

Progetto

K773 Aseptic Manufacturing Facility

Parma (PR)

RELAZIONE SISMICA

Committente:

Jacobs Italia S.p.A.

I Geologi:

Dott. Carlo Caleffi

Dott. Francesco Cerutti

Collaboratore:

Dott.ssa Ing. Giulia Mainardi




EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY
www.engeo.it

Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma
Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181
Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN
Tel-Fax 0376 467967
email info@engeo.it - www.engeo.it

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica


I N D I C E

1. PREMESSE	3
1.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
1.2. PARAMETRI DI PROGETTO	4
2. INDAGINI DI SITO	5
2.1. PROVA MASW	6
2.2. PROVA DOWN-HOLE	8
2.3. PROVE DI LABORATORIO	11
2.4. PROVA HVSR	11
3. LITOSTRATIMETRIA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	15
4. SISMICITÀ	17
4.1. CARATTERISTICHE SISMOTETTONICHE	17
4.2. SISMICITÀ DEL TERRITORIO	24
4.3. CLASSIFICAZIONE SISMICA	26
4.4. MICROZONAZIONE SISMICA	29
4.5. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	31
4.6. COEFFICIENTI SISMICI DI PROGETTO	32
4.7. DISAGGREGAZIONE E MAGNITUDO	34
4.8. VULNERABILITÀ SISMICA DELL'OPERA	35
5. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	38
5.1. MODELLO GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO	38
5.1.1. Litologia	38
5.1.2. Determinazione della Vs e <i>bedrock</i> sismico	39
5.1.3. Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G ₀) in funzione della deformazione	41
5.1.4. Descrizione del modello	44
5.2. AZIONI SISMICHE IN INGRESSO	45
5.3. PROCEDURA DI ANALISI RSL	47
5.3.1. Metodo lineare equivalente	48
5.3.2. Soluzione alla singola iterazione mediante FEM	50
5.3.3. Procedimento iterativo	52
5.3.4. Interpretazione dei risultati	52
5.4. ANALISI DEI RISULTATI	53
5.4.1. Serie temporali	53
5.4.2. Spettri di risposta elastici in superficie	54
5.4.3. Spettri di risposta normalizzati	57
6. ANALISI DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE	61

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	1 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

6.1. ANALISI DEI RISULTATI	65
----------------------------------	----

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	2 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

1. PREMESSE

La presente relazione sismica, redatta per conto di Jacobs Italia S.p.A., è relativa al progetto *K773 Aseptic Manufacturing Facility – Parma (PR)* da realizzarsi in via San Leonardo a Parma.

Scopo dello studio e delle indagini utilizzate, è stato quello di definire le caratteristiche sismiche dei terreni al fine di fornire la base conoscitiva necessaria per la progettazione dell'intervento previsto.

Le analisi e i rilievi effettuati sono stati svolti nel rispetto delle prescrizioni di legge vigenti (cfr. paragrafo 1.1) e, in particolare, alle “Norme tecniche per le costruzioni”, di cui al Decreto ministeriale 17 gennaio 2018, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018.

In ottemperanza alla sopracitata normativa, il presente studio è stato articolato in una serie di valutazioni di carattere tematico effettuate nel corso di sopralluoghi di campagna e sulla base dell'analisi della documentazione biblio-cartografica esistente.

Per le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni si rimanda rispettivamente alla Relazione geologica ed alla Relazione geotecnica a corredo di questo studio.

Per verificare le caratteristiche sismiche dei terreni che saranno interessati dall'opera in progetto, ci si è basati sulle due campagne indagini effettuate in prossimità dell'area oggetto di studio. In particolare la campagna indagine del 2011, durante la quale era stata effettuata una MASW, e quella del 2018, che aveva previsto la realizzazione di una prova Down-Hole con due colonne risonanti ed inoltre n°4 rilievi sismici HVSR mediante tromografo digitale.

I dati delle indagini geognostiche di interesse per la relazione sismica sono riportati nei seguenti allegati:


- ✓ All. 1 – Prova MASW;
- ✓ All. 2 – Prova Down-Hole;
- ✓ All. 3– Analisi geotecniche di laboratorio;
- ✓ All. 4 – Prove HVSR.

I risultati della verifica a liquefazione sono riportati nell'elaborato:

- ✓ All. 5 – Verifica a liquefazione.

1.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- ✓ Decreto ministeriale 17-01-2018 – Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	3 di 66


PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

- ✓ Decreto ministeriale 14-01-2008 – Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- ✓ Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007;
- ✓ Eurocodice 7.1 (1997) – Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali – UNI;
- ✓ Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003);
- ✓ Eurocodice 7.2 (2002) – Progettazione geotecnica – Parte I: Progettazione assistita da prove di laboratorio – UNI;
- ✓ Eurocodice 7.3 (2002) – Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove in sito – UNI;
- ✓ O.P.C.M. n° 3274 (2003) - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- ✓ L.R. n. 19 del 30/10/2008 "Norme per la riduzione del rischio sismico".

1.2. PARAMETRI DI PROGETTO

Coerentemente con quanto disposto nelle NTC 2018 (Cap. 2.4), in accordo con il Progettista, sono stati definiti i seguenti parametri di progetto:

- ✓ VITA NOMINALE: "Opere con livelli di prestazioni ordinari $V_n \geq 75$ anni (come definito dalla Tab. 2.4.I delle N.T.C. 01/2018);
- ✓ CLASSE D'USO: *Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*
- ✓ PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA: Considerata la classe d'uso II, il coefficiente d'uso risulta $C_u=1,0$ (cfr. Tab. 2.4.II delle N.T.C. 01/2018), e di conseguenza la Vita di Riferimento del fabbricato è $V_R = V_N \cdot C_u = 75 \cdot 1,00 = 75$ anni.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	4 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

2. INDAGINI DI SITO

Come indicato nelle premesse, per verificare le caratteristiche sismiche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in esame, sono stati utilizzati i dati della campagna di indagini geognostiche effettuata da Subsoil S.r.l. nel 2018, integrati con quelli della prova MASW realizzata nel 2011 dal Geol. Michiara.


Nei paragrafi seguenti vengono illustrate le tecniche e i risultati ottenuti dalle prove di tipo sismico utilizzate.

Per le prove geognostiche come sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche statiche, si rimanda all'elaborato All.1 e All.2 a corredo della relazione geologica.

L'ubicazione delle indagini sismiche utilizzate è riportata in seguito.



FIGURA 1 – PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	5 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

Per i report della prova MASW si deve fare riferimento all'allegato All. 1; in All. 2 sono riportati i risultati della prova Down-Hole, mentre le analisi di laboratorio sono riportate in All. 3. In All. 4 sono consultabili i risultati delle prove HVSR.

2.1. PROVA MASW

Ai fini della caratterizzazione sismica dei suoli di fondazione interessati ed in ottemperanza alle indicazioni contenute nel testo unitario "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17-01-2018) è stata utilizzata un'indagine geofisica di tipo MASW i cui risultati sono riportati in All. 1, effettuata come accennato precedentemente durante la campagna indagini 2011.


La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (*Rayleigh*), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S nel sottosuolo, portando quindi a determinare anche il parametro $V_{S,30}$ (velocità media delle onde S nei primi 30 m).

In un mezzo stratificato le onde di superficie (*Rayleigh*) danno vita al fenomeno della dispersione, cioè lunghezze d'onda diverse si propagano con diverse velocità di fase e gruppo: le componenti ad alta frequenza (con piccola lunghezza d'onda) "sentono" solamente gli strati più superficiali del suolo, mentre le componenti a più bassa frequenza "sentono" anche gli strati più profondi consentendo quindi di determinarne le caratteristiche.

Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo, individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5 e i 60 Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione viene realizzata mediante uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati con distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di un punto di energizzazione effettuata tipicamente ad una distanza compresa fra 2 e 20 m dal primo geofono.

L'acquisizione delle onde di *Rayleigh* può essere fatta mediante geofoni verticali, oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento (in entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale – piastra – martello).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	6 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

L'analisi dei dati acquisiti mediante le prove MASW avviene attraverso le seguenti fasi:

1. calcolo dello spettro di velocità;
2. individuazione del modo fondamentale e degli eventuali superiori;
3. *picking* della curva di dispersione, cioè selezione dei punti che si ritengono appartenere a un determinato modo;
4. inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità V_s .

In Fig. 1 si riporta, a titolo esemplificativo lo spettro di velocità dell'indagine realizzata con sovrapposto il picking del modo fondamentale.

