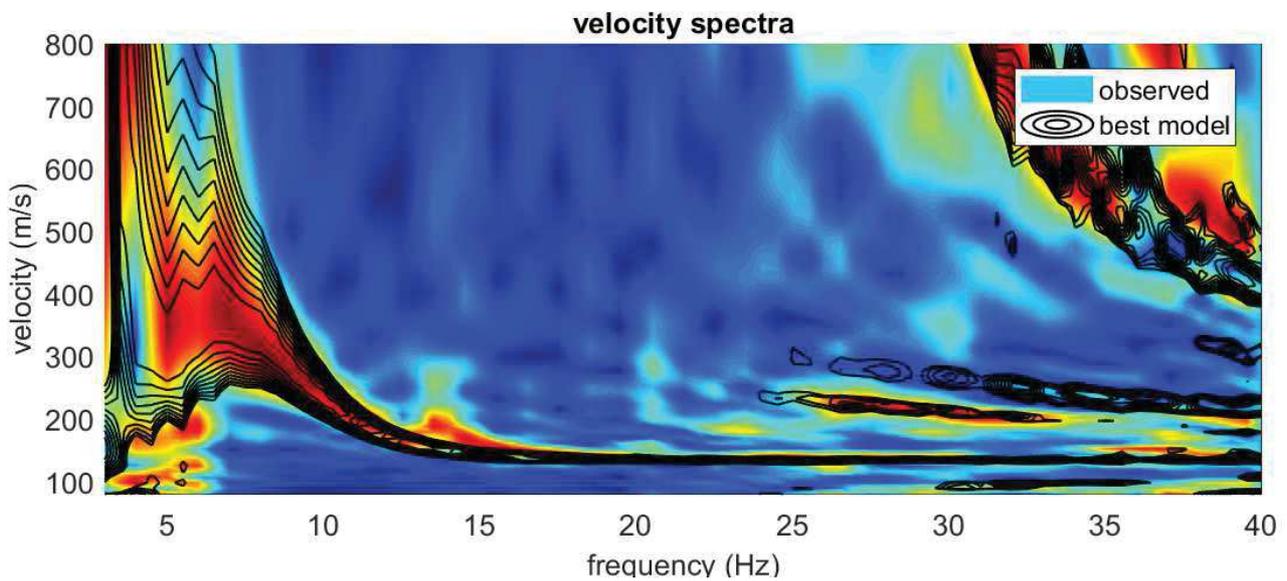


Figura 2a: Spettro velocità di fase prova 1

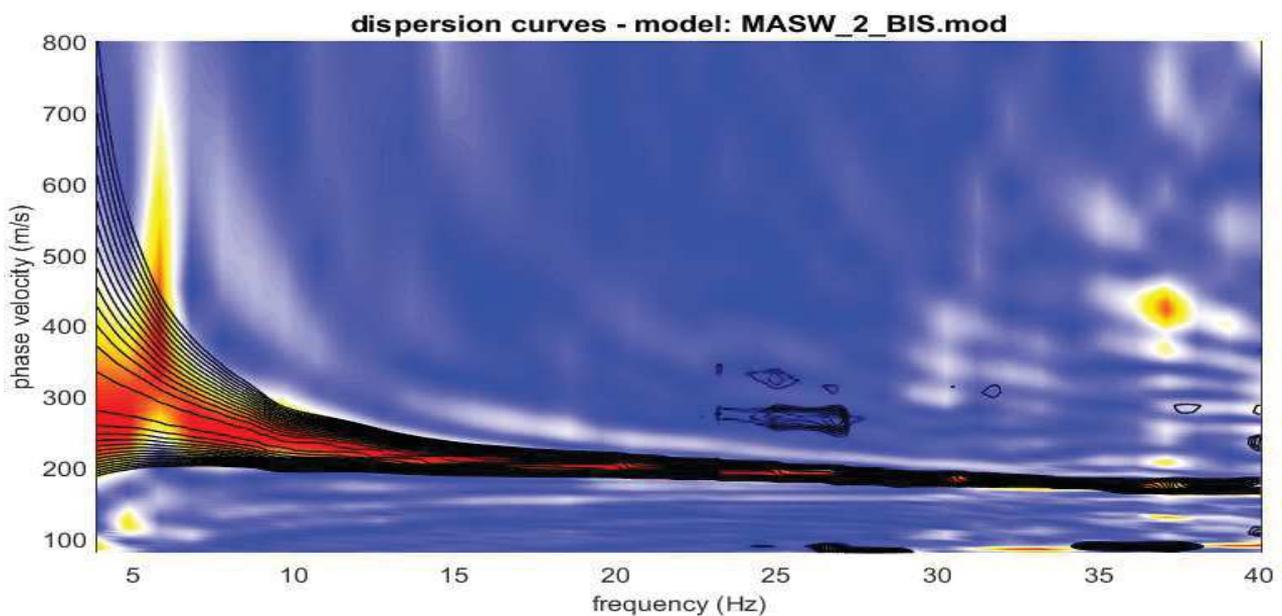


Figura 2b: Spettro velocità di fase prova 2

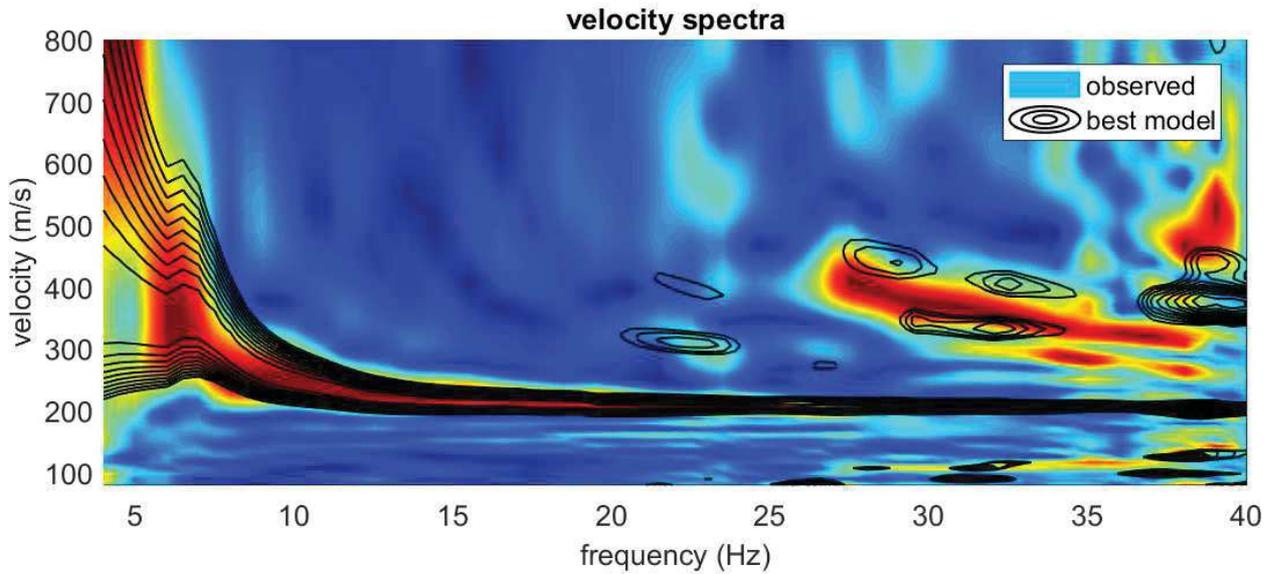


Figura 2c: Spettro velocità di fase prova 3

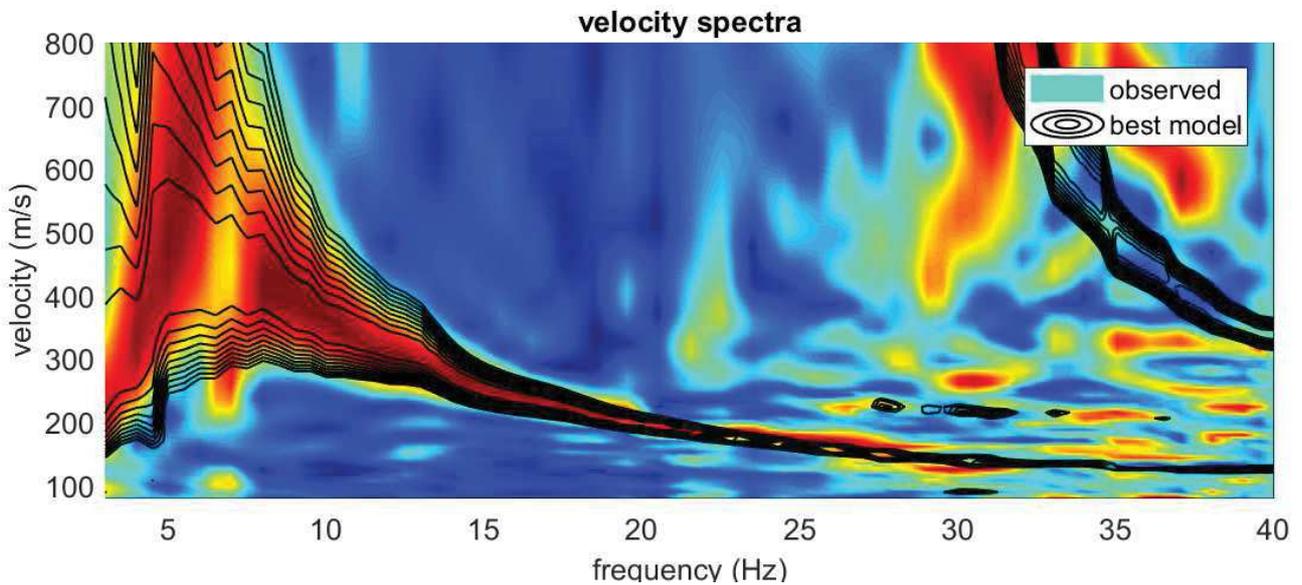


Figura 2d: Spettro velocità di fase prova 4

## 2.3 PROVE PASSIVE “RE.MI.”

### 2.3.1 Cenni metodologici

Le tecniche correntemente utilizzate (Down-Hole, Cross-Hole) per la stima delle velocità delle onde di taglio per caratterizzare un sito sotto il profilo della risposta sismica, dovendo necessitare di almeno un foro di 30 m nel quale eseguire la prova, sono normalmente troppo onerose per essere impiegate come indagine di routine negli studi di microzonazione e di classificazione dei profili stratigrafici dei suoli di fondazione per progettazioni di opere non concentrate in areali ristretti.

Altre metodologie d’indagine indiretta per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ , quale la sismica a rifrazione in SH, sono limitate dalla incapacità di rilevare livelli a

bassa velocità sismica sottostanti a livelli a velocità sismica più elevata, che rappresentano i casi invece più significativi per la determinazione del profilo di velocità VS. Presentano altresì lo svantaggio di una tecnica di acquisizione non semplice, avendo la necessità di generare in superficie onde direzionali con apposite attrezzature, e di richiedere dispositivi di acquisizione relativamente lunghi per garantire la profondità d'indagine dei 30 m, ma soprattutto di dover operare in ambienti con poco rumore di fondo, di fatto praticamente impossibile da riscontrare in ambiti urbanizzati, industriali, o in adiacenza a strade o a linee ferroviarie, come il caso in esame.

Altre metodologie di prospezione, quali le prove di misura di onde di superficie SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), o le prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), pur avendo capacità di discriminare livelli lenti all'interno di unità sismiche più veloci, hanno anch'esse la necessità di ambienti relativamente tranquilli per l'acquisizione e, comunque presentano metodologie di rilievo sicuramente laboriose e complesse. La tecnica di prospezione "Refraction Microtremor"(Re.Mi) utilizzata capovolge il concetto comune del parametro "segnale-disturbo", per il quale tradizionalmente il primo (segnale) ha necessità di essere rilevato in condizioni favorevoli quindi in assenza o scarsità di rumore. Viceversa, in presenza di forte rumore di fondo (es. ambiente urbano), le tradizionali rilevazioni sismiche hanno sempre trovato una condizione di difficile applicazione a causa della difficoltà di discriminare il segnale dal rumore.

Con questa tecnica, il disturbo, il "noise" ambientale diventa il segnale utilizzato per la caratterizzazione sismica. Sono i microtremori (rumore di fondo generato dal traffico stradale, ferroviario e comunque il rumore presente costantemente in ambito urbanizzato) a costituire la sorgente di energia utile allo scopo.

Numerose sperimentazioni hanno consentito di appurare che le registrazioni del rumore di fondo ambientale, effettuate con uno stendimento sismico normalmente utilizzato per la sismica a rifrazione, possono essere utilizzate, con opportune procedure di acquisizione e elaborazione, per stimare la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) fino a profondità che possono essere superiori a 100m.

La metodologia d'indagine più applicata per la determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , è stata proposta e sperimentata da J.N.Louie del Seismological Laboratory and Dept. of Geological Sciences dell'Università del Nevada, ed è basata su due aspetti fondamentali:

- Uno pratico, rappresentato dal fatto che alcuni sistemi di acquisizione di sismica a rifrazione (con dinamica a 24 bit) sono in grado di registrare onde di superficie con frequenze fino a 2 Hz per intervalli di tempo sufficientemente lunghi (30 sec);

- Uno teorico, sulla base del quale una semplice trasformata bidimensionale (p-f) slowness-frequency della registrazione di un rumore di fondo (microtremor) è in grado di separare le onde di Rayleigh (onde di superficie) da altri tipi di onde che compongono il sismogramma, rendendo possibile il riconoscimento delle vere velocità di fase dalle velocità apparenti.

### 2.3.2 Modalità esecutive delle prove “Remi”

Sono stati acquisiti gli stessi profili delle prove “Masw”, costituiti da stendimenti di 15-18 geofoni equispaziati di 5 m. Per ogni prova sono stati raccolti oltre 15 records di lunghezza di 30 sec. con campionamento ogni 2ms.

### 2.3.3 Elaborazione dei dati

Il software di elaborazione utilizzato è il **winMASW Academy** prodotto dalla **Eliosoft**.

In questo caso è stato ricavato lo spettro velocità di fase-frequenza relativo alle acquisizioni passive, che ha consentito di definire con maggior dettaglio le basse frequenze.