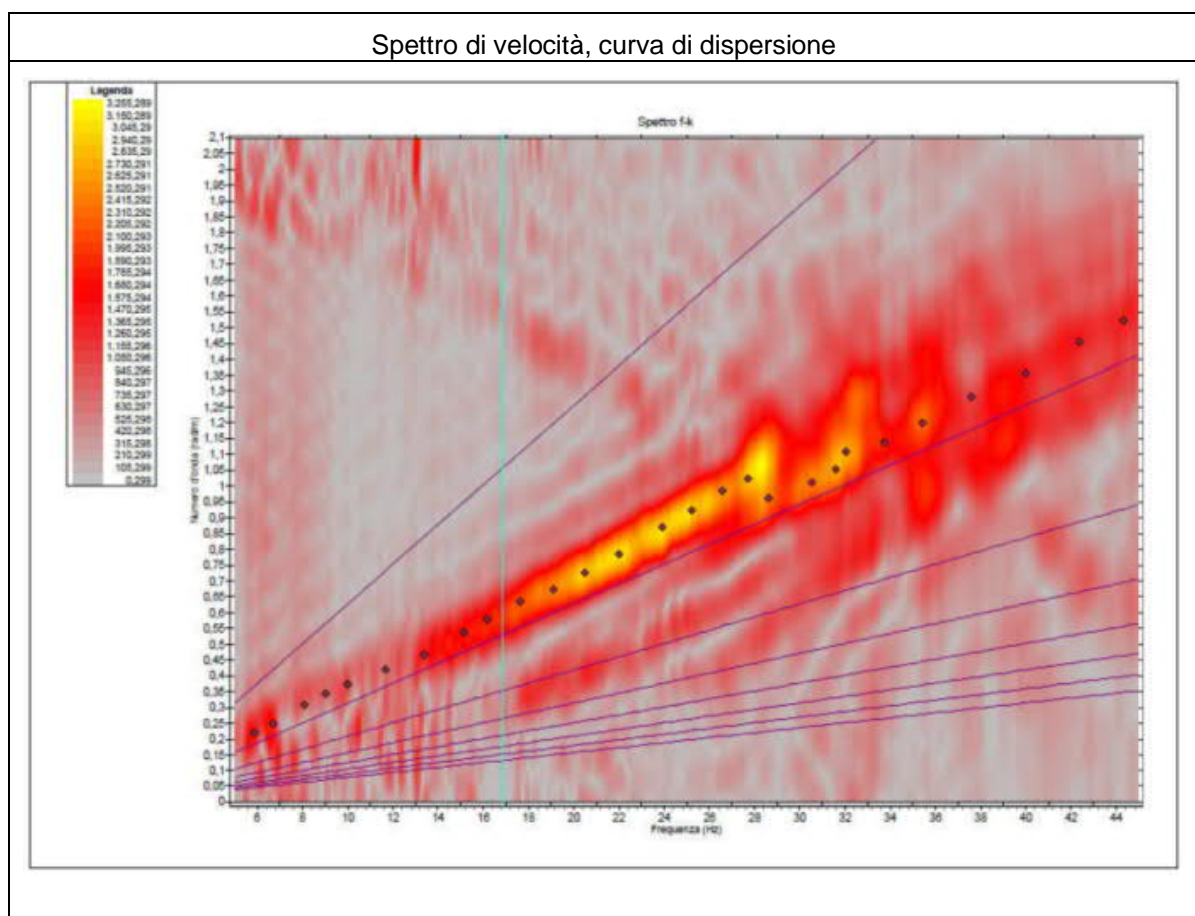



FIG. 1 – IMMAGINI RIASSUNTIVE DELL'ELABORAZIONE DELL'INDAGINE MASW

Dalla prova MASW si ottiene il profilo della velocità media delle onde di taglio V_s per i diversi sismostrati presenti. Nel sito in esame la presenza del *bedrock sismico* (strato caratterizzato da valori di V_s superiori a

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	7 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

800 m/s) non è stata identificata nei primi 30 m; pertanto, la velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m, definita come:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove h_i e V_i sono rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde all'interno dello strato i -esimo, N il numero degli strati e H coincide con 30 m, risulta pari a 224 m/s.

2.2. PROVA DOWN-HOLE

Per verificare le caratteristiche sismiche dei terreni che saranno interessati dall'intervento si è ricorsi anche all'indagine Down-Hole del 2018. A tale scopo il sondaggio S1 della campagna indagini 2018 (la cui ubicazione è riportata in Figura 1 e la stratigrafia è consultabile in All. 2), al termine della perforazione, è stato attrezzato con un tubo in PVC del diametro di 3 pollici. Tale tubo è stato reso solidale con il terreno mediante cementazione con boiacca di cemento iniettato mediante pompa a bassa pressione.

Una volta che il cemento ha fatto presa, si è proceduto all'esecuzione della prova sismica del tipo Down-Hole.

La prova Down-Hole è stata eseguita con cadenza delle misure pari ad un metro, dal p.c. fino a fondo foro, ad una profondità di 40 metri, utilizzando un sismografo collegato ad un geofono da foro tridimensionale con almeno una terna di geofoni orientati secondo gli assi $x - y - z$.


Gli impulsi sismici sono stati originati con procedure specifiche in modo da generare, oltre alle onde di compressione (Onde P), anche onde a componente di taglio orizzontale (onde SH), essendo queste utilizzabili per la determinazione del Modulo dinamico G_0 e del Modulo di Young E .

Le prove sismiche Down-Hole, sono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette, che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità, energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo).

Nel primo caso sono generate prevalentemente onde di compressione (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z).

Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).

Il sistema di ricezione, costituito da un geofono tridimensionale da foro ad ancoraggio elettromeccanico, viene calato nel foro, sino alla profondità massima di investigazione e progressivamente sollevato dell'interdistanza propria di ciascuna indagine (nel caso in esame 1 m).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	8 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungono il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato. Questo passaggio purtroppo costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali, in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale o di taglio. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda di compressione e l'energia dell'onda trasversale (di taglio) a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto.

L'analisi interpretativa dei dati, prevede un sismogramma per le forme d'onda relative al geofono verticale (asse z) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (assi x e y).

L'interpretazione dei dati così acquisiti consente di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde sia di pressione che di taglio in funzione della profondità.

In Figura 2 viene riportato il grafico, in funzione della profondità, della velocità delle sole onde S derivate dall'elaborazione della prova, necessarie per determinare la categoria sismica del sottosuolo.


La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio, sotto il piano di posa della fondazione e fino al substrato, ($V_{s,eq}$), è definita come:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e V_i sono lo spessore e la velocità delle onde delle strati i-esimo fondazione, N il numero degli strati e H la profondità del substrato.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

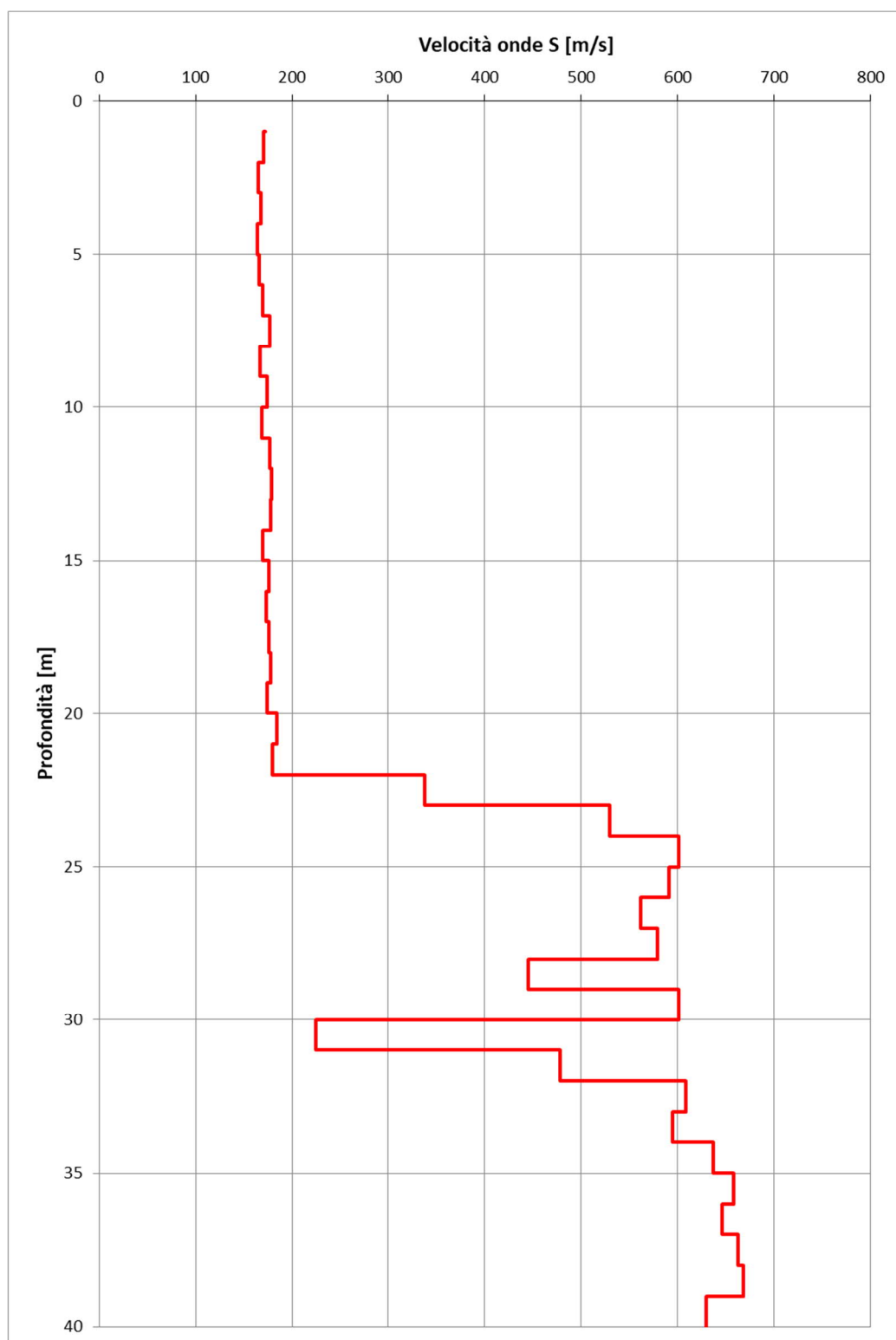
Nel caso in esame, visto che il substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) non è stato raggiunto, considerando cautelativamente i 30 m partendo da piano campagna, si è determinata una $V_{s,eq}$ pari a **215 m/s**, del tutto concorde con i risultati della prova MASW riportati nel capitolo precedente, a cui consegue che il terreno è classificabile in **categoria C**: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti".


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	9 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

**FIGURA 2 – GRAFICO Vs**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	10 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

2.3. PROVE DI LABORATORIO

Ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni, sui due campioni prelevati durante l'esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo, dove è stata effettuata la prova Down-Hole, sono state eseguite n° 2 prove in colonna risonante per la determinazione dei parametri G/G_0 e D .

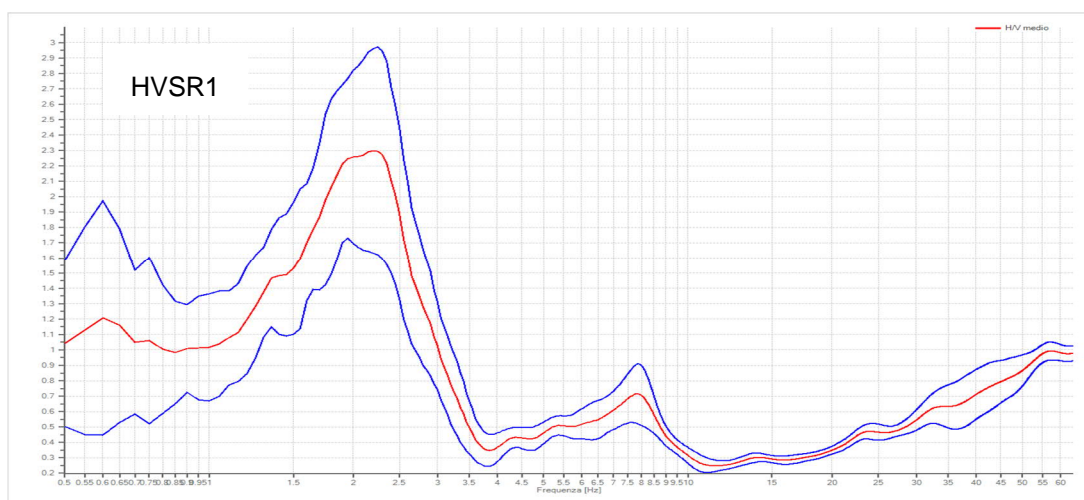
I risultati delle prove di laboratorio sono riportati nell'allegato All. 3 e descritti nel paragrafo 5.1.3.


2.4. PROVA HVSR

Ai fini della caratterizzazione della frequenza caratteristica dei terreni di fondazione, ci si è basati sui risultati delle 4 indagini geofisiche in sito mediante tromografo digitale (HVSR) effettuate durante la campagna indagini 2018, la cui ubicazione è riportata in Figura 1.

La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

Le prove sono state condotte utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 20 minuti). Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z). Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza – Figura 3) e spettri delle singole componenti (componente del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni – Figura 4).



	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	11 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

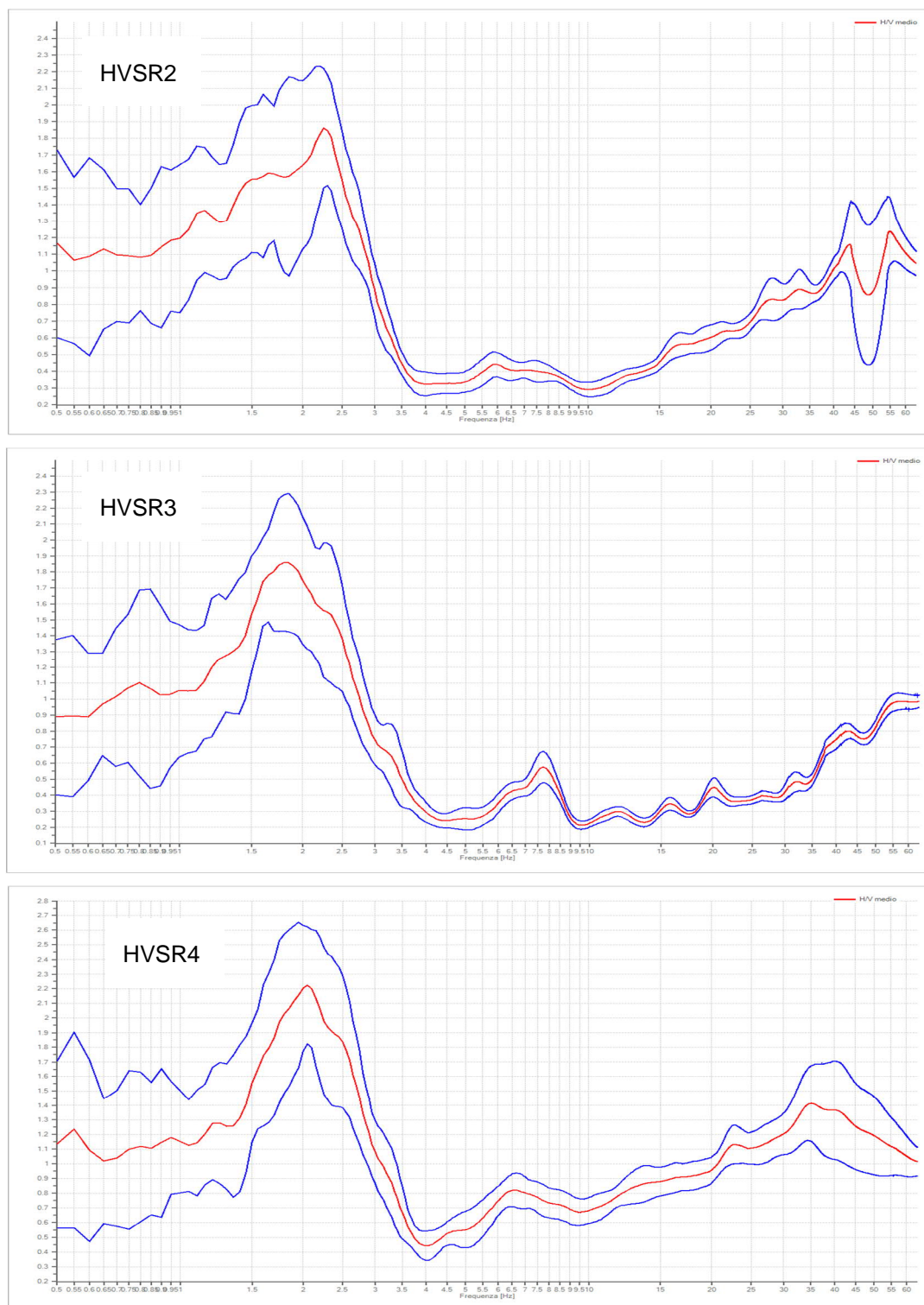



FIGURA 3 – ELABORAZIONI DELLE MISURE REGISTRATE DAL TROMOGRAFO DIGITALE: RAPPORTO H/V

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	12 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