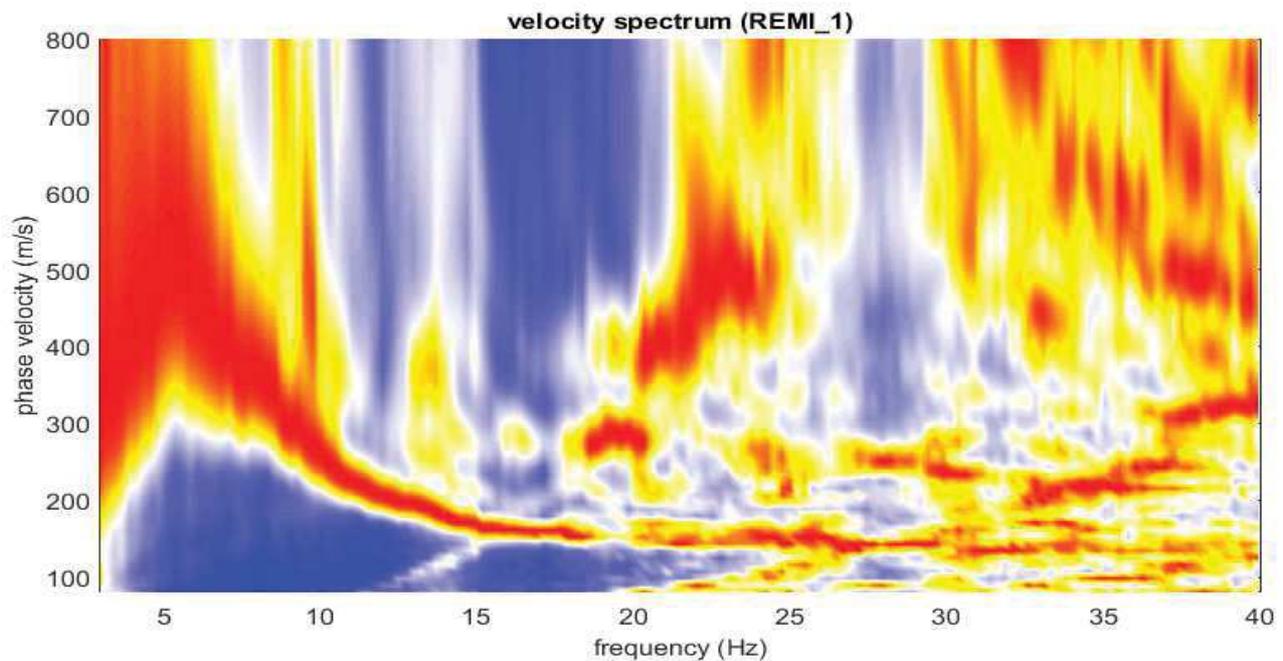


Figura 3a: Analisi spettrale “ReMi” – prova 1

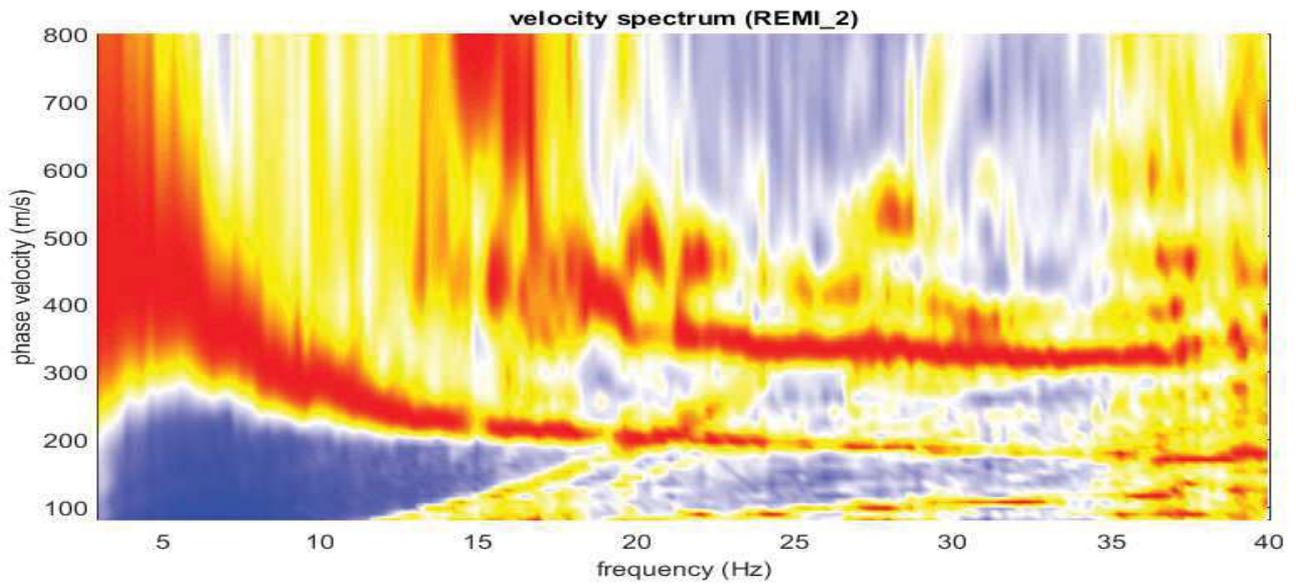


Figura 3a: Analisi spettrale "ReMi" - prova 2

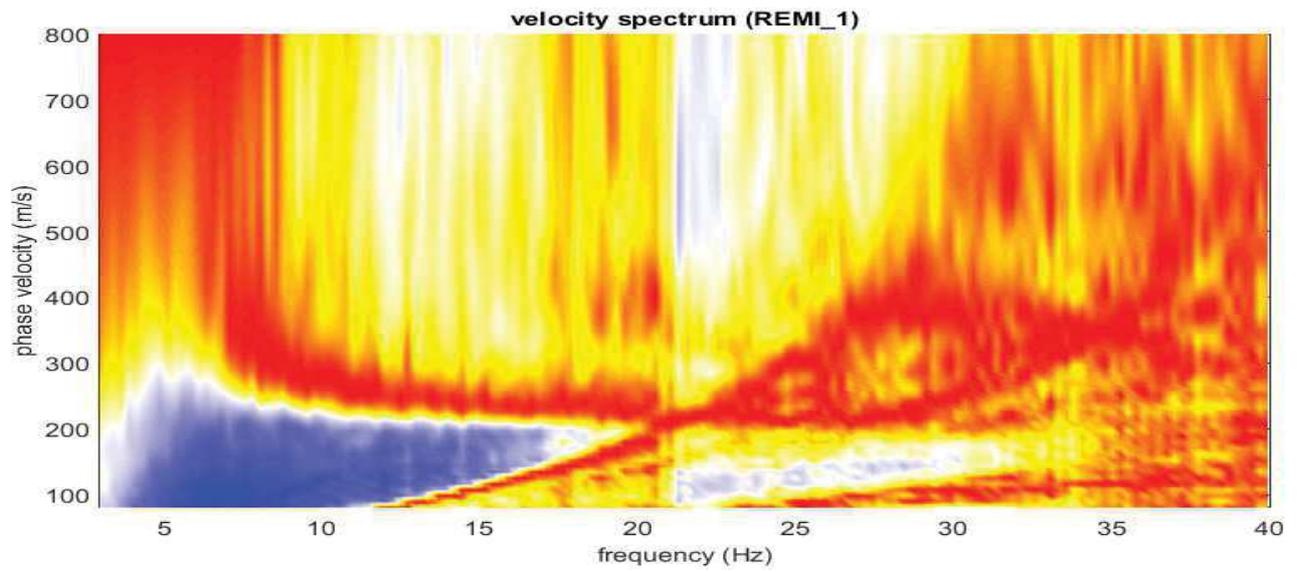


Figura 3c: Analisi spettrale "ReMi" - prova 3

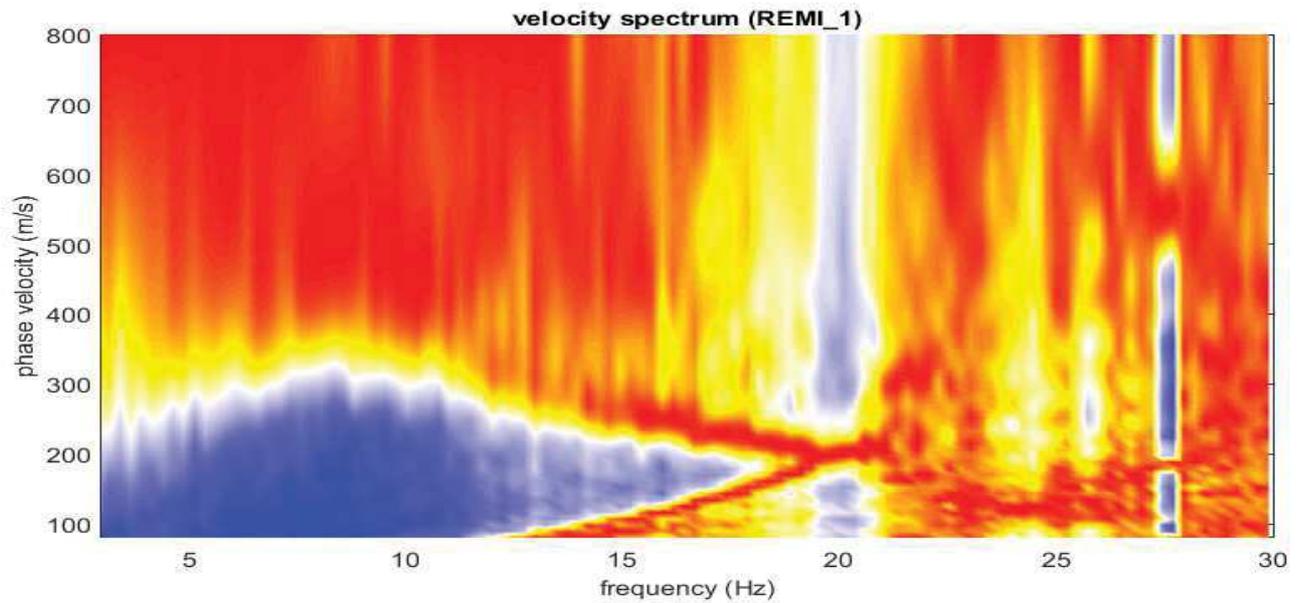


Figura 3d: Analisi spettrale "ReMi" - prova 4

In seguito sono stati "combinati" gli spettri derivati dalle prove "Masw" e da quelle "ReMi" in modo da ottenere uno spettro di velocità "congiunto".

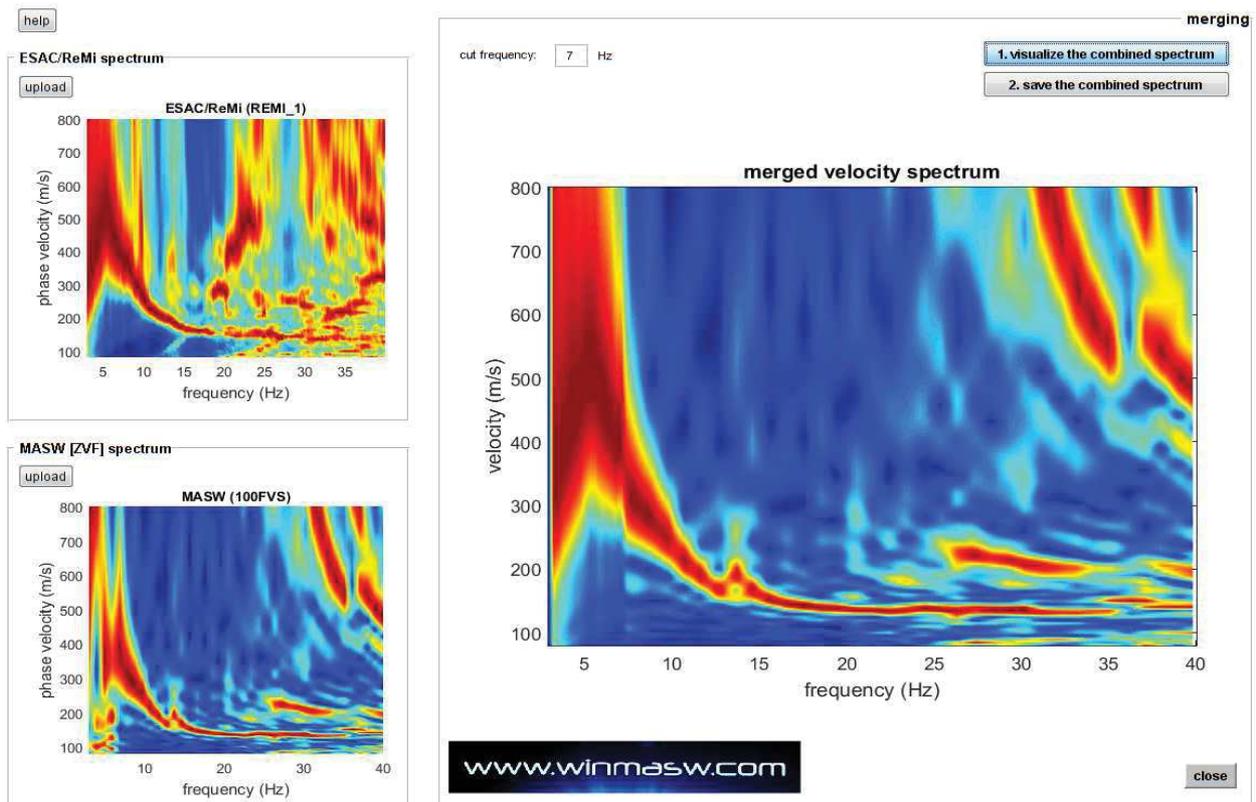


Figura 4a: "Combinazione" degli spettri di velocità - prova 1

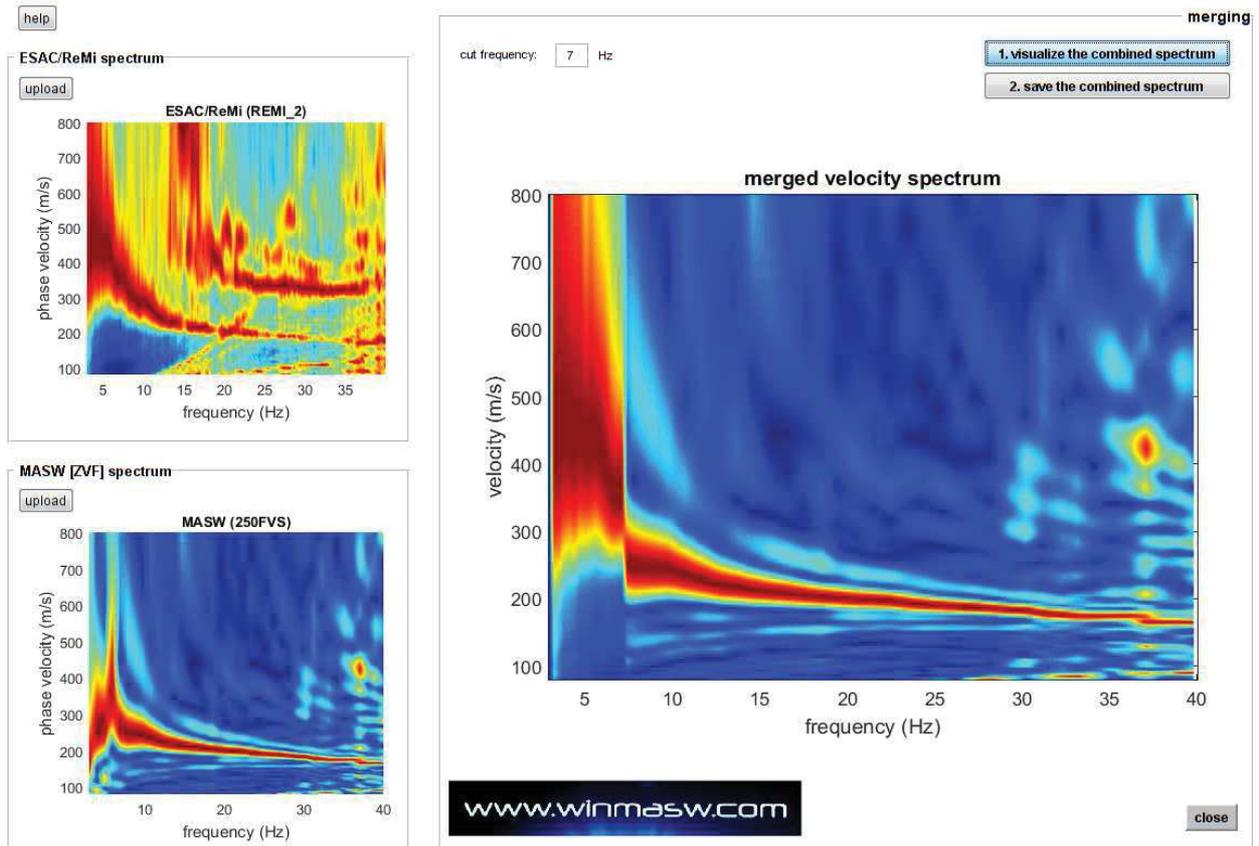


Figura 4b: “Combinazione” degli spettri di velocità - prova 2

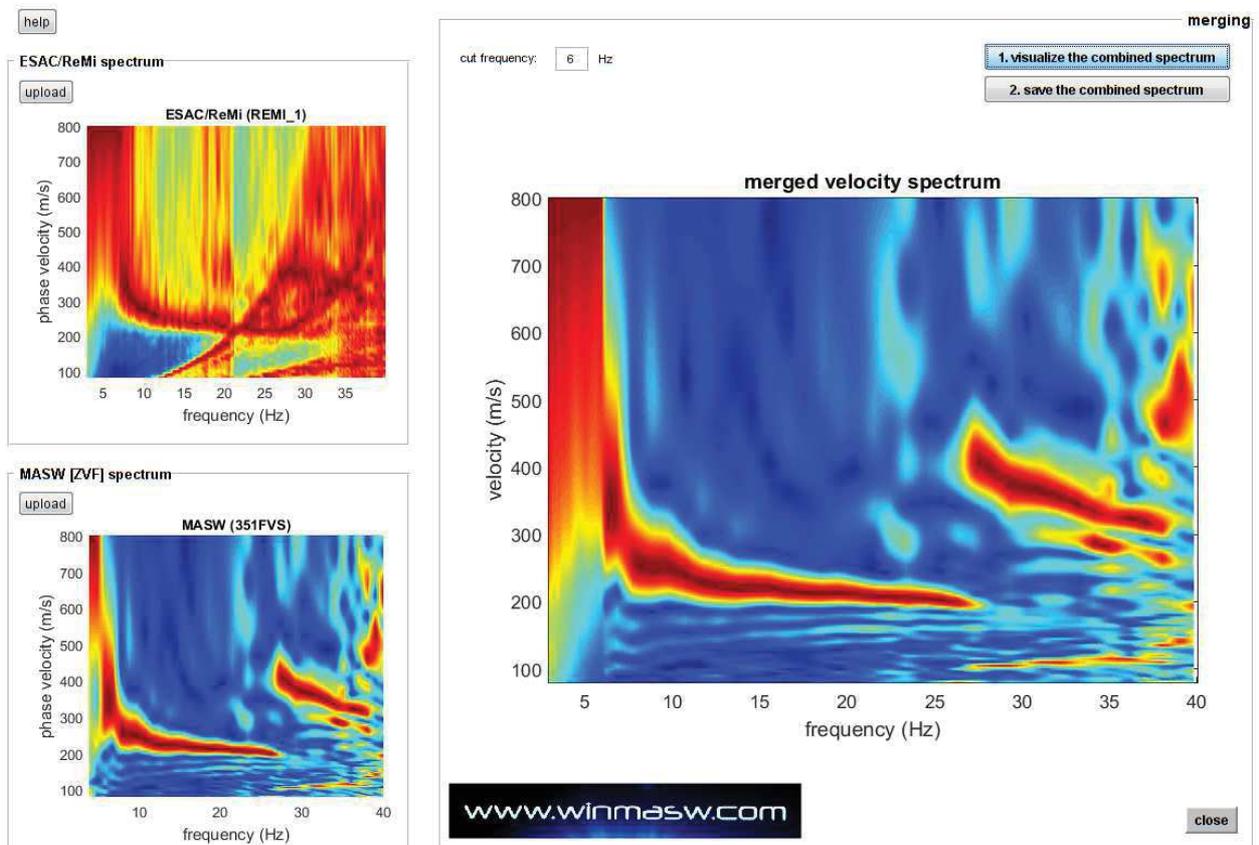


Figura 4c: “Combinazione” degli spettri di velocità - prova 3

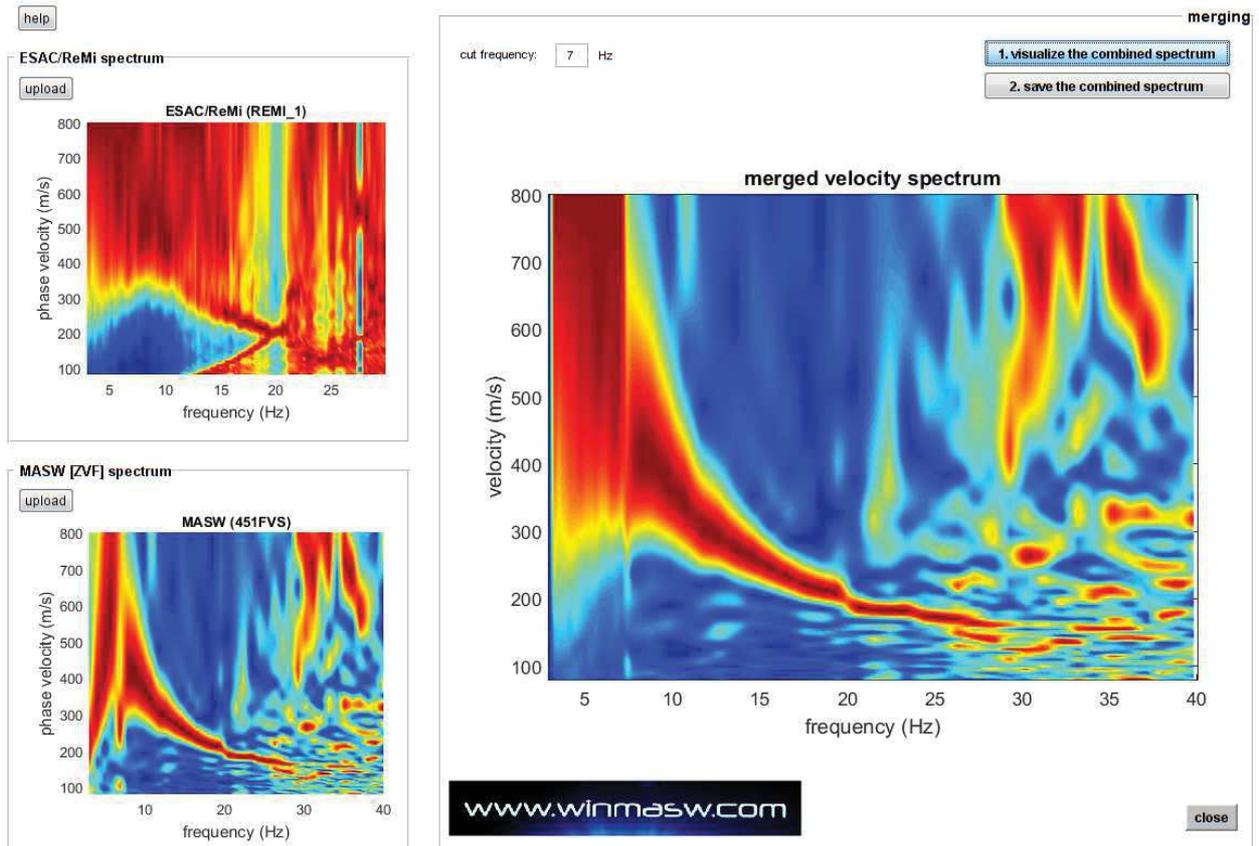


Figura 4d: “Combinazione” degli spettri di velocità – prova 4

Infine sono state estrapolate le curve di dispersione (effettive) congiunte Masw-Remi che hanno consentito di ricavare i profili di velocità Vs.