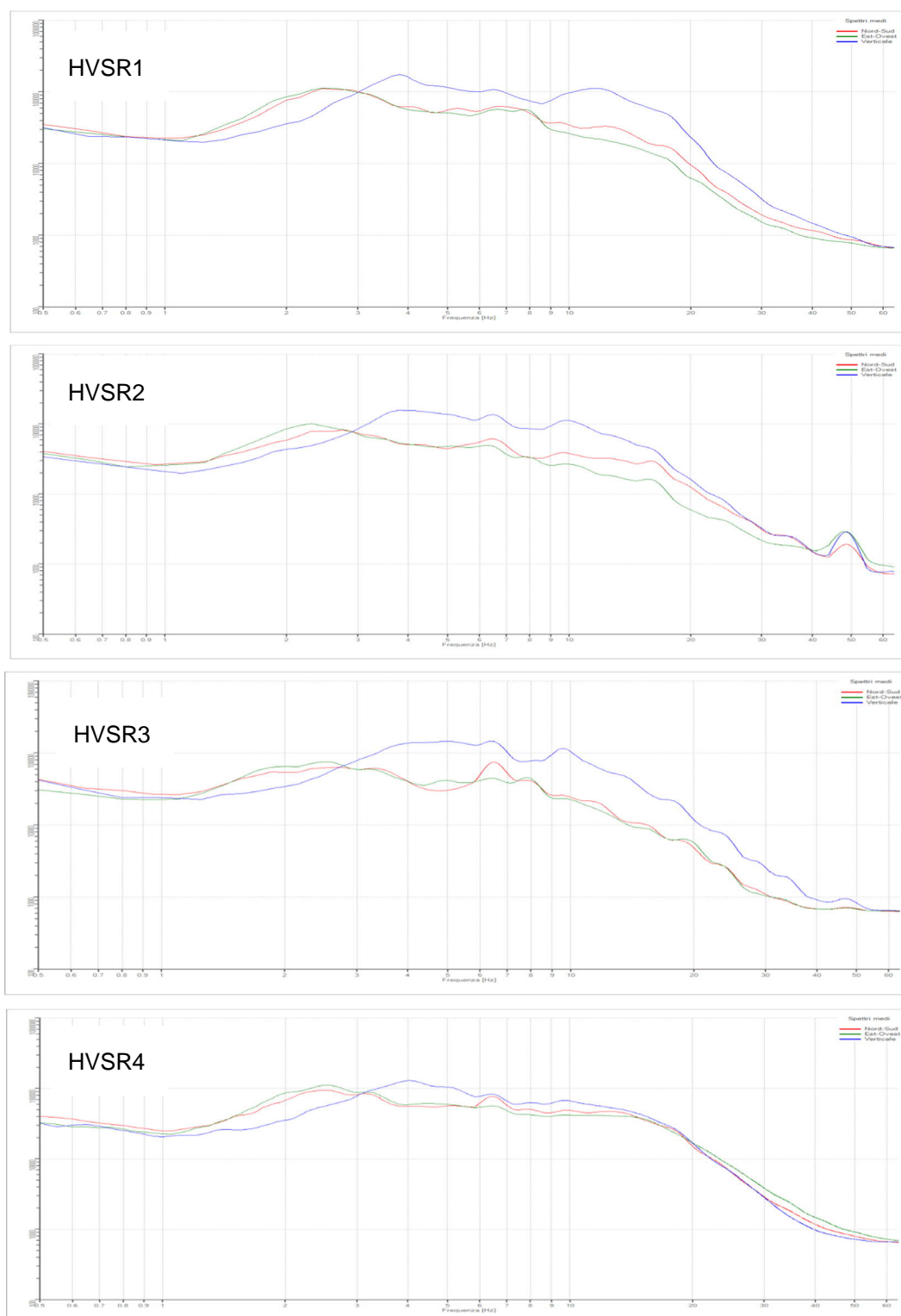



FIGURA 4- GRAFICO CON SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI


 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	13 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

I risultati che si possono ottenere dalla prova HVSR sono:

1. *La frequenza di risonanza caratteristica del sito*
2. *La velocità media delle onde di taglio Vs*

Nel presente caso, tuttavia, visto che la velocità delle onde sismiche Vs è stata ottenuta mediante una prova di misura diretta (indagine mediante Down-Hole-2018) e una di misura indiretta (indagine MASW-2011), le prove HVSR sono state utilizzate per determinare la sola frequenza di risonanza caratteristica del sito (paragrafo 4.8).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	14 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

3. LITOSTRATIMETRIA DEI TERRENI DI FONDAZIONE


Le indagini geognostiche effettuate, descritte nell'elaborato "Relazione geologica", hanno consentito di ricostruire le sezioni litostratimetriche riportate in Tav.4 a corredo della relazione geologica, di cui è riportato uno stralcio della sezione A-A' in Figura 5.

Dall'osservazione di tale elaborato emerge un assetto stratigrafico caratterizzato da una buona omogeneità: sotto il riporto antropico con spessore compreso tra 0.35 e 0.45 m, sono presenti depositi prevalentemente argillosi e argilloso-limosi fino ad una profondità compresa tra 21.10 e 23.00 m da p.c.. All'interno di questi depositi, è presente un banco di argilla torbosa, con elevata presenza di sostanza organica rilevato tra 11 m e 20.35 m.

Da 21.10-23.00 m da p.c. è presente un primo banco di ghiaie che si estende fino alla massima profondità indagata, solo localmente intervallato da spessori decimetrici di sabbie; una lente di argilla rilevata nel solo sondaggio S1 si estende da 27.40 a 31.30 m da p.c. Le ghiaie sono caratterizzate da ciottoli in matrice limoso sabbiosa.

La schematizzazione dettagliata dall'assetto litostratimetrico è la seguente:

- ✓ da p.c. a -0.35/-0.45 m da p.c.: terreno di riporto;
- ✓ da -0.35/-0.45 m da p.c. a -11.00/-15.50 m da p.c.: depositi costituiti da materiali argilloso-limosi con una lente di materiale sabbioso (rinvenuta nel solo sondaggio S4 e nella CPT5 compresa tra -1.40/-1.60 m e -3.60/-4.20m);
- ✓ da -11.00/-15.50 m a -16.40/-20.35 m da p.c.: depositi costituiti da materiali argilloso-torbosi;
- ✓ da -16.40/-20.35 m a -21.10/-23.00 m da p.c.: depositi costituiti da materiali argilloso-limosi;
- ✓ da -21.10/-23.00 m a max profondità indagata m da p.c.: depositi costituiti da ghiaia con una lente di materiale coesivo rinvenuta nel solo sondaggio S1 tra -27.40 m a -31.30 m.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	15 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

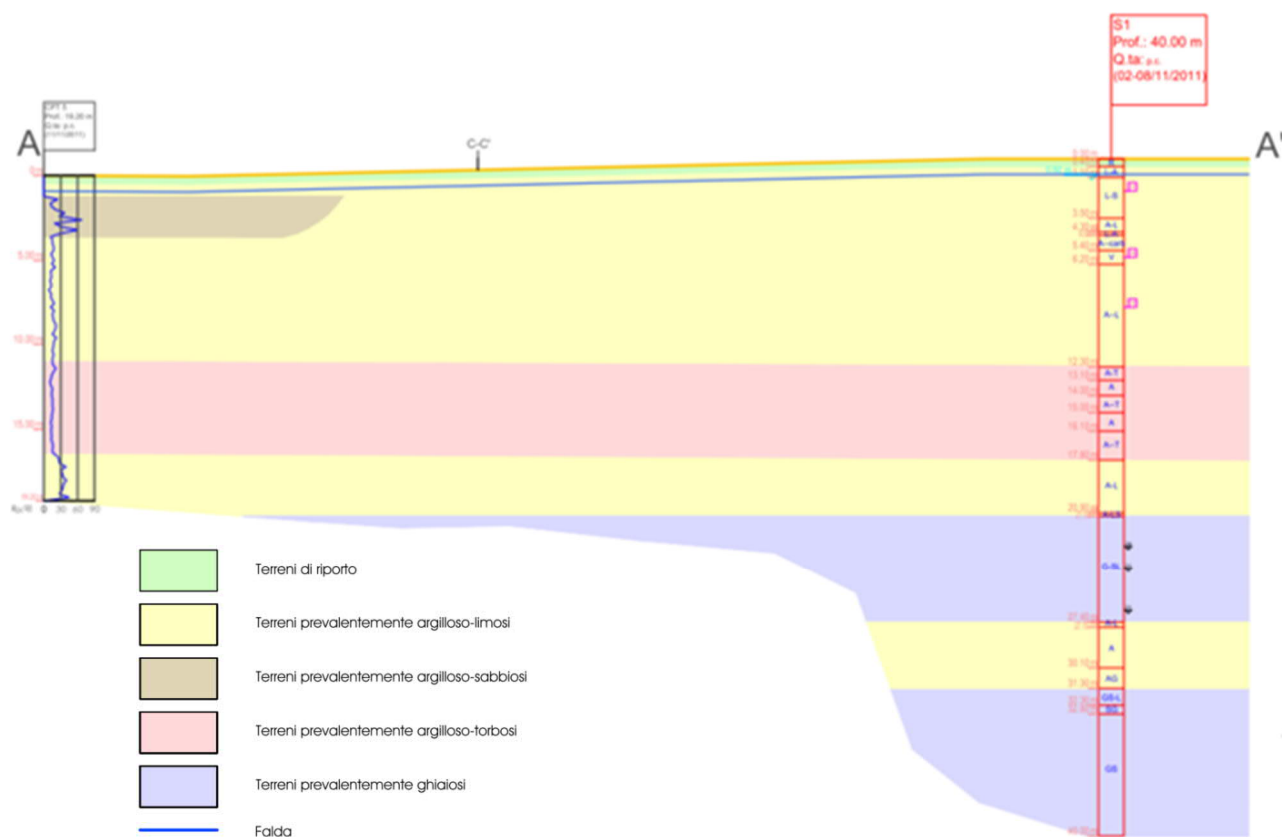



FIGURA 5 – STRALCIO DELLA SEZIONE LITOSTRATIMETRICA A-A'

Quanto alla falda, si è rappresentata una soggiacenza variabile tra -0.82 m e -1.50 m, relativa a misurazioni effettuate durante la campagna indagini 2011.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	16 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

4. SISMICITÀ

4.1. CARATTERISTICHE SISMOTETTONICHE

Per avere un quadro degli elementi che concorrono alla pericolosità sismica del territorio comunale di Parma non si può non fare riferimento agli studi che la Regione Emilia-Romagna ha condotto, a partire dalla fine degli anni '90, principalmente, in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche, e che hanno consentito di pubblicare la "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe" (Martelli *et alii*, 2017).

Ai fini della realizzazione di tale cartografia, sono risultate fondamentali l'identificazione e la rappresentazione delle strutture tettoniche attive; dove, per strutture tettoniche attive, in questo caso, si intendono quelle che mostrano chiare evidenze di influenza sull'evoluzione morfologica del paesaggio attuale o hanno deformato orizzonti stratigrafici non più antichi di 450.000 anni, età attribuita al limite inferiore del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (*marker* stratigrafico più importante alla scala del territorio d'interesse).


Le strutture che presentano evidenze minori o meno certe di influenza sull'evoluzione morfologica del paesaggio attuale o di deformazione degli orizzonti stratigrafici non più antichi di 450.000 anni sono, invece, definite potenzialmente attive.

Inoltre, strutture attive e potenzialmente attive sono state suddivise in:

- affioranti, ovvero che hanno deformato la superficie topografica o, in pianura, hanno deformato la parte più superficiale del sottosuolo, vale a dire fino a profondità inferiori di 100 m dal piano campagna;
- sepolte, ovvero che mostrano evidenze di attività recenti o in atto (es. associazione con eventi sismici) ma a carico di orizzonti stratigrafici profondi almeno alcune centinaia di metri e non arrivano a deformare i livelli superficiali del sottosuolo (≥ 100 m da p.c.).

In Figura 6 è riportata una mappa delle principali strutture attive e potenzialmente attive che, nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe", sono rappresentate, per chiarezza d'illustrazione, in forma sintetica, tracciando le proiezioni in superficie delle intersezioni dei fronti principali delle strutture tettoniche con la base dei depositi pliocenici.

Dall'analisi delle profondità dei terremoti per i quali sono state calcolate soluzioni focali, si evince che i meccanismi di tipo estensionale sono frequenti soprattutto nei primi 15÷20 km della zona assiale della catena e del versante ligure-toscano, mentre i meccanismi inversi sono più frequenti nel settore padano-adriatico; in catena i meccanismi di tipo compressivo sono localizzati per lo più a profondità maggiori di 20 km; i meccanismi di tipo trascorrente sembrano più frequenti nella parte occidentale della Regione dove sono stati localizzati anche a profondità elevate.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	17 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

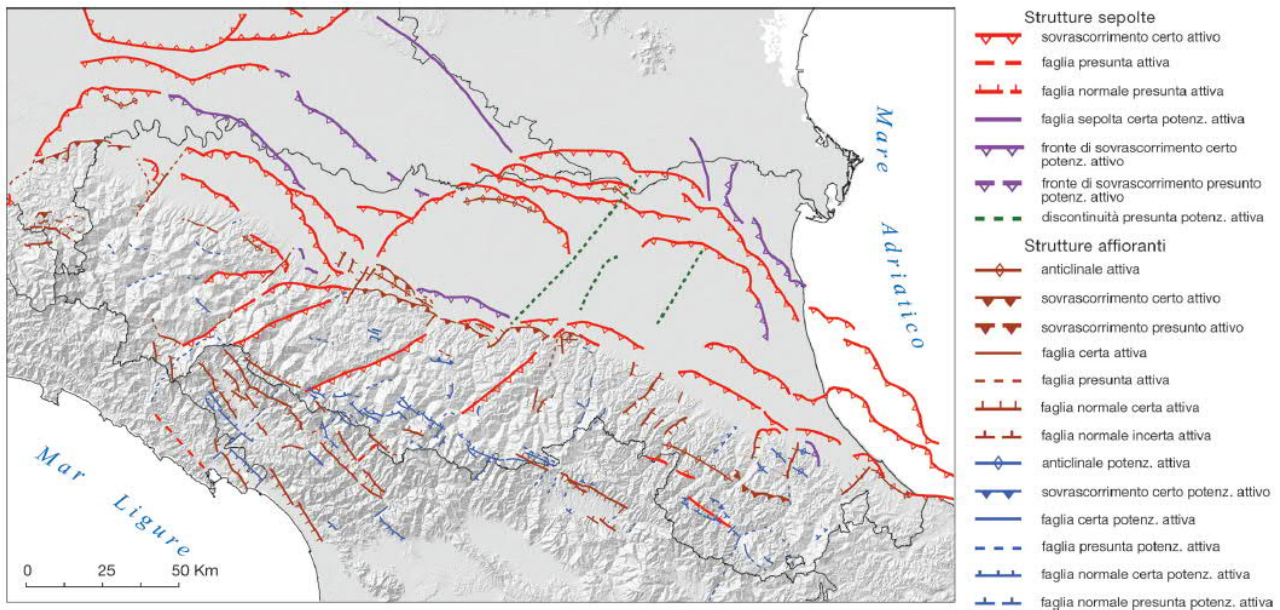



FIGURA 6 – MAPPA DI SINTESI DELLE STRUTTURE TETTONICHE ATTIVE E POTENZIALMENTE ATTIVE RIPORTATE NELLA “CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA ED AREE LIMITROFE”

La rappresentazione di sezioni con ipocentri ricadenti all'intorno di 10 km ha, invece, evidenziato una concentrazione degli ipocentri dei terremoti strumentali che definiscono un'ampia fascia, la quale, dalla zona padano-adriatica, immerge verso sud-ovest, mentre nel versante tirrenico i terremoti sembrano meno concentrati. In alcuni casi queste fasce sembrano essere la prosecuzione in profondità delle strutture attive riconosciute nei primi 10÷15 km; tali fasce potrebbero quindi identificare zone di faglia profonde attive e sismogenetiche.

In Figura 7 è mostrato il confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” e le zone del catalogo DISS 3.2, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area Italiana¹.

A riguardo, è interessante osservare che il Comune di Parma ricade, seppur parzialmente, all'interno della sorgente sismogenetica composita ITCS009 – Busseto-Cavriago, individuata nel catalogo DISS 3.2, ritenuta capace di generare terremoti di magnitudo pari a 5.6, con meccanismi di *thrust* ad una profondità compresa tra 2 e 8 km; *thrust* indicati come attivi (cfr. anche Figura 8), nell'ultima cartografia sismotettonica, al pari degli

¹ Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	18 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

altri fronti interni delle Pieghe Emiliane, limitati a ovest dalla struttura trasversale della val Trebbia e a est da quella della val d'Enza.