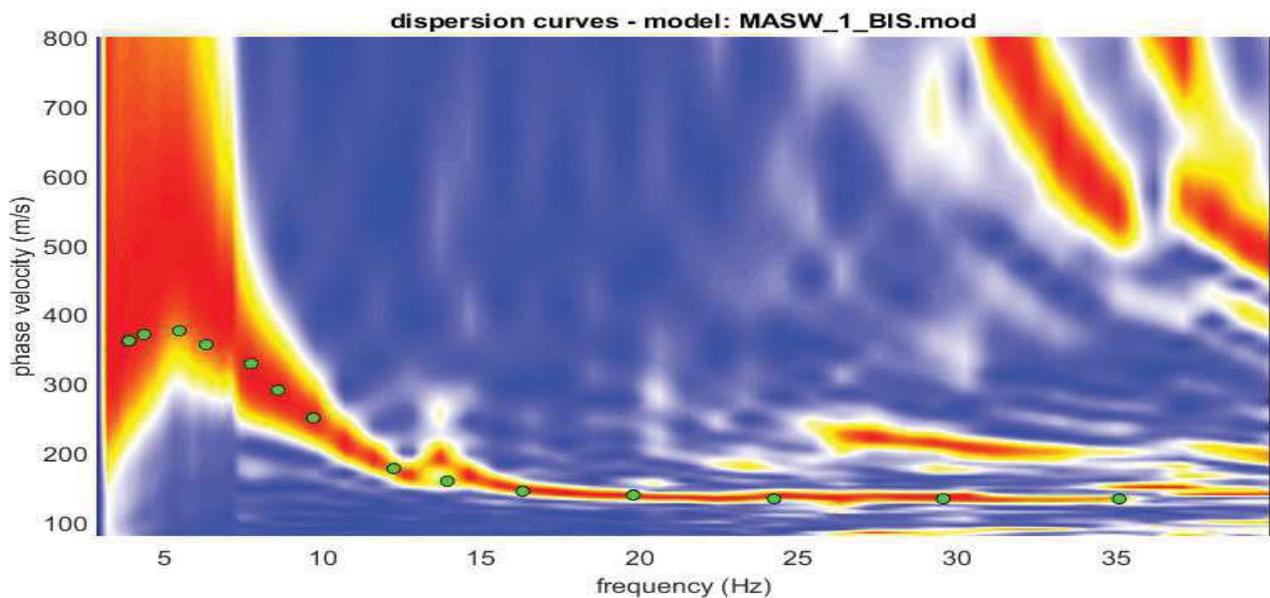


Figura 5a: Curva di dispersione derivata dallo spettro di velocità combinato – prova 1

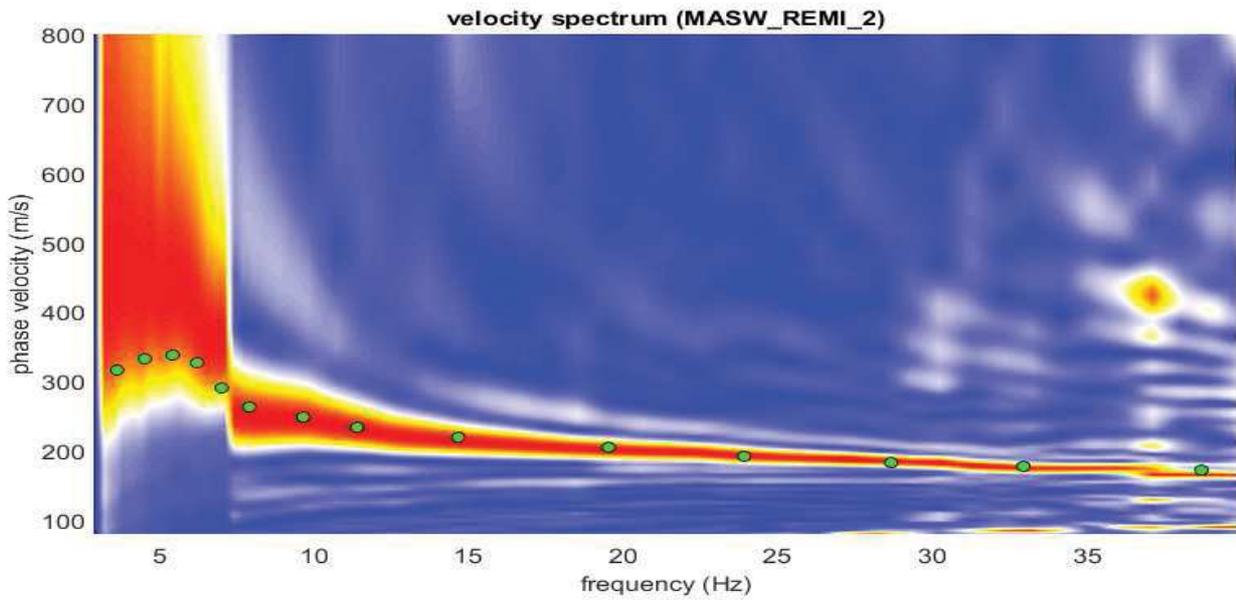


Figura 5b: Curva di dispersione derivata dallo spettro di velocità combinato - prova 2

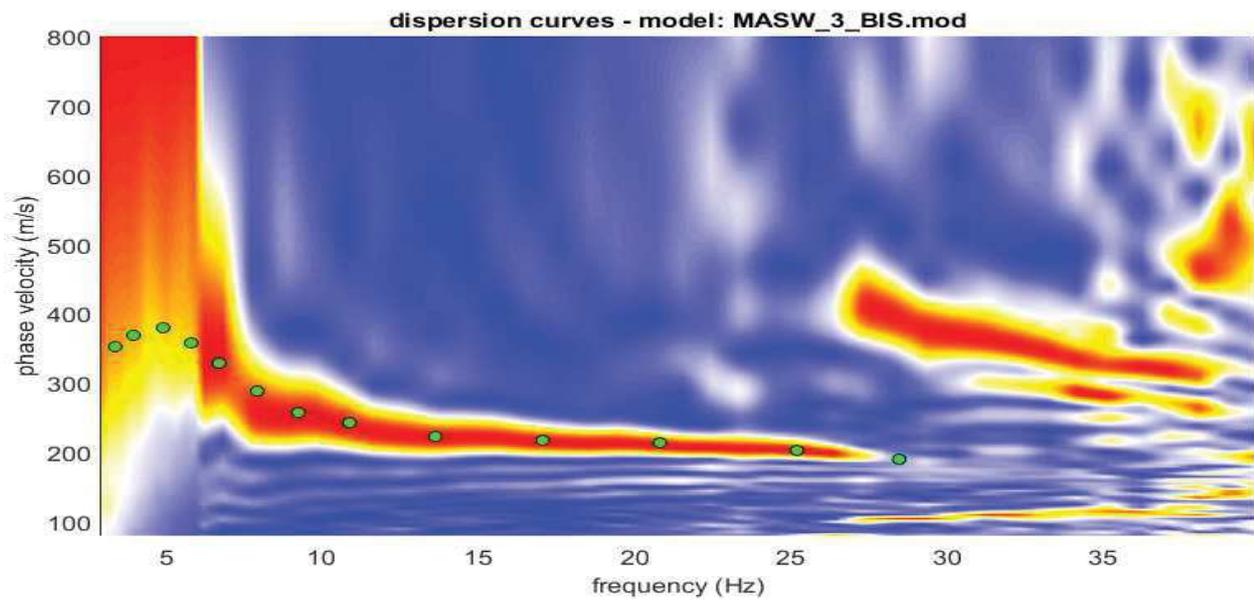


Figura 5c: Curva di dispersione derivata dallo spettro di velocità combinato - prova 3

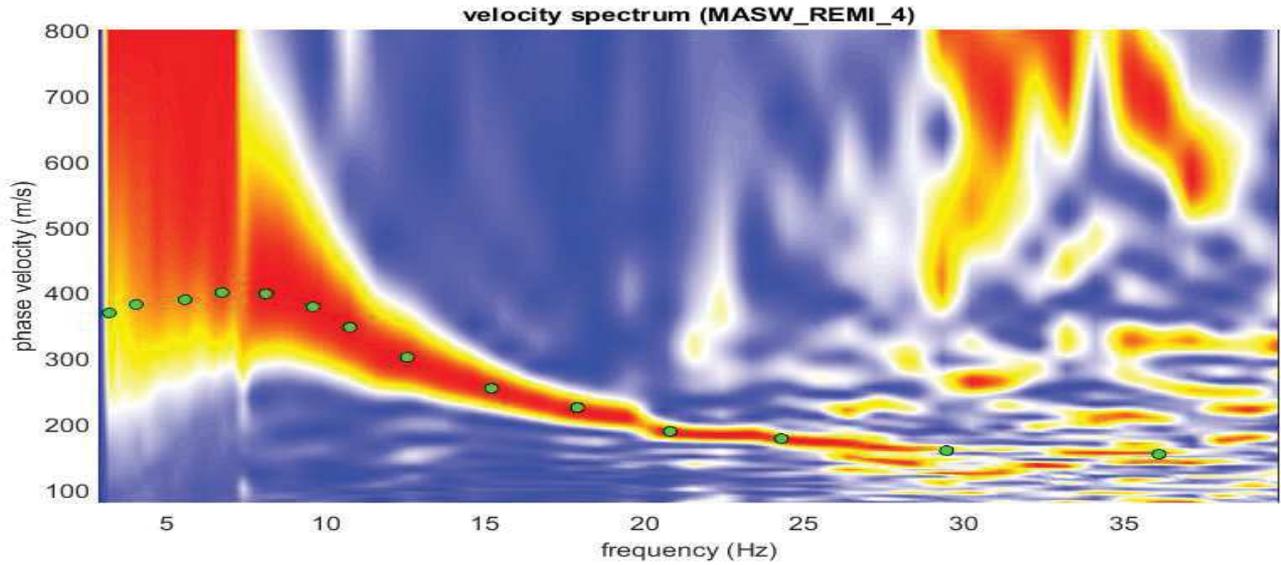


Figura 5d: Curva di dispersione derivata dallo spettro di velocità combinato - prova 4

## 2.4 ANALISI DEI RISULTATI

I dati sismici acquisiti ed elaborati hanno consentito di determinare i profili di velocità delle onde "S" del sito.

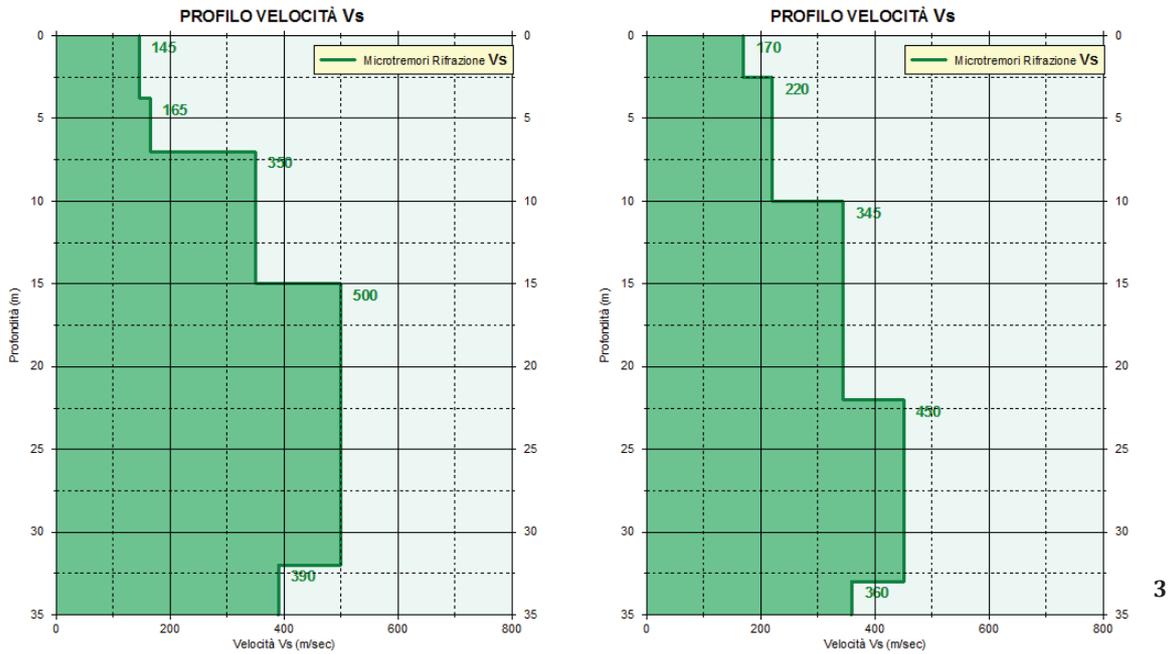
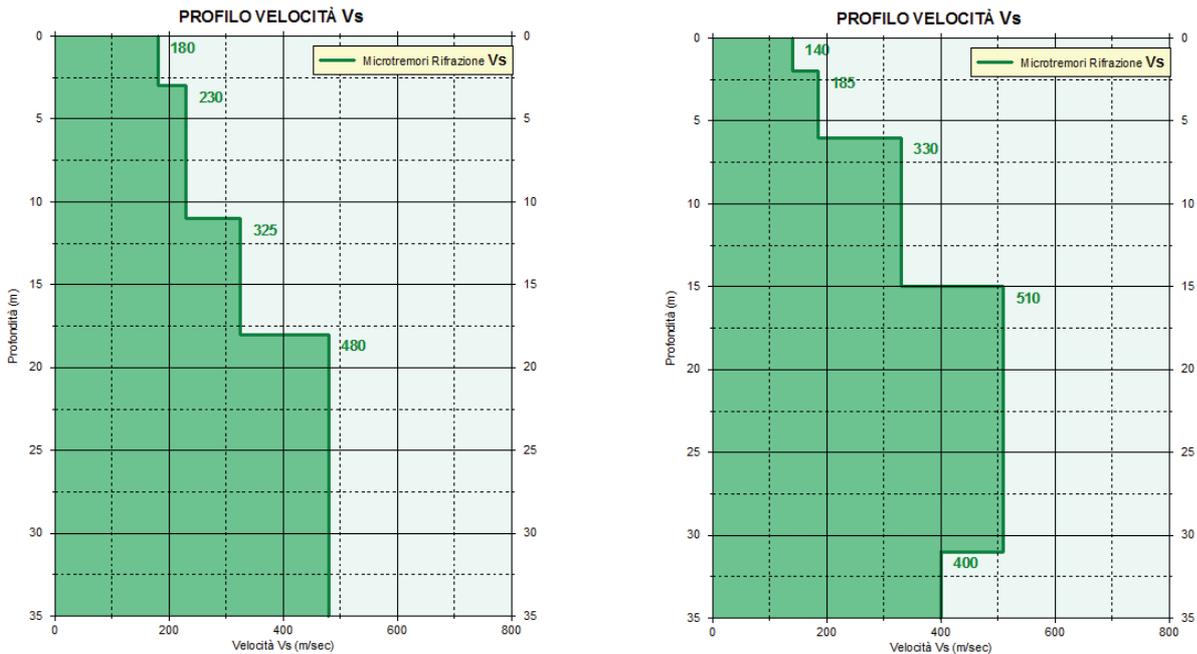


Figura 6a: Profili di velocità prove 1 e 2



**Figura 6b: Profili di velocità prove 3 e 4**

Esaminando i risultati delle prove si possono fare le seguenti considerazioni:

- ✓ Lo spessore del materiale a basso addensamento con  $V_s < 200$  m/s è mediamente di 3-6 metri.
- ✓ Più in profondità, fino a 15-22, valori aumentano portandosi sui 220-350 m/s, segnalando la presenza di materiale in prevalenza sabbioso-ghiaioso ben addensato.
- ✓ Ancora più in profondità i valori di  $V_s$  aumentano ulteriormente indicando litotipi, prevalentemente grossolani, molto addensati.
- ✓ Localmente oltre i 30-32 si ha una leggera riduzione di velocità.