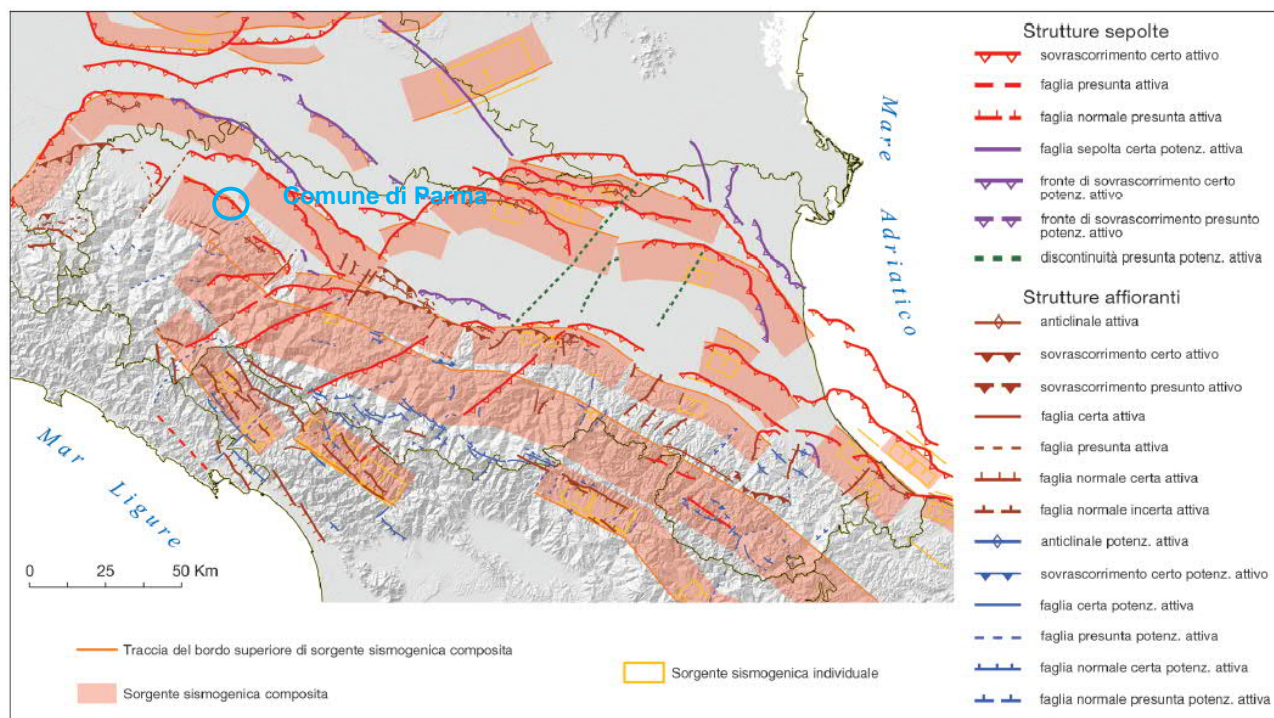



FIGURA 7 – MAPPA DI CONFRONTO TRA LE STRUTTURE TETTONICHE ATTIVE E POTENZIALMENTE ATTIVE RIPORTATE NELLA “CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA ED AREE LIMITROFE” E LE ZONE SISMOGENETICHE DEL DISS 3.2

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	19 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

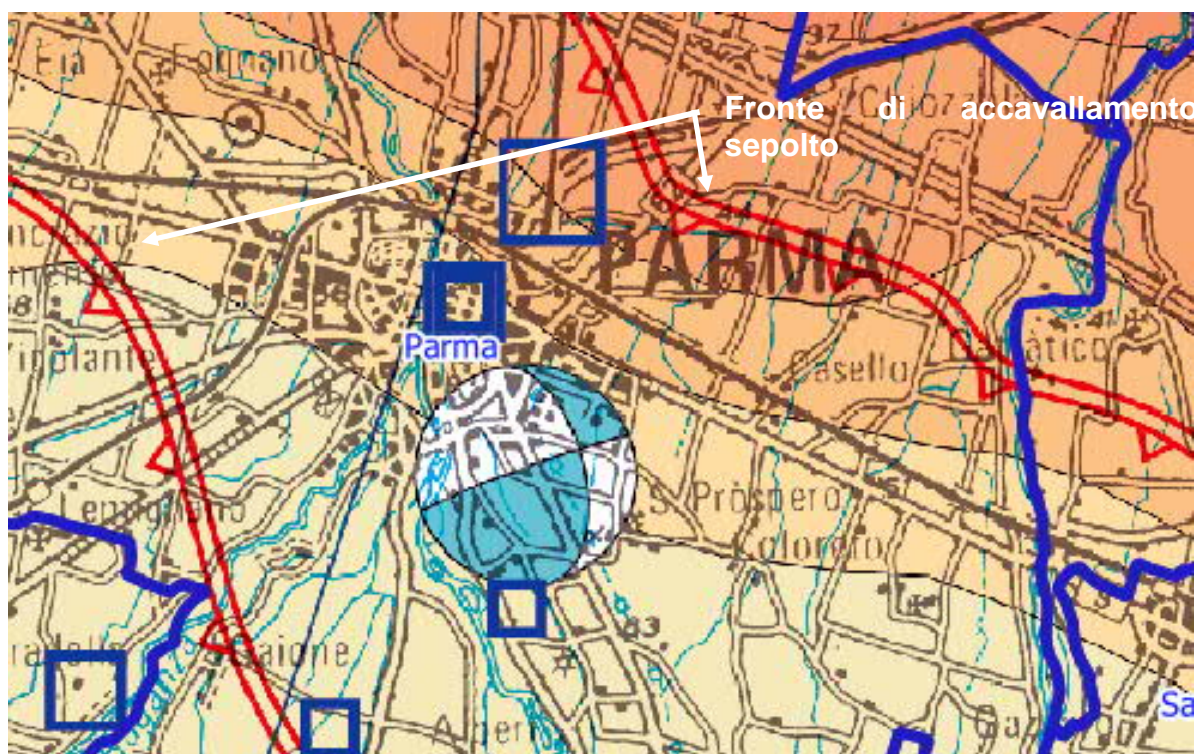



FIGURA 8 – STRALCIO DELLA “CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA ED AREE LIMITROFE”

Differentemente, poco più a nord, è indicata l'estremità sud-orientale della struttura potenzialmente attiva che verso nord-ovest si raccorda con il fronte di accavallamento sub affiorante di S. Angelo Lodigiano – Casalpusterlengo nella zona di Castiglione d'Adda.

Sulla base dei nuovi dati acquisiti per la realizzazione della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” è stata proposta, da parte di Martelli *et alii* (2017), anche una nuova zonazione sismogenetica dell'Appennino emiliano-romagnolo e aree limitrofe, al fine di fornire un contributo per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica nazionale: la MPS16, che andrà a sostituire la MPS04, che, con la zonazione sismogenetica ZS9, rappresenta l'attuale riferimento per il calcolo dell'azione sismica (NTC2018) e la riclassificazione sismica (OPCM 3519/2006).