## 2.5 CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

Poiché la norma stabilisce che la classificazione deve riguardare i terreni al di sotto delle fondazioni, in funzione del piano di posa delle fondazioni stesse, la  $V_s$  equivalente (NTC 2018) varia secondo le seguenti tabelle:

| Quota piano di fondazione | Intervallo dal p.c. | $V_{S,H}$ | Categoria di sottosuolo |
|---------------------------|---------------------|-----------|-------------------------|
| 0 m                       | 0/-30 m             | 304 m/sec | <b>C</b>                |
| -1 m                      | -1/-31 m            | 320 m/sec | <b>C</b>                |
| -2 m                      | -2/-32 m            | 338 m/sec | <b>C</b>                |
| -3 m                      | -3/-33 m            | 355 m/sec | <b>C</b>                |
| -4 m                      | -4/-34 m            | 374 m/sec | <b>B</b>                |
| -5 m                      | -5/-35 m            | 391 m/sec | <b>B</b>                |

**Tabella 1a - prova 1**

RAPPORTO SULLE INDAGINI SISMICHE

| Quota piano di fondazione | Intervallo dal p.c. | VS <sub>H</sub> | Categoria di sottosuolo |
|---------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|
| 0 m                       | 0/-30 m             | 294 m/sec       | <b>C</b>                |
| -1 m                      | -1/-31 m            | 305 m/sec       | <b>C</b>                |
| -2 m                      | -2/-32 m            | 317 m/sec       | <b>C</b>                |
| -3 m                      | -3/-33 m            | 330 m/sec       | <b>C</b>                |
| -4 m                      | -4/-34 m            | 336 m/sec       | <b>C</b>                |
| -5 m                      | -5/-35 m            | 343 m/sec       | <b>C</b>                |

**Tabella 2b- prova 2**

| Quota piano di fondazione | Intervallo dal p.c. | VS <sub>H</sub> | Categoria di sottosuolo |
|---------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|
| 0 m                       | 0/-30 m             | 306 m/sec       | <b>C</b>                |
| -1 m                      | -1/-31 m            | 317 m/sec       | <b>C</b>                |
| -2 m                      | -2/-32 m            | 330 m/sec       | <b>C</b>                |
| -3 m                      | -3/-33 m            | 343 m/sec       | <b>C</b>                |
| -4 m                      | -4/-34 m            | 352 m/sec       | <b>C</b>                |
| -5 m                      | -5/-35 m            | 361 m/sec       | <b>B</b>                |

**Tabella 3c - prova 3**

| Quota piano di fondazione | Intervallo dal p.c. | VS <sub>H</sub> | Categoria di sottosuolo |
|---------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|
| 0 m                       | 0/-30 m             | 324 m/sec       | <b>C</b>                |
| -1 m                      | -1/-31 m            | 343 m/sec       | <b>C</b>                |
| -2 m                      | -2/-32 m            | 362 m/sec       | <b>B</b>                |
| -3 m                      | -3/-33 m            | 376 m/sec       | <b>B</b>                |
| -4 m                      | -4/-34 m            | 390 m/sec       | <b>B</b>                |
| -5 m                      | -5/-35 m            | 405 m/sec       | <b>B</b>                |

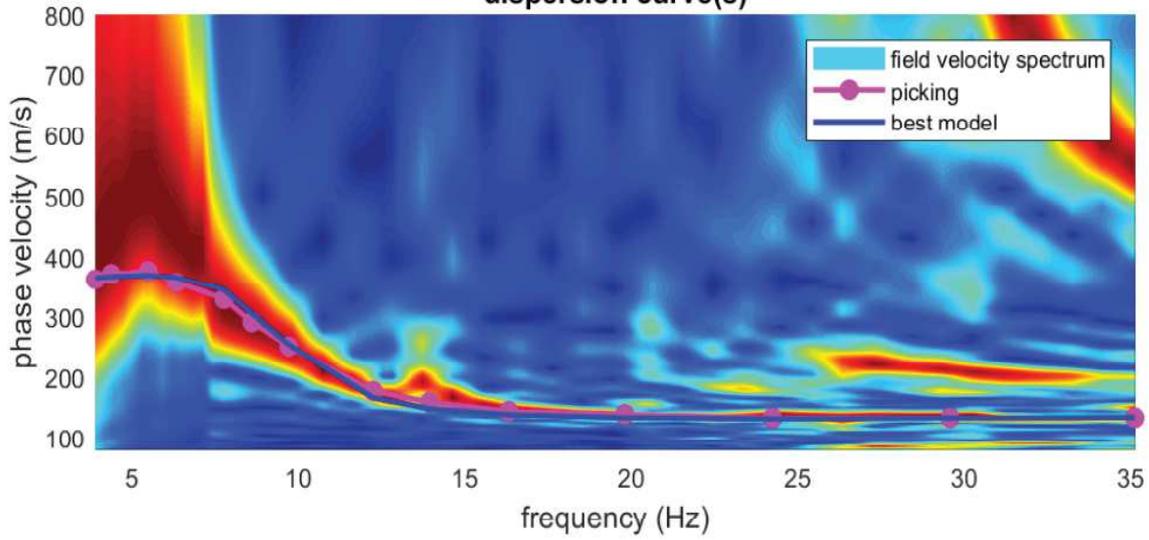
**Tabella 4d - prova 4**

Farini: 30/01/2019

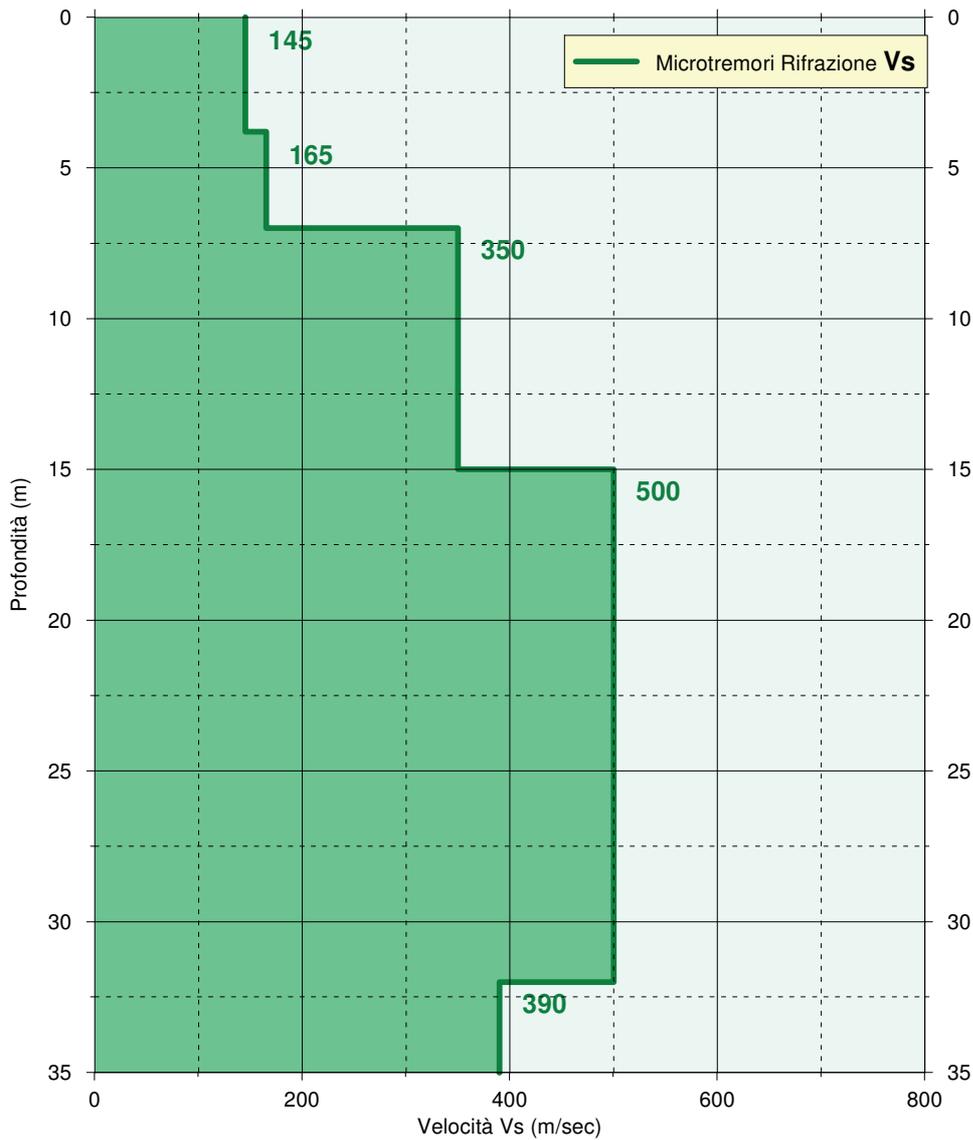
Dott. Geol. Alberto Lepori



Spettro velocità di fase - curva dispersione effettiva  
dispersion curve(s)



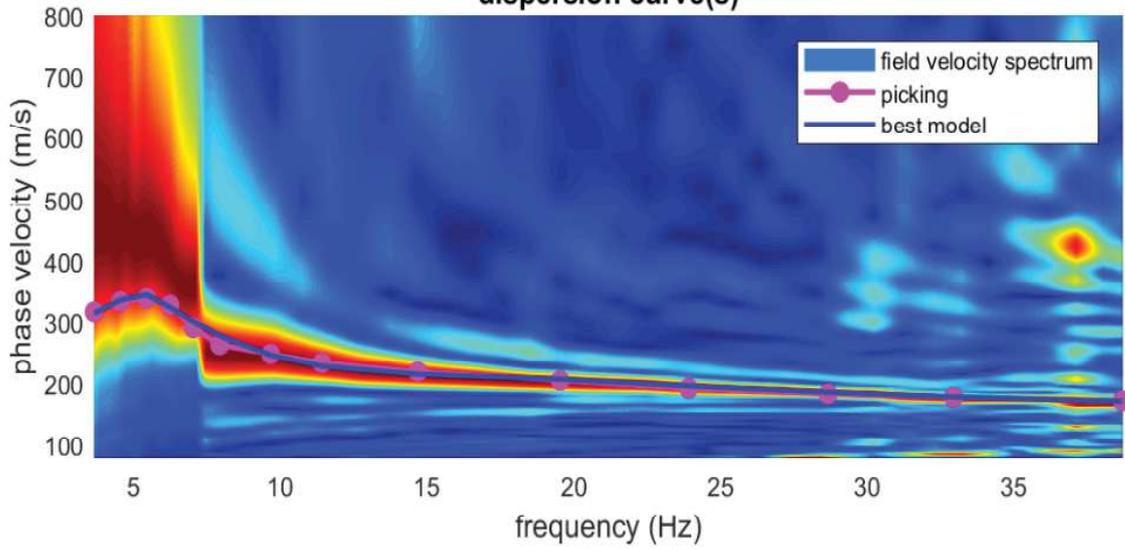
PROFILO VELOCITÀ Vs



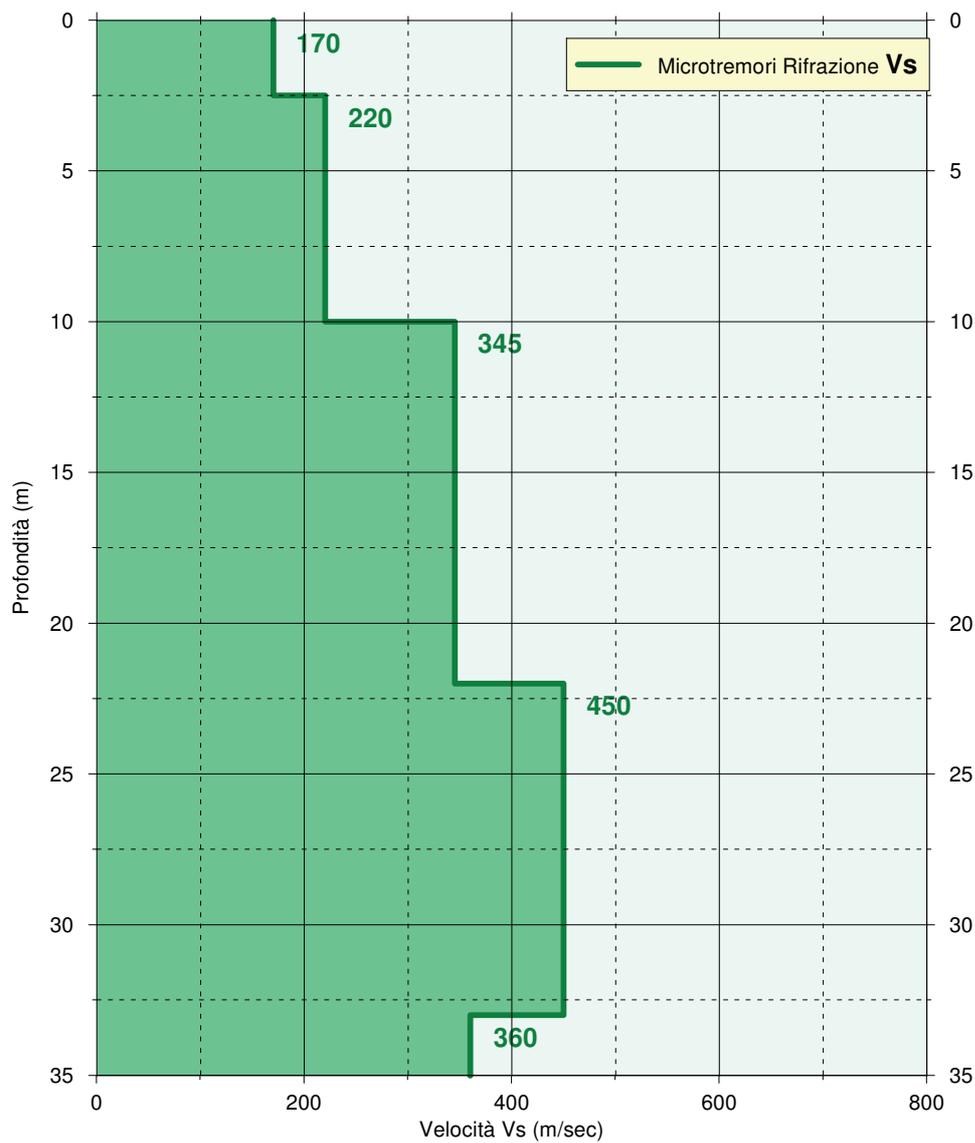
***VsH (0-30 m) = 304 m/s***

***Suolo di fondazione tipo "C"***

Spettro velocità di fase - curva dispersione effettiva  
dispersion curve(s)



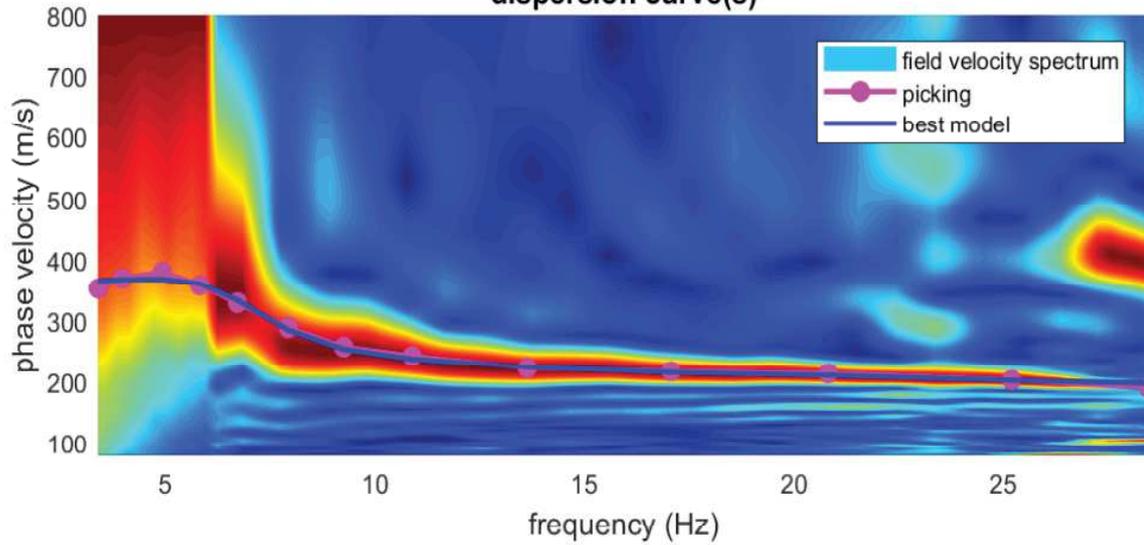
PROFILO VELOCITÀ Vs



***VsH (0-30 m) = 294 m/s***

***Suolo di fondazione tipo "C"***

Spettro velocità di fase - curva dispersione effettiva  
dispersion curve(s)



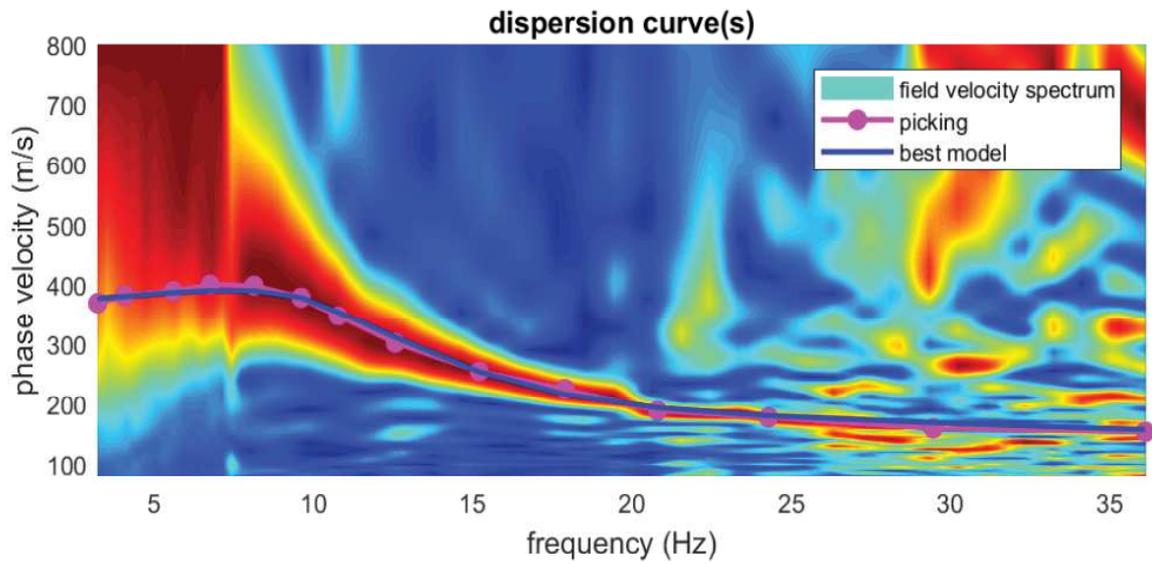
PROFILO VELOCITÀ Vs



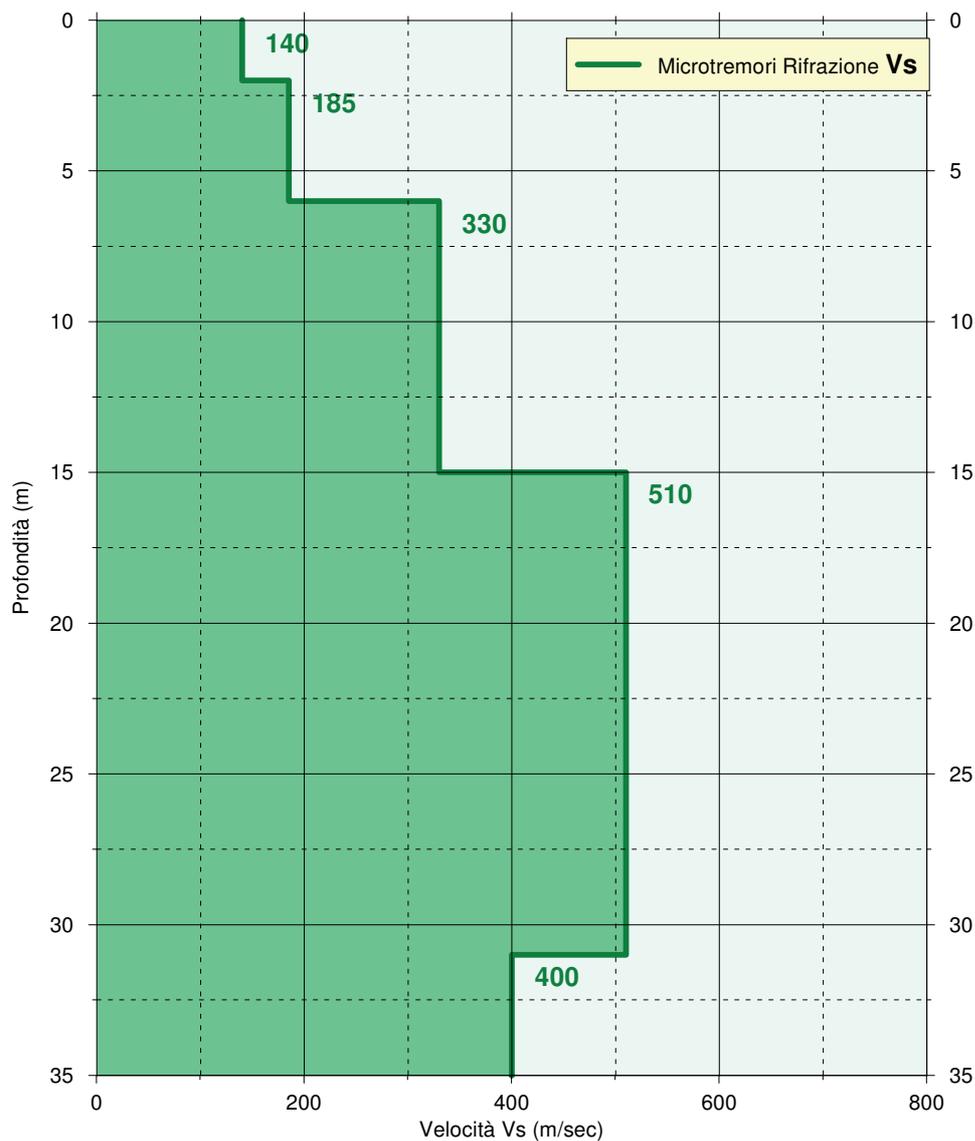
**$V_sH (0-30 m) = 306 m/s$**

**Suolo di fondazione tipo "C"**

Spettro velocità di fase - curva dispersione effettiva



PROFILO VELOCITÀ Vs



**$V_sH (0-30 m) = 324 m/s$**

**Suolo di fondazione tipo "C"**

**Dott. Roberto Mariotti** – *Geologo Specialista*  
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)  
e-mail: [drmariotti.roberto@libero.it](mailto:drmariotti.roberto@libero.it)

tel/fax: 0372-23266  
cell: 335-6958159  
pec: [mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it](mailto:mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it)

---

# **ALLEGATO 3**

## **RISULTATI GRAFICI E TABULATI INDAGINI SISMICHE HVSR**

## CHIEVE, CHIEVE 0001

Strumento: TEP-0122/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 23/04/00 20:51:05 Fine registrazione: 23/04/00 21:11:05

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

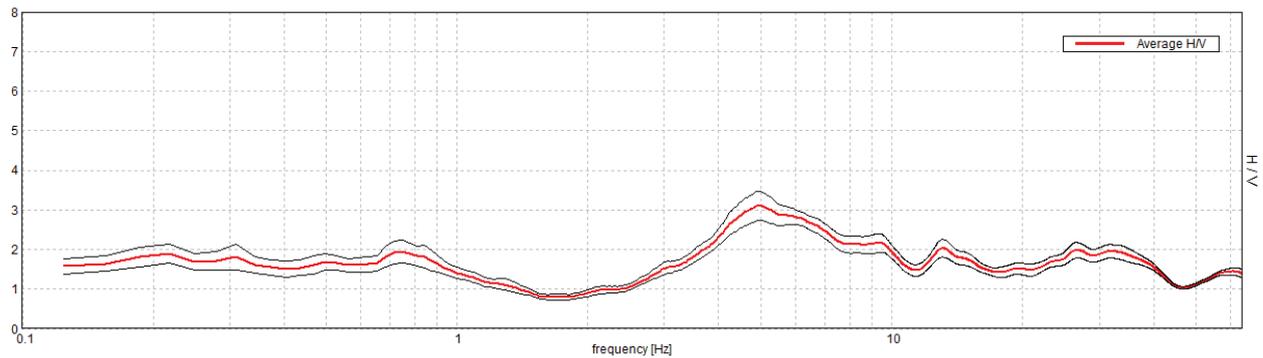
Lunghezza finestre: 18 s

Tipo di lisciamento: Triangularwindow

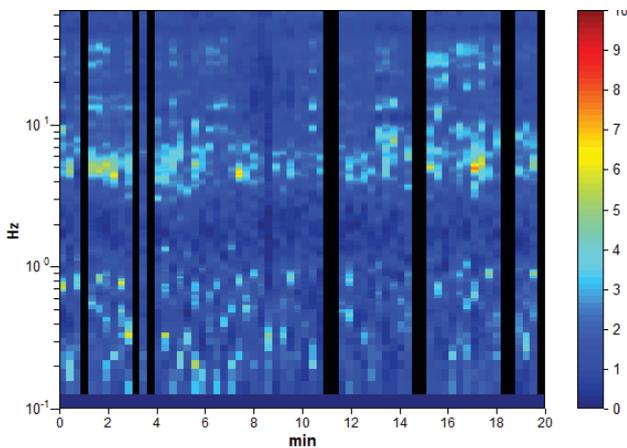
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

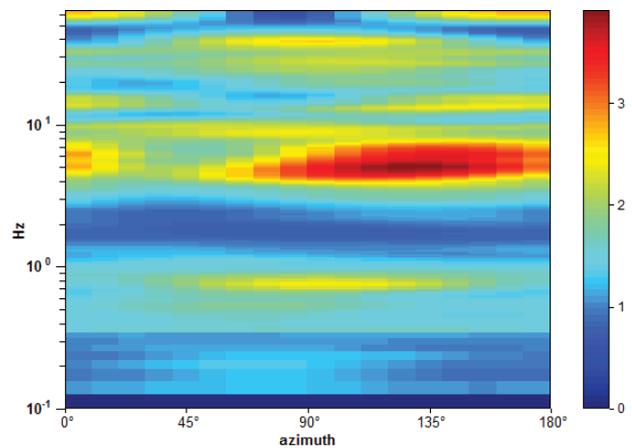
Max. H/V at 5.0 ± 0.82 Hz. (In the range 0.5 - 15.0 Hz).



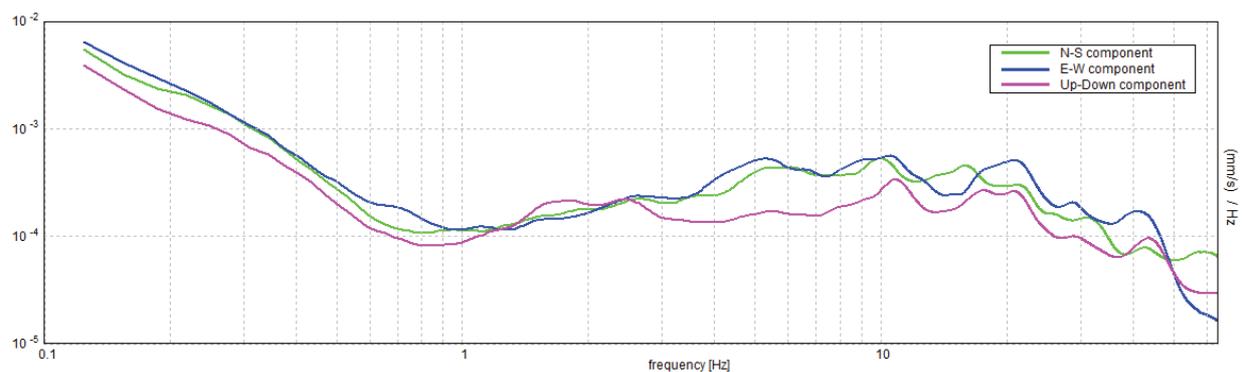
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $5.0 \pm 0.82$  Hz (nell'intervallo 0.5 - 15.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                         |    |  |
|--|-------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | $5.00 > 0.56$           | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | $5040.0 > 200$          | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz | Superato 0 volte su 241 | OK |  |

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                    |    |    |
|--|--------------------|----|----|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    | 3.094 Hz           | OK |    |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 10.875 Hz          | OK |    |
| $A_0 > 2$  | $3.10 > 2$         | OK |    |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.16406  < 0.05$ |    | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $0.82032 < 0.25$   |    | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.3641 < 1.58$    | 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   |
| $\sigma_f$             | 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  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

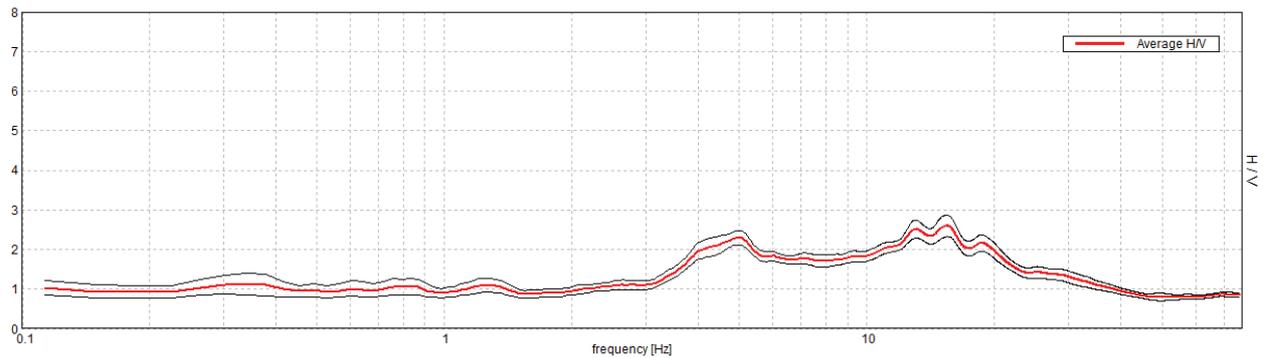
| Intervallo di freq. [Hz]                        | < 0.2      | 0.2 - 0.5 | 0.5 - 1.0  | 1.0 - 2.0  | > 2.0      |
|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz]                         | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ 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       |

## CHIEVE, CHIEVE 0002

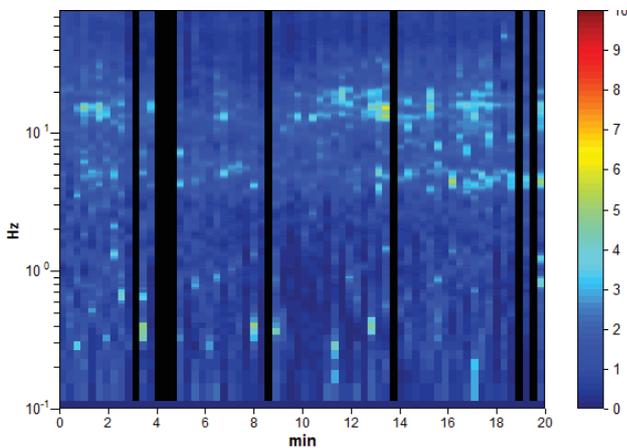
Strumento: EXT-  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 18/12/18 11:24:00 Fine registrazione: 18/12/18 11:44:00  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 155 Hz  
 Lunghezza finestre: 18 s  
 Tipo di lisciamento: Triangularwindow  
 Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

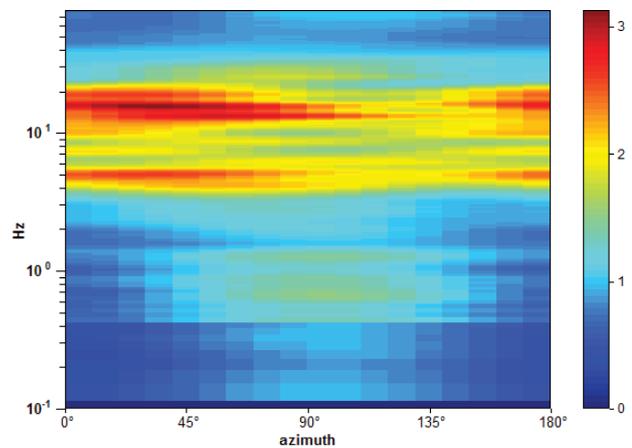
Max. H/V at 14.95 ± 1.92 Hz. (In the range 0.5 - 15.0 Hz).



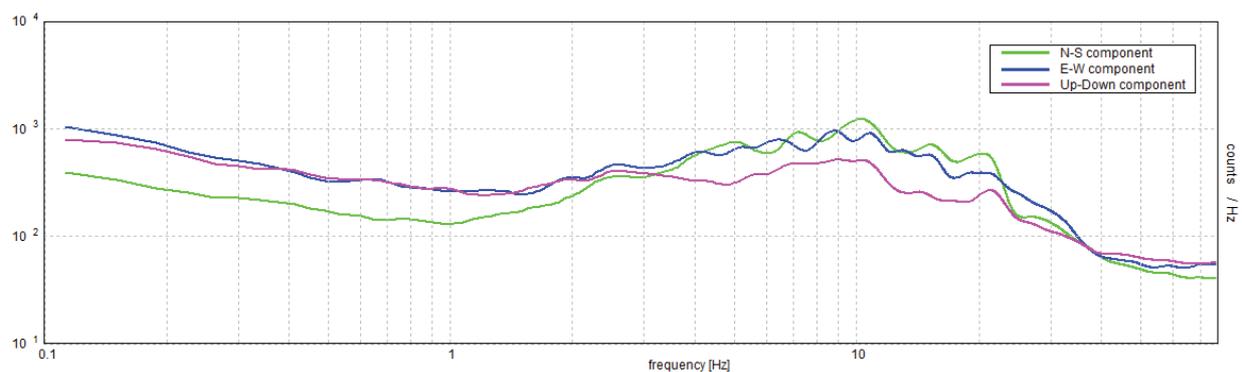
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $14.95 \pm 1.92$  Hz (nell'intervallo 0.5 - 15.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                         |    |  |
|--|-------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | $14.95 > 0.56$          | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | $15605.2 > 200$         | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz | Superato 0 volte su 594 | OK |  |

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                     |    |    |
|--|---------------------|----|----|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    |                     |    | NO |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 30.955 Hz           | OK |    |
| $A_0 > 2$  | $2.52 > 2$          | OK |    |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.12841  < 0.05$  |    | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $1.91938 < 0.74738$ |    | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.2687 < 1.58$     | 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   |
| $\sigma_f$             | 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   |

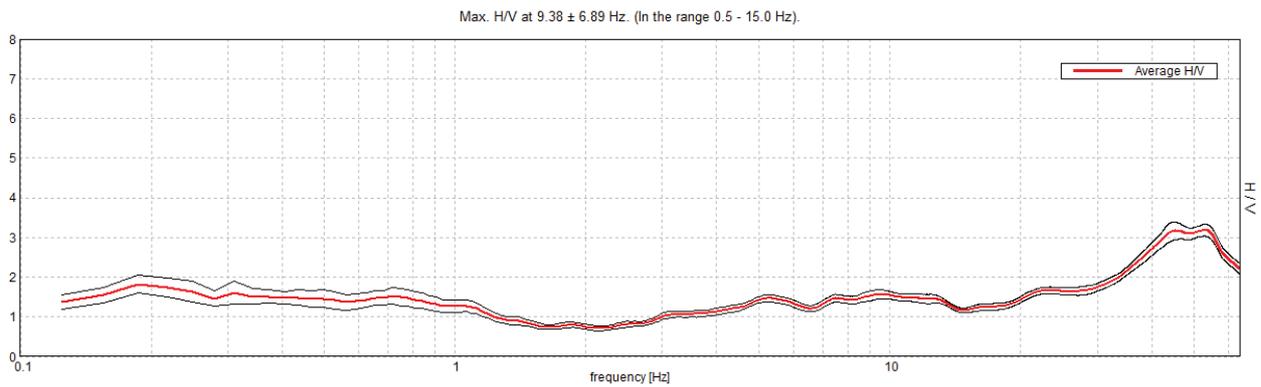
Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

|   |            |           |            |            |            |
|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| 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       |

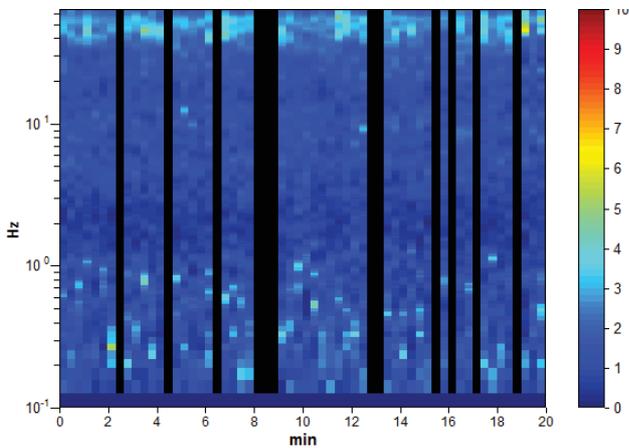
## CHIEVE, CHIEVE 0003

Strumento: TEP-0122/01-10  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 23/04/00 21:45:07 Fine registrazione: 23/04/00 22:05:07  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangularwindow  
 Lisciamento: 10%

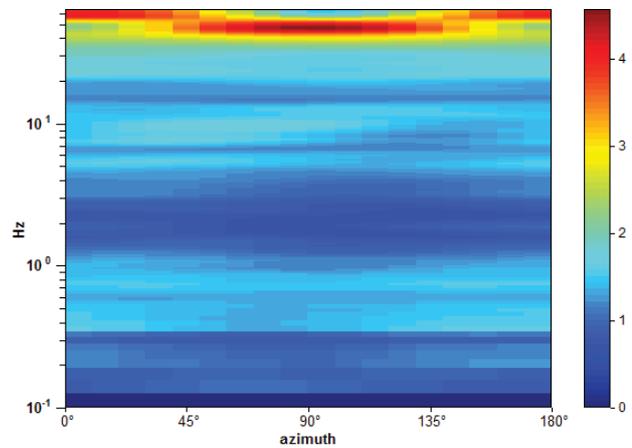
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



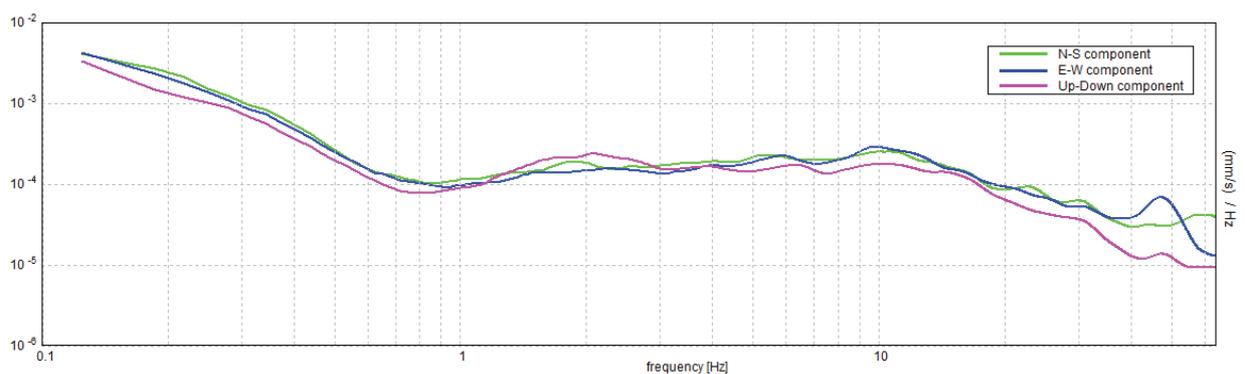
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $9.38 \pm 6.89$  Hz (nell'intervallo 0.5 - 15.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                         |    |  |
|--|-------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | $9.38 > 0.50$           | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | $9000.0 > 200$          | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz | Superato 0 volte su 451 | OK |  |