Secondo questa nuova proposta, in Figura 9 messa a confronto con le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute, il Comune di Parma ricade in zona sismogenetica con meccanismi di rottura prevalentemente di tipo trascorrente (*strike slip fault*).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	20 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

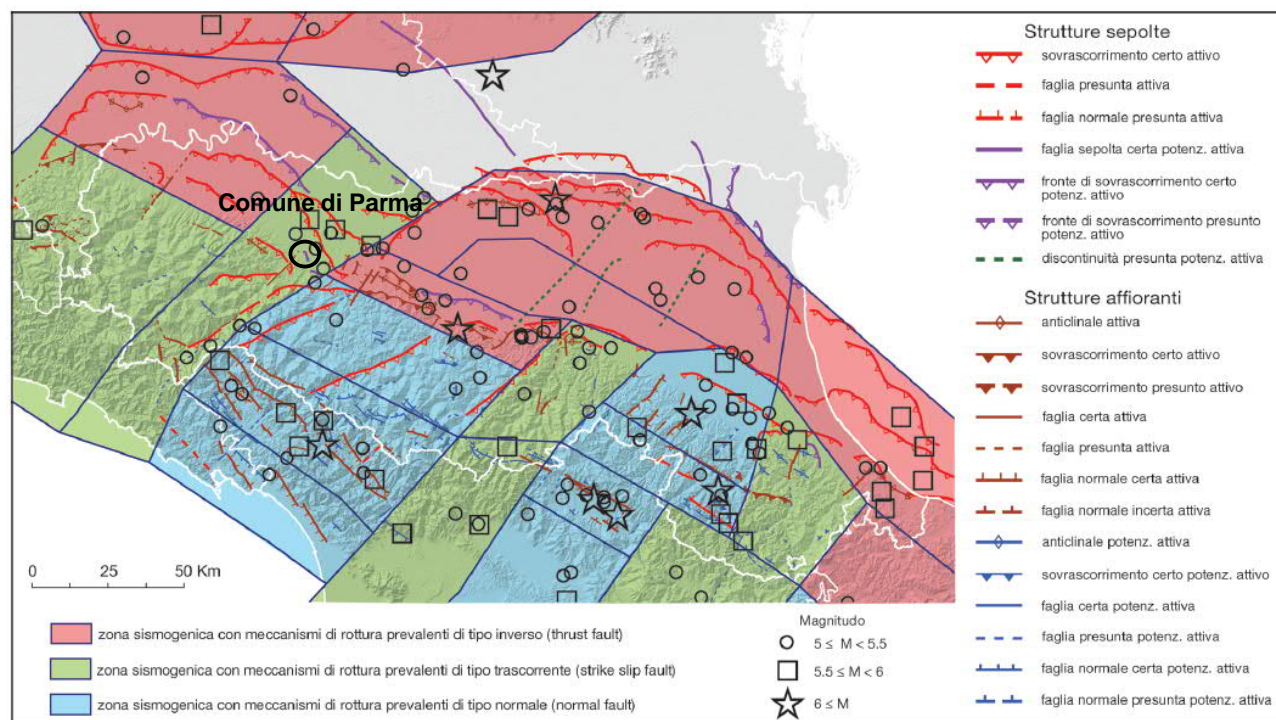



FIGURA 9 – MAPPA DI CONFRONTO TRA LE STRUTTURE ATTIVE E POTENZIALMENTE ATTIVE RICONOSCIUTE E LA ZONAZIONE SISMOGENETICA PROPOSTA DA MARTELLI ET AL. (2017)

Più precisamente (cfr. Figura 10), rientra nella Zona 2 Taro-Enza, contraddistinta dalle seguenti caratteristiche sismotettoniche

- *Orientazione delle principali faglie attive: NE-SW (S/45-60)*
- *Geometria principale delle faglie attive: trascorrente*
- *Geometria secondaria delle faglie attive: inversa*
- *Profondità ipocentrale stimata: 5-30 km*
- *Magnitudo massima osservata: 5.5*
- *Magnitudo massima calcolata: 5.71 +/- 0.29*

e che viene così descritta:

- *Zona estesa dal Mar Ligure (Liguria di Levante) al Po, caratterizzata dalla presenza di importanti elementi tettonici trasversali all'asse della catena, con componente di movimento trascorrente, che interrompono e dislocano le strutture "appenniniche". Le profondità ipocentrali sono talora elevate (>30 km), Lungo il margine appenninico e in corrispondenza del settore orientale delle Pieghe Emiliane si ritengono probabili sovrascorrimenti attivi. La direzione di compressione (assi P) è in ogni caso circa N-S. La magnitudo storica massima è M≈5.7. Corrisponde alla parte occidentale delle zone ZS9 913, 915 e 916; la parte settentrionale non era compresa in nessuna zona ZS9.*

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	21 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

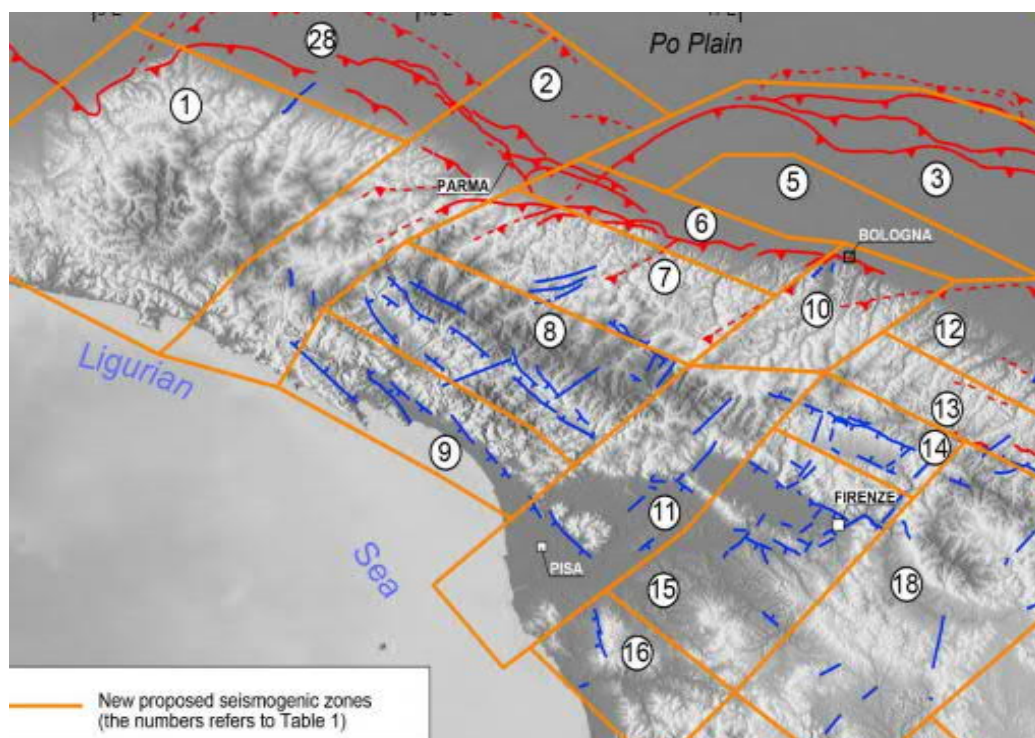



FIGURA 10 –ZONE SISMOGENETICHE PROPOSTE DA MARTELLI ET AL. (2017) E LORO NUMERAZIONE

Esaminando, infatti, la zonazione Sismogenetica ZS9 (a cura del gruppo di lavoro coordinato da C. Meletti e G. Valensise, 2004), di cui è riportato uno stralcio in Figura 11, il Comune di Parma ricade, solo in minima parte (all'estremità meridionale), all'interno della zona 913, denominata "Appennino Emiliano".

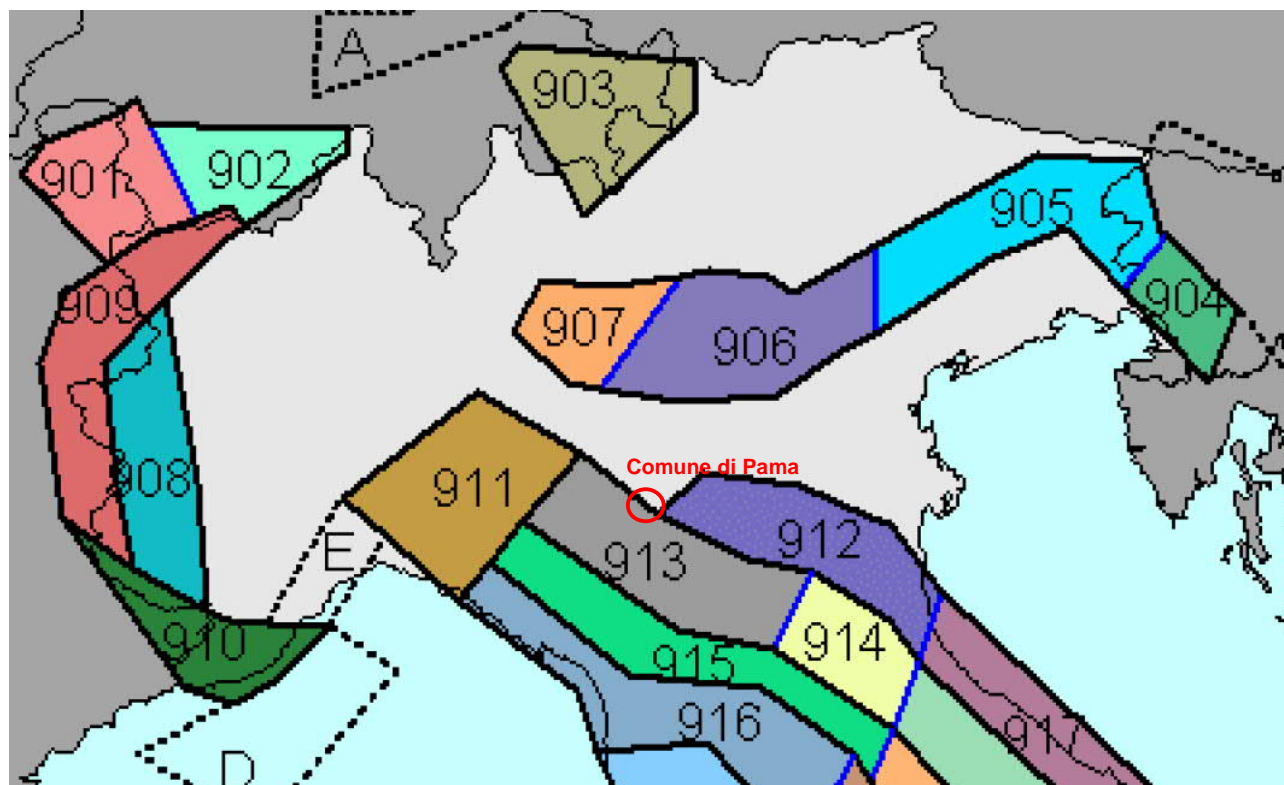
Detta zona è contraddistinta da eventi sismici di magnitudo medio-bassa (la massima magnitudo rilevata è $M_d = 4,8$), originati da movimenti prevalentemente compressivi, a NW, e distensivi, a SE, con meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo, che dissecano la continuità longitudinale delle strutture.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	22 di 66