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                     |    |    |
|--|---------------------|----|----|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    | 2.375 Hz            | OK |    |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     |                     |    | NO |
| $A_0 > 2$  | $1.56 > 2$          |    | NO |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.73507  < 0.05$  |    | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $6.89129 < 0.46875$ |    | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.1201 < 1.58$     | 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   |
| $\sigma_f$             | 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   |

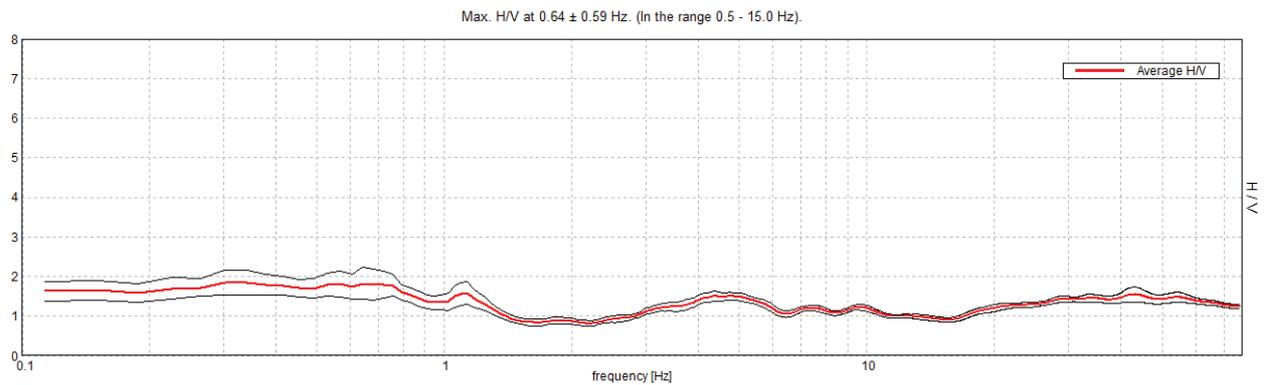
Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

| 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       |

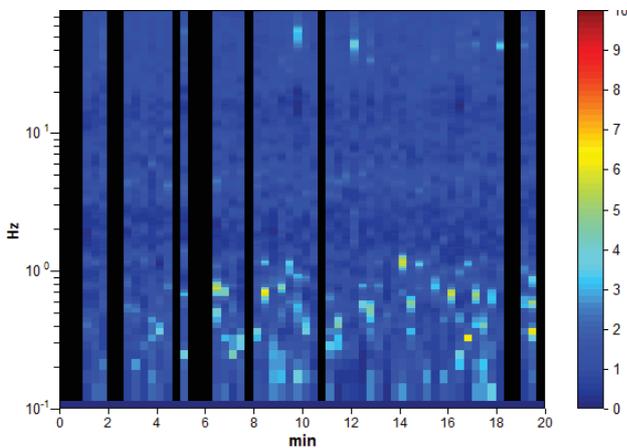
## CHIEVE, CHIEVE 0004

Strumento: EXT-  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 18/12/18 12:16:00 Fine registrazione: 18/12/18 12:36:00  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 77% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 155 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangularwindow  
 Lisciamento: 10%

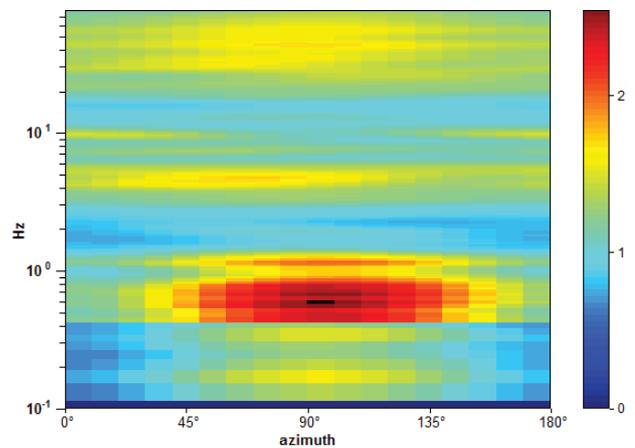
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



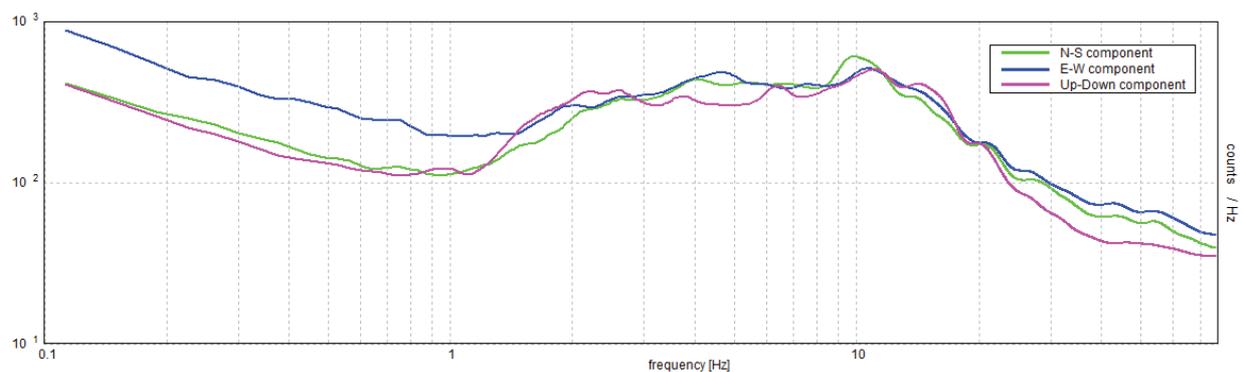
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $0.64 \pm 0.59$  Hz (nell'intervallo 0.5 - 15.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                        |    |  |
|--|------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | $0.64 > 0.50$          | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | $591.8 > 200$          | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz | Superato 0 volte su 26 | OK |  |

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                    |    |    |
|--|--------------------|----|----|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    |                    |    | NO |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 1.476 Hz           | OK |    |
| $A_0 > 2$  | $1.83 > 2$         |    | NO |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.90997  < 0.05$ |    | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $0.58539 < 0.0965$ |    | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.4028 < 2.0$     | 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   |
| $\sigma_f$             | 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   |

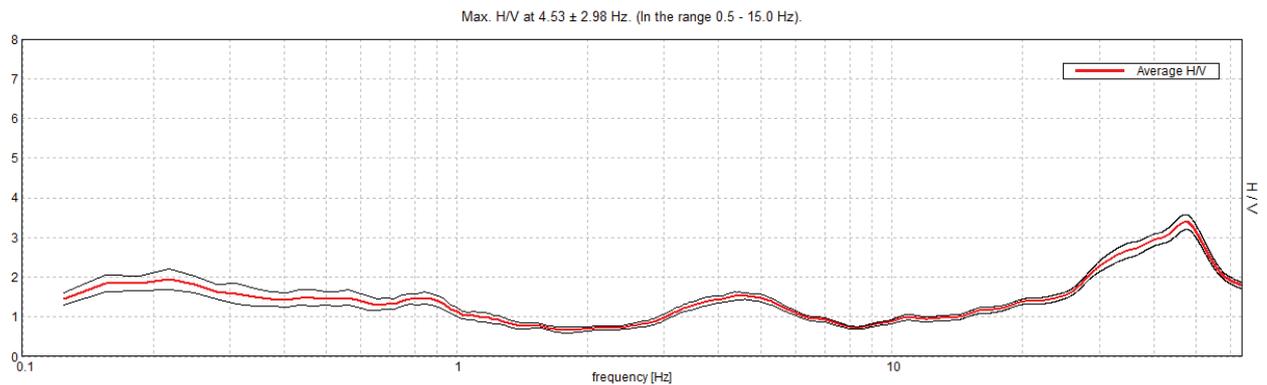
Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

| 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       |

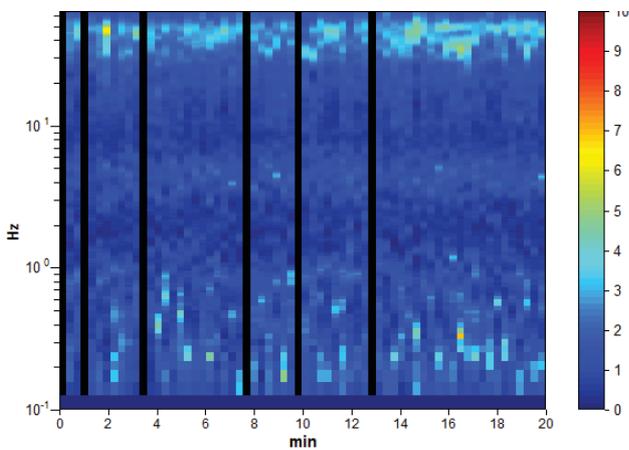
## CHIEVE, CHIEVE 0005

Strumento: TEP-0122/01-10  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 23/04/00 22:29:53 Fine registrazione: 23/04/00 22:49:53  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 91% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 18 s  
 Tipo di lisciamento: Triangularwindow  
 Lisciamento: 10%

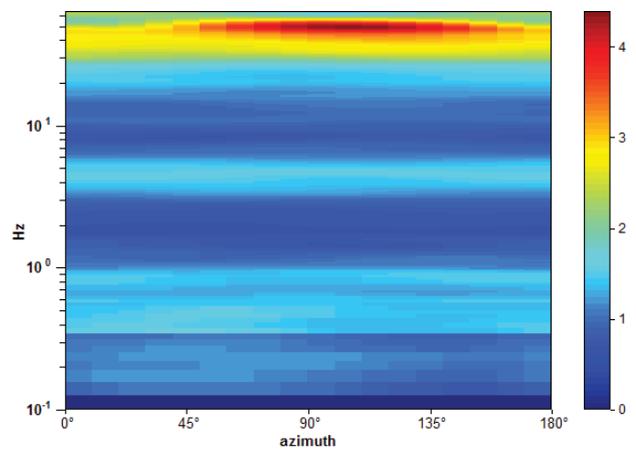
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



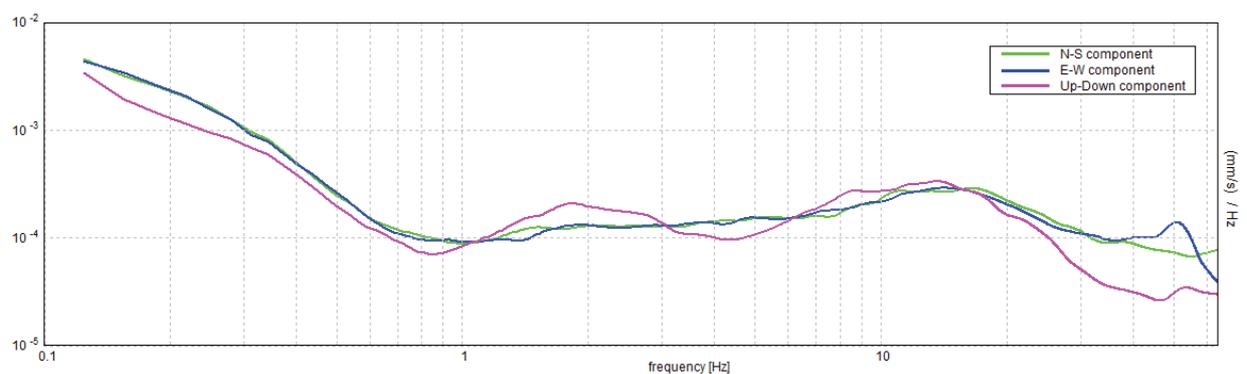
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $4.53 \pm 2.98$  Hz (nell'intervallo 0.5 - 15.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                         |    |  |
|--|-------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | $4.53 > 0.56$           | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | $4893.8 > 200$          | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz | Superato 0 volte su 218 | OK |  |

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                     |    |    |
|--|---------------------|----|----|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    | 2.5 Hz              | OK |    |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 7.844 Hz            | OK |    |
| $A_0 > 2$  | $1.53 > 2$          |    | NO |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.65675  < 0.05$  |    | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $2.97589 < 0.22656$ |    | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.0921 < 1.58$     | 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   |
| $\sigma_f$             | 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   |

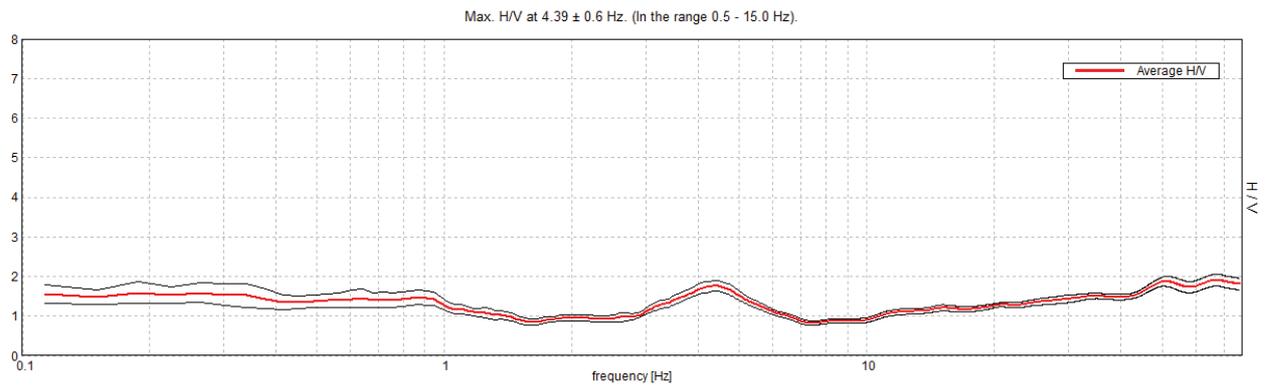
Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

| 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       |

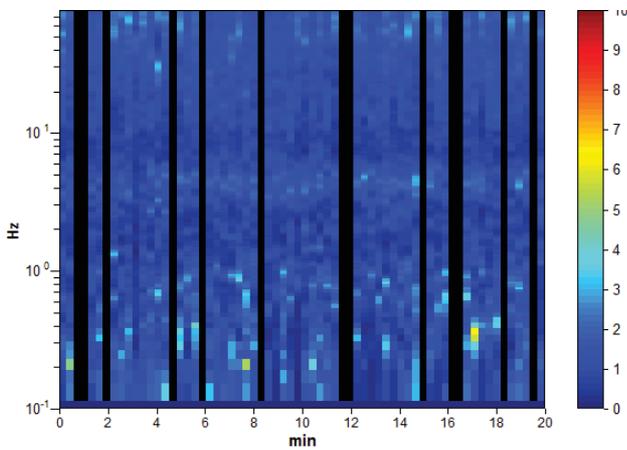
## CHIEVE, CHIEVE 0006

Strumento: EXT-  
Formato dati: 16 byte  
Fondo scala [mV]: n.a.  
Inizio registrazione: 18/12/18 13:00:00 Fine registrazione: 18/12/18 13:20:00  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 155 Hz  
Lunghezza finestre: 18 s  
Tipo di lisciamento: Triangularwindow  
Lisciamento: 10%

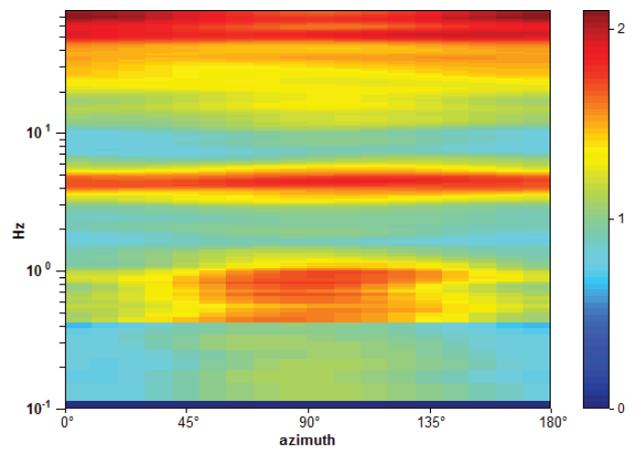
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



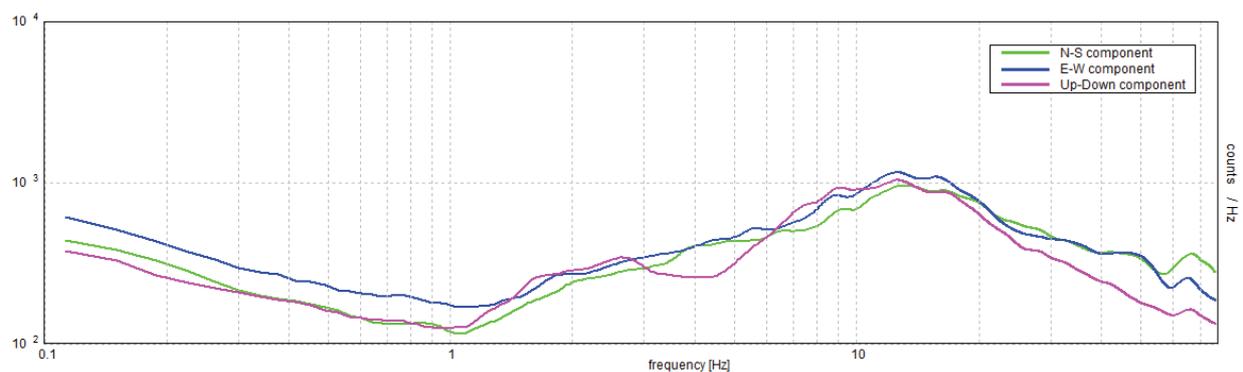
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $4.39 \pm 0.6$  Hz (nell'intervallo 0.5 - 15.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                         |    |  |
|--|-------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | $4.39 > 0.56$           | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | $4187.7 > 200$          | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Superato 0 volte su 175 | OK |  |

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                     |    |    |
|--|---------------------|----|----|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    | 1.703 Hz            | OK |    |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 6.963 Hz            | OK |    |
| $A_0 > 2$  | $1.76 > 2$          |    | NO |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.13652  < 0.05$  |    | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $0.59926 < 0.21948$ |    | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.1374 < 1.58$     | 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   |
| $\sigma_f$             | 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  $\sigma_f$  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       |

## CHIEVE, CHIEVE 0007

Strumento: TEP-0122/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 23/04/00 23:22:53 Fine registrazione: 23/04/00 23:42:53

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

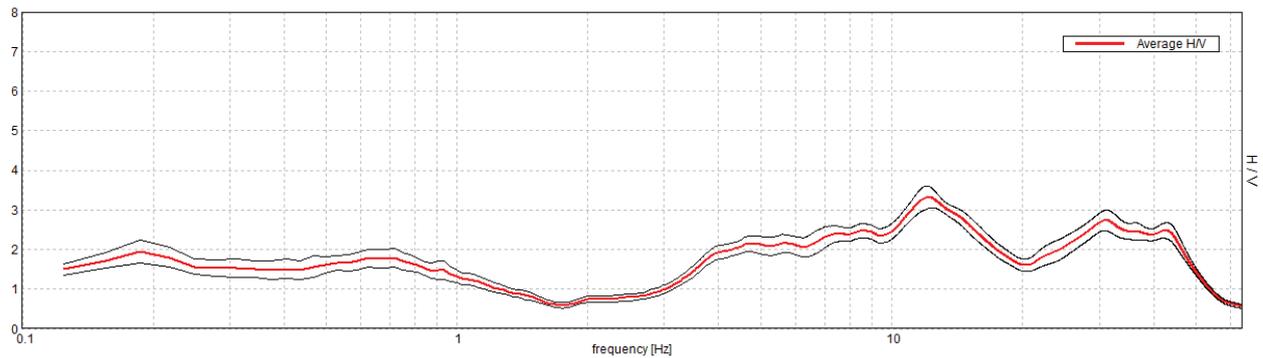
Lunghezza finestre: 18 s

Tipo di lisciamento: Triangularwindow

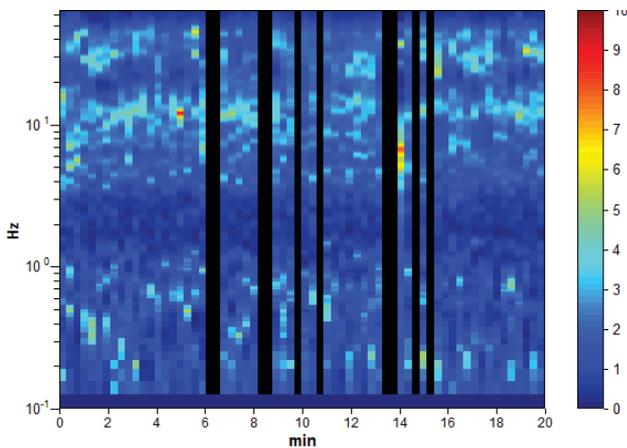
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

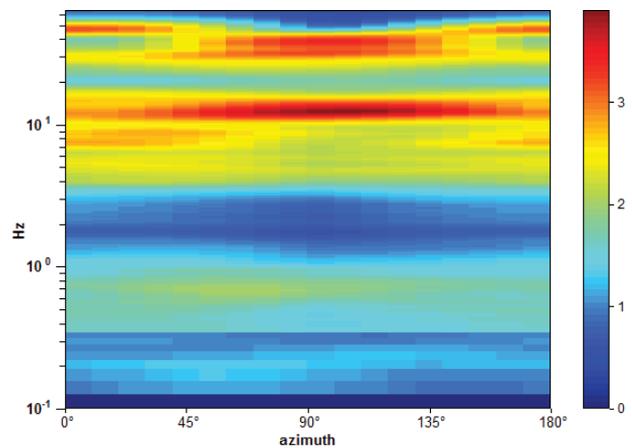
Max. H/V at 12.19 ± 1.92 Hz. (In the range 0.5 - 15.0 Hz).



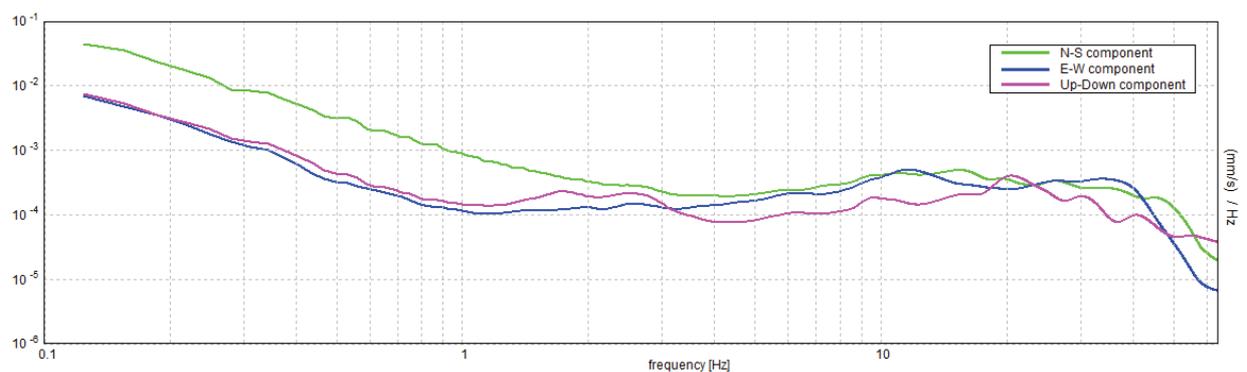
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $12.19 \pm 1.92$  Hz (nell'intervallo 0.5 - 15.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                         |    |  |
|--|-------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | $12.19 > 0.56$          | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | $12285.0 > 200$         | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz | Superato 0 volte su 586 | OK |  |

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                     |    |    |
|--|---------------------|----|----|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    | 3.656 Hz            | OK |    |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 19.406 Hz           | OK |    |
| $A_0 > 2$  | $3.32 > 2$          | OK |    |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.15782  < 0.05$  |    | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $1.92343 < 0.60938$ |    | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.2756 < 1.58$     | 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   |
| $\sigma_f$             | 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  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

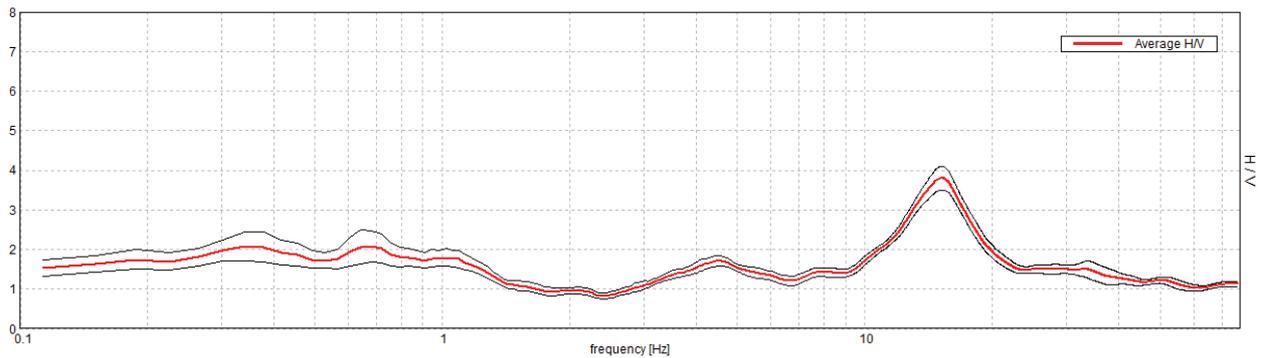
| Intervallo di freq. [Hz]                        | < 0.2      | 0.2 - 0.5 | 0.5 - 1.0  | 1.0 - 2.0  | > 2.0      |
|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz]                         | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ 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       |

## CHIEVE, CHIEVE 0008

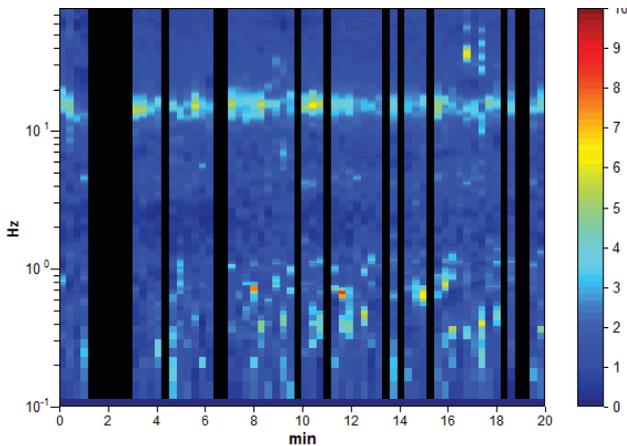
Strumento: EXT-  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 18/12/18 13:49:00 Fine registrazione: 18/12/18 14:09:00  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 74% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 155 Hz  
 Lunghezza finestre: 18 s  
 Tipo di lisciamento: Triangularwindow  
 Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

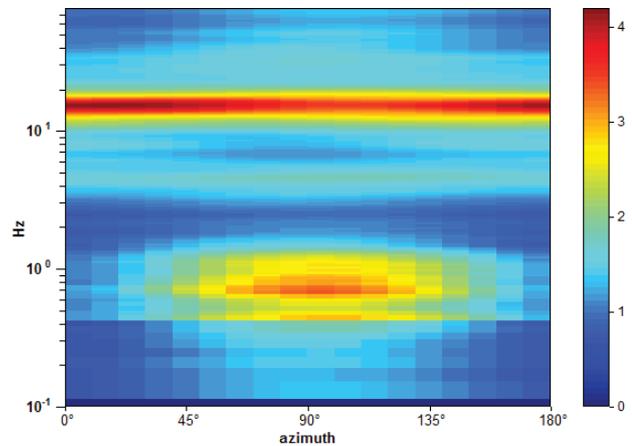
Max. H/V at 14.95 ± 0.33 Hz. (In the range 0.5 - 15.0 Hz).



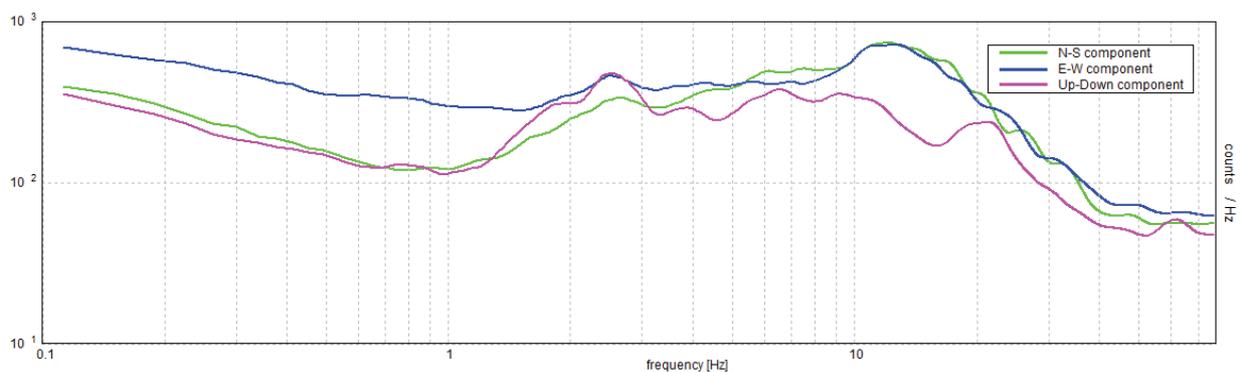
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $14.95 \pm 0.33$  Hz (nell'intervallo 0.5 - 15.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                         |    |  |
|--|-------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | $14.95 > 0.56$          | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | $13183.7 > 200$         | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz | Superato 0 volte su 594 | OK |  |

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                     |    |  |
|--|---------------------|----|--|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    | 10.444 Hz           | OK |  |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 20.321 Hz           | OK |  |
| $A_0 > 2$  | $3.78 > 2$          | OK |  |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.02182  < 0.05$  | OK |  |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $0.32611 < 0.74738$ | OK |  |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.2958 < 1.58$     | 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   |
| $\sigma_f$             | 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  $\sigma_f$  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       |

**Dott. Roberto Mariotti** – *Geologo Specialista*  
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)  
e-mail: [drmariotti.roberto@libero.it](mailto:drmariotti.roberto@libero.it)

tel/fax: 0372-23266  
cell: 335-6958159  
pec: [mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it](mailto:mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it)

---

# ALLEGATO 4

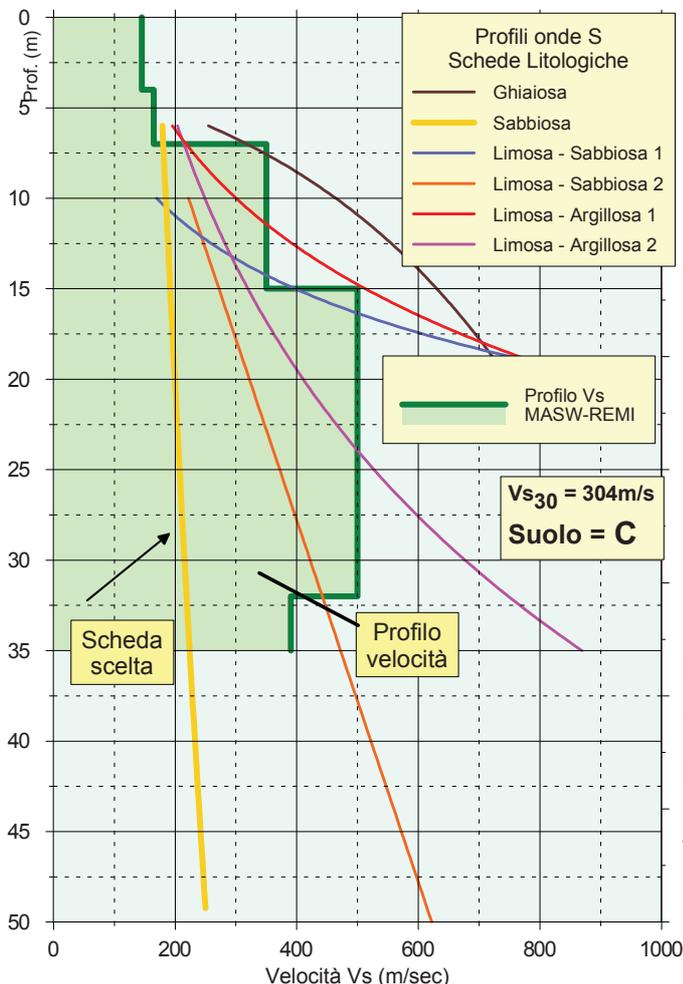
## APPROFONDIMENTO SISMICO DI 2° LIVELLO

# CHIEVE (CR) - Campo sportivo

## Approfondimento sismico di 2° Livello

### SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

**CONFRONTO TRA VELOCITÀ Vs DEL SITO  
E PROFILI VELOCITÀ SCHEDE LITOLOGICHE**



**SCHEDA DI VALUTAZIONE PER LA SCELTA  
DELLA CURVA DI AMPLIFICAZIONE**  
(In funzione della profondità e velocità Vs dello strato superficiale)

| Velocità primo strato (m/s) | Profondità primo strato (m) |     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----------------------------|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                             | 1-3                         | 4   | 5-12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 90 | 110 | 130 | 140 | 160 | 180 |
| 200                         | 3                           | 2   | 1-2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA | NA |    |    |    |     |     |     |     |     |
| 250                         | 2                           | 1-2 | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | NA | NA | NA |    |    |    |     |     |     |     |     |
| 300                         | 2                           | 1-2 | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | NA | NA | NA |    |    |     |     |     |     |     |
| 350                         | 2                           | 2   | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA | NA |     |     |     |     |     |
| 400                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA | NA | NA  |     |     |     |     |
| 450                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA | NA  | NA  |     |     |     |
| 500                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA  | NA  | NA  |     |     |
| 600                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA  | NA  | NA  | NA  |     |
| 700                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  |

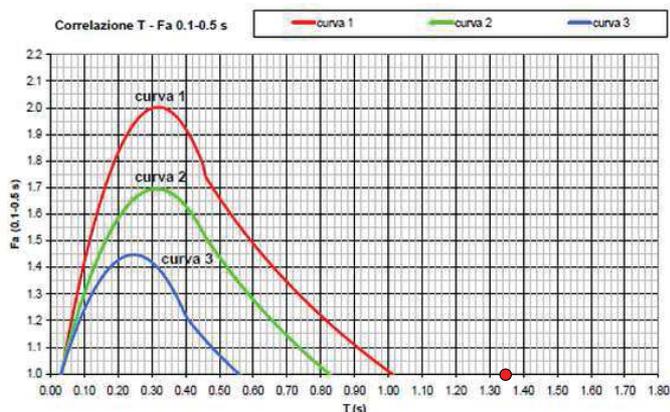
**Correlazione T- Fa periodo 0.1-0.5 s**

| Curva | Tratto polinomiale                          | Tratto logaritmico                 | Tratto rettilineo     |
|-------|---|------------------------------------|-----------------------|
| 1     | $0.03 \leq T \leq 0.50$                     | $0.50 < T \leq 1.00$               | $T > 1.00$            |
| 2     | $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 3     | $0.03 \leq T \leq 0.45$                     | $0.45 < T \leq 0.80$               | $T > 0.80$            |
|       | $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$  | $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
|       | $0.03 \leq T \leq 0.40$                     | $0.50 < T \leq 0.55$               | $T > 0.55$            |
|       | $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$  | $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |

**Correlazione T- Fa periodo 0.5-1.5 s**

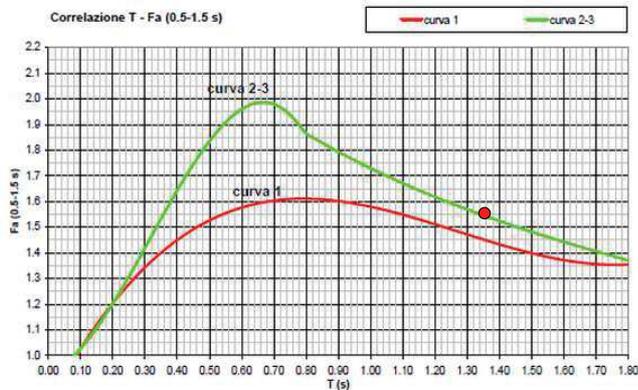
| Curva |   |
|-------|---|
| 1     | $0.08 \leq T \leq 1.80$                               |
|       | $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$  |
| 2     | $0.08 \leq T < 0.80$                                  |
| 3     | $0.80 \leq T \leq 1.80$                               |
|       | $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$ |
|       | $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$                    |

**Correlazione T- Fa periodo 0.1 - 0.5 s**



**F.A. Valore calcolato: 1.0 < Valore soglia: 1.8**

**Correlazione T- Fa periodo 0.5 - 1.5 s**



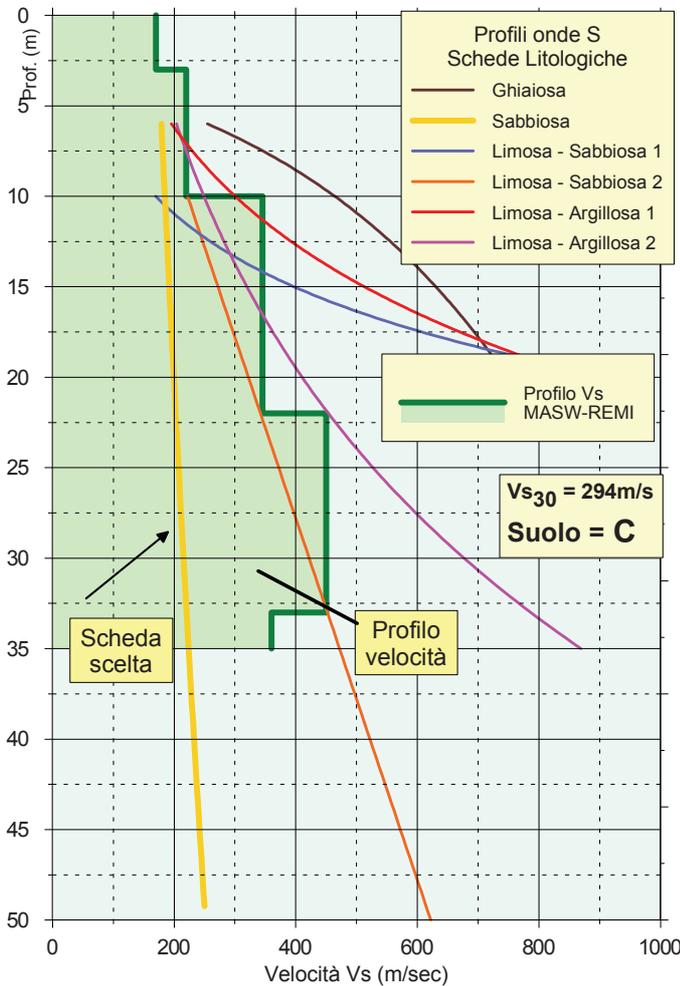
**F.A. Valore calcolato: 1.6 < Valore soglia: 2.4**

# CHIEVE (CR) - Cimitero

## Approfondimento sismico di 2° Livello

### SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

**CONFRONTO TRA VELOCITÀ Vs DEL SITO  
E PROFILI VELOCITÀ SCHEDE LITOLOGICHE**



**SCHEDA DI VALUTAZIONE PER LA SCELTA  
DELLA CURVA DI AMPLIFICAZIONE**  
(In funzione della profondità e velocità Vs dello strato superficiale)

| Profondità primo strato (m) | Profondità primo strato (m) |     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----------------------------|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                             | 1-3                         | 4   | 5-12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 90 | 110 | 130 | 140 | 160 | 180 |
| 200                         | 3                           | 2   | 1-2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA | NA |    |    |    |     |     |     |     |     |
| 250                         | 2                           | 1-2 | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | NA | NA | NA |    |    |    |     |     |     |     |     |
| 300                         | 2                           | 1-2 | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | NA | NA | NA |    |    |     |     |     |     |     |
| 350                         | 2                           | 2   | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA |    |     |     |     |     |     |
| 400                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA | NA |     |     |     |     |     |
| 450                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA | NA  | NA  |     |     |     |
| 500                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA  | NA  | NA  |     |     |
| 600                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA  | NA  | NA  | NA  |     |
| 700                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | NA | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  |

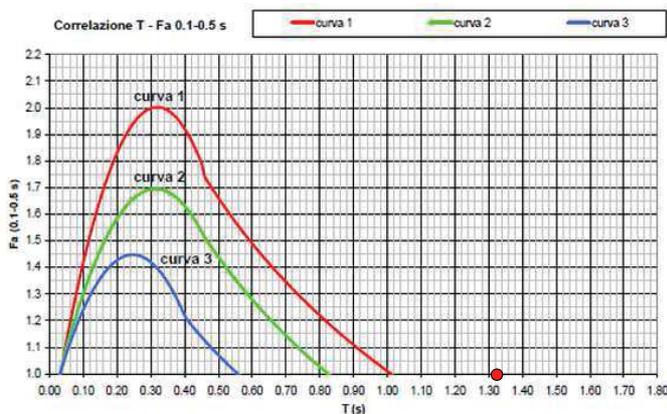
**Correlazione T- Fa periodo 0.1-0.5 s**

| Curva | Tratto polinomiale   | Tratto logaritmico   | Tratto rettilineo                   |
|-------|--|--|-------------------------------------|
| 1     | $0.03 \leq T \leq 0.50$<br>$Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$ | $0.50 < T \leq 1.00$<br>$Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$ | $T > 1.00$<br>$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 2     | $0.03 \leq T \leq 0.45$<br>$Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$  | $0.45 < T \leq 0.80$<br>$Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$ | $T > 0.80$<br>$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 3     | $0.03 \leq T \leq 0.40$<br>$Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$  | $0.50 < T \leq 0.55$<br>$Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$ | $T > 0.55$<br>$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |

**Correlazione T- Fa periodo 0.5-1.5 s**

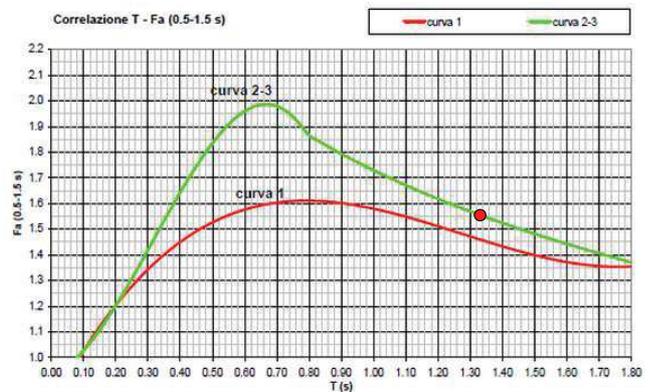
| Curva |   |
|-------|---|
| 1     | $0.08 \leq T \leq 1.80$<br>$Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$ |
| 2     | $0.08 \leq T < 0.80$<br>$Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$   |
| 3     | $0.80 \leq T \leq 1.80$<br>$Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$                   |

**Correlazione T- Fa periodo 0.1 - 0.5 s**



**F.A. Valore calcolato: 1.0 < Valore soglia: 1.8**

**Correlazione T- Fa periodo 0.5 - 1.5 s**



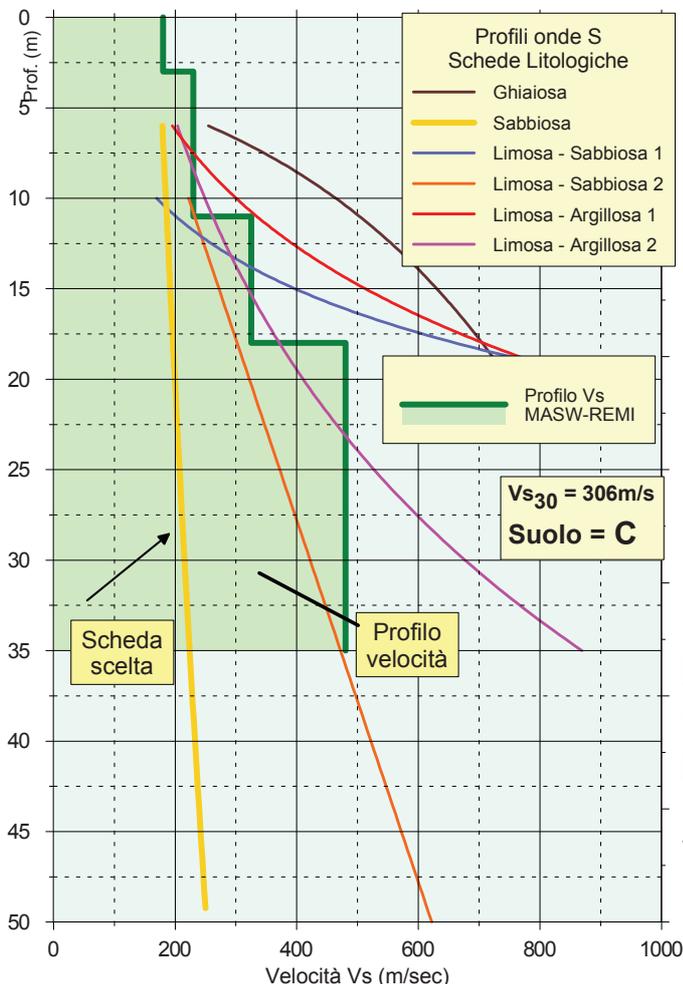
**F.A. Valore calcolato: 1.6 < Valore soglia: 2.4**

# CHIEVE (CR) - Parco giochi

## Approfondimento sismico di 2° Livello

### SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

**CONFRONTO TRA VELOCITÀ Vs DEL SITO  
E PROFILI VELOCITÀ SCHEDE LITOLOGICHE**



**SCHEDA DI VALUTAZIONE PER LA SCELTA  
DELLA CURVA DI AMPLIFICAZIONE**  
(In funzione della profondità e velocità Vs dello strato superficiale)

| Profondità primo strato (m) | Profondità primo strato (m) |     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----------------------------|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                             | 1-3                         | 4   | 5-12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 90 | 110 | 130 | 140 | 160 | 180 |
| 200                         | 3                           | 2   | 1-2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 250                         | 2                           | 1-2 | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | NA | NA | NA | NA | NA | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  |
| 300                         | 2                           | 1-2 | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 350                         | 2                           | 2   | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 400                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 450                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 500                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 600                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 700                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |

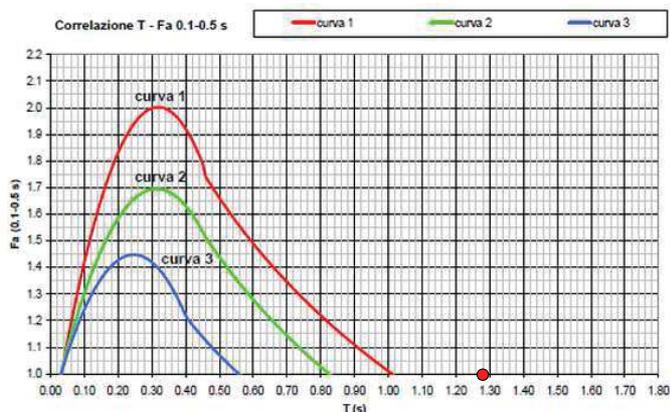
**Correlazione T- Fa periodo 0.1-0.5 s**

| Curva | Tratto polinomiale                          | Tratto logaritmico                 | Tratto rettilineo     |
|-------|---|------------------------------------|-----------------------|
| 1     | $0.03 \leq T \leq 0.50$                     | $0.50 < T \leq 1.00$               | $T > 1.00$            |
| 2     | $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 3     | $0.03 \leq T \leq 0.45$                     | $0.45 < T \leq 0.80$               | $T > 0.80$            |
|       | $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$  | $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
|       | $0.03 \leq T \leq 0.40$                     | $0.50 < T \leq 0.55$               | $T > 0.55$            |
|       | $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$  | $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |

**Correlazione T- Fa periodo 0.5-1.5 s**

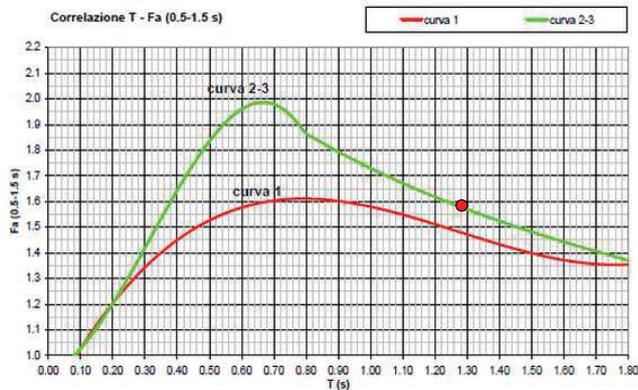
| Curva |   |
|-------|---|
| 1     | $0.08 \leq T \leq 1.80$                               |
|       | $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$  |
| 2     | $0.08 \leq T < 0.80$                                  |
| 3     | $0.80 \leq T \leq 1.80$                               |
|       | $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$ |
|       | $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$                    |

**Correlazione T- Fa periodo 0.1 - 0.5 s**



**F.A. Valore calcolato: 1.0 < Valore soglia: 1.8**

**Correlazione T- Fa periodo 0.5 - 1.5 s**



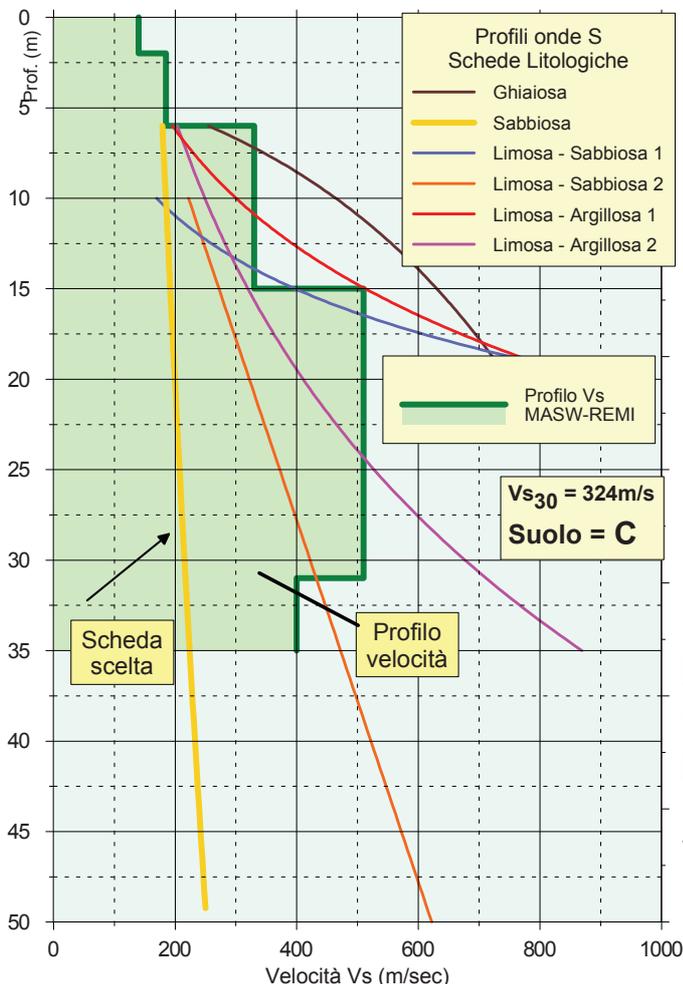
**F.A. Valore calcolato: 1.6 < Valore soglia: 2.4**

# CHIEVE (CR) - Via Lago Gerundo

## Approfondimento sismico di 2° Livello

### SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

**CONFRONTO TRA VELOCITÀ Vs DEL SITO  
E PROFILI VELOCITÀ SCHEDE LITOLOGICHE**



**SCHEDA DI VALUTAZIONE PER LA SCELTA  
DELLA CURVA DI AMPLIFICAZIONE**  
(In funzione della profondità e velocità Vs dello strato superficiale)

| Profondità primo strato (m) | Profondità primo strato (m) |     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----------------------------|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                             | 1-3                         | 4   | 5-12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 90 | 110 | 130 | 140 | 160 | 180 |
| 200                         | 3                           | 2   | 1-2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 250                         | 2                           | 1-2 | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | NA | NA | NA | NA | NA | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  |
| 300                         | 2                           | 1-2 | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 350                         | 2                           | 2   | 2    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 400                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 450                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 500                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 600                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 700                         | 3                           | 3   | 3    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |

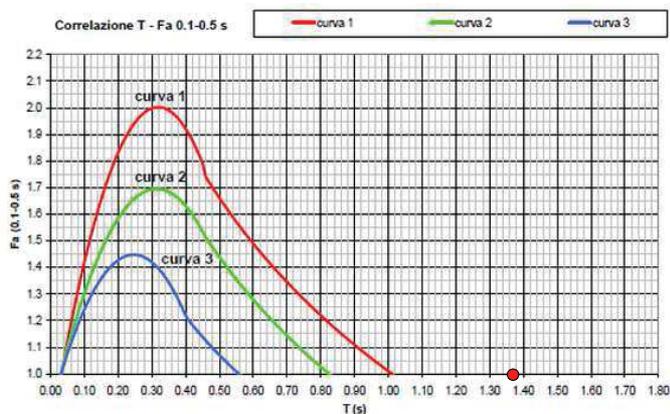
**Correlazione T- Fa periodo 0.1-0.5 s**

| Curva | Tratto polinomiale                          | Tratto logaritmico                 | Tratto rettilineo     |
|-------|---|------------------------------------|-----------------------|
| 1     | $0.03 \leq T \leq 0.50$                     | $0.50 < T \leq 1.00$               | $T > 1.00$            |
| 2     | $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 3     | $0.03 \leq T \leq 0.45$                     | $0.45 < T \leq 0.80$               | $T > 0.80$            |
|       | $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$  | $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
|       | $0.03 \leq T \leq 0.40$                     | $0.50 < T \leq 0.55$               | $T > 0.55$            |
|       | $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$  | $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |

**Correlazione T- Fa periodo 0.5-1.5 s**

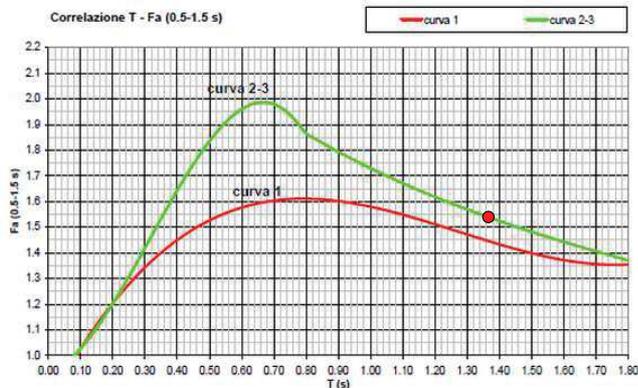
| Curva |   |
|-------|---|
| 1     | $0.08 \leq T \leq 1.80$                               |
|       | $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$  |
| 2     | $0.08 \leq T < 0.80$                                  |
| 3     | $0.80 \leq T \leq 1.80$                               |
|       | $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$ |
|       | $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$                    |

**Correlazione T- Fa periodo 0.1 - 0.5 s**



**F.A. Valore calcolato: 1.0 < Valore soglia: 1.8**

**Correlazione T- Fa periodo 0.5 - 1.5 s**



**F.A. Valore calcolato: 1.5 < Valore soglia: 2.4**

**Dott. Roberto Mariotti** – *Geologo Specialista*  
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)  
e-mail: [drmariotti.roberto@libero.it](mailto:drmariotti.roberto@libero.it)

tel/fax: 0372-23266  
cell: 335-6958159  
pec: [mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it](mailto:mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it)

---

# ALLEGATO 5

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



**Fig. 1 - Stendimento sismico per esecuzione della prova MASW-REMI MR1 (18/12/2018)**



**Fig. 2 - Esecuzione dell'indagine sismica con stazione singola HVSR - H2 (18/12/2018)**



**Fig. 3 - Stendimento sismico per esecuzione della prova MASW-REMI MR2 (18/12/2018)**



**Fig. 4 - Esecuzione dell'indagine sismica con stazione singola HVSR - H4 (18/12/2018)**



Fig. 5 - Stendimento sismico per esecuzione della prova MASW-REMI MR3 (18/12/2018)



Fig. 6 - Esecuzione dell'indagine sismica con stazione singola HVSR - H5 (18/12/2018)



**Fig. 7 - Stendimento sismico per esecuzione della prova MASW-REMI MR4 (18/12/2018)**



**Fig. 8 - Esecuzione dell'indagine sismica con stazione singola HVSR - H7 (18/12/2018)**