PROGETTO


Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

**FIGURA 11 – STRALCIO DELLA ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 (2004)**

Il maggior numero di terremoti che si verificano nella zona 913 presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 12 e 20 km, con profondità efficace di 13 km.

Sulla base dei meccanismi focali, sono previsti valori “cautelativi” di massima magnitudo (M_{wmax2}) pari a = 6.14.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	23 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

4.2. SISMICITÀ DEL TERRITORIO

La storia sismica del territorio del comune di Parma è stata desunta da "*DBMI15, Database Macrosismico Italiano*"², database realizzato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti che contiene i dati macrosismici provenienti da studi dello stesso GNDT e di altri enti.

Secondo quanto indicato in DBMI15, la storia sismica a Parma è riassunta graficamente nel diagramma riportato in Figura 12, mentre in Tabella 1 sono elencati gli eventi di maggiore intensità verificatisi sul territorio, indicando, per ciascuno di essi, oltre alla stessa intensità al sito (Int.), l'anno, la data (comprendente mese, giorno, ora ed eventualmente minuto e secondo) in cui si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

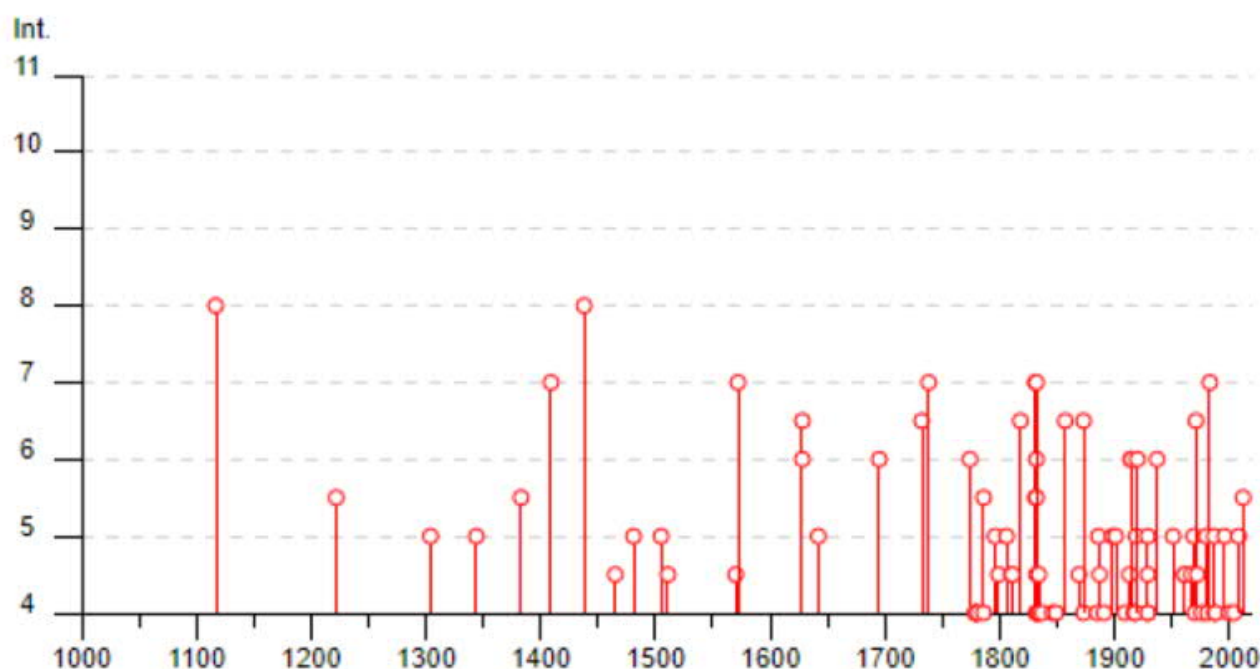



FIGURA 12 - GRAFICO RAPPRESENTANTE GLI EVENTI SISMICI DI PARMA

² Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	24 di 66


PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1304 10 23 00 45	Pianura emiliana	4		
5	1344 11 11	Parma	1	5	4.16
5	1481 02 07 22 45	Pianura emiliana	2	5	4.16
5	1505 01 03 02	Bolognese	31	8	5.62
5	1642 06 13	Pianura lombarda	8	6	4.92
5	1796 10 22 04	Emilia orientale	27	7	5.45
5	1806 02 12	Reggiano	28	7	5.21
5	1886 10 15 02 20	Collecchio	44	6	4.7
5	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5.37
5	1901 10 30 14 49 5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
5	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10	6.38
5	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5.13
5	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5.17
5	1969 06 24 13 25 1	Parmense	15	5	4.21
5	1980 12 23 12 01 0	Piacentino	69	6-7	4.57
5	1987 05 02 20 43 5	Reggiano	802	6	4.71
5	1996 10 15 09 55 5	Pianura emiliana	135	7	5.38
5	2008 12 23 15 24 2	Parmense	291	6-7	5.36
5-6	1222 12 25 12 30	Bresciano-Veronese	18	7-8	5.68
5-6	1383 07 24 20	Parma	2	4-5	3.93
5-6	1786 04 07 00 15	Pianura lombarda	10	6-7	5.22
5-6	1831 07 14 15 30	Reggiano	8	5-6	4.6
5-6	1832 03 12 02 30	Parmense	4		
5-6	2012 01 25 08 06 3	Pianura emiliana	25	5-6	4.98
6	1628 11 04 15 40	Parma	1		
6	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10	6.4
6	1774 03 04	Parma	2	5	4.16
6	1832 03 11 08 45	Parmense	14		
6	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
6	1915 10 10 23 10	Reggiano	30	6	4.87
6	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10	6.53
6	1937 09 17 12 19 0	Parmense	34	7	4.77
6-7	1628 11 04 15 40	Parma	1	6-7	4.86
6-7	1732 02 04 18 20	Parma	9	5-6	4.65
6-7	1818 12 09 18 55	Parmense	26	7	5.24
6-7	1857 02 01	Parmense-Reggiano	22	6-7	5.11
6-7	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	64	6-7	5.26
6-7	1971 07 15 01 33 2	Parmense	228	8	5.51
7	1409 11 15 11 15	Parma	1	7	5.1
7	1572 06 04 22	Parmense	5	6	4.63
7	1738 11 05 00 30	Emilia occidentale	10	7	5.1
7	1831 09 11 18 15	Pianura emiliana	25	7-8	5.48
7	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5.51
7	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
8	1117 01 03 15 15	Veronese	55	9	6.52
8	1438 06 11 02	Parmense	4	8	5.56

TABELLA 1 – EVENTI SISMICI DI MAGGIORE INTENSITÀ I CUI EFFETTI SI SONO RISENTITI A PARMA

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	25 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

Dalla lettura dei dati si evidenzia che il massimo evento sismico censito a Parma si è verificato il 11 Giugno 1438 con un'intensità dell'VIII grado della scala MCS. L'epicentro (cfr. Figura 13) viene indicato una quindicina di chilometri ad Ovest dalla città.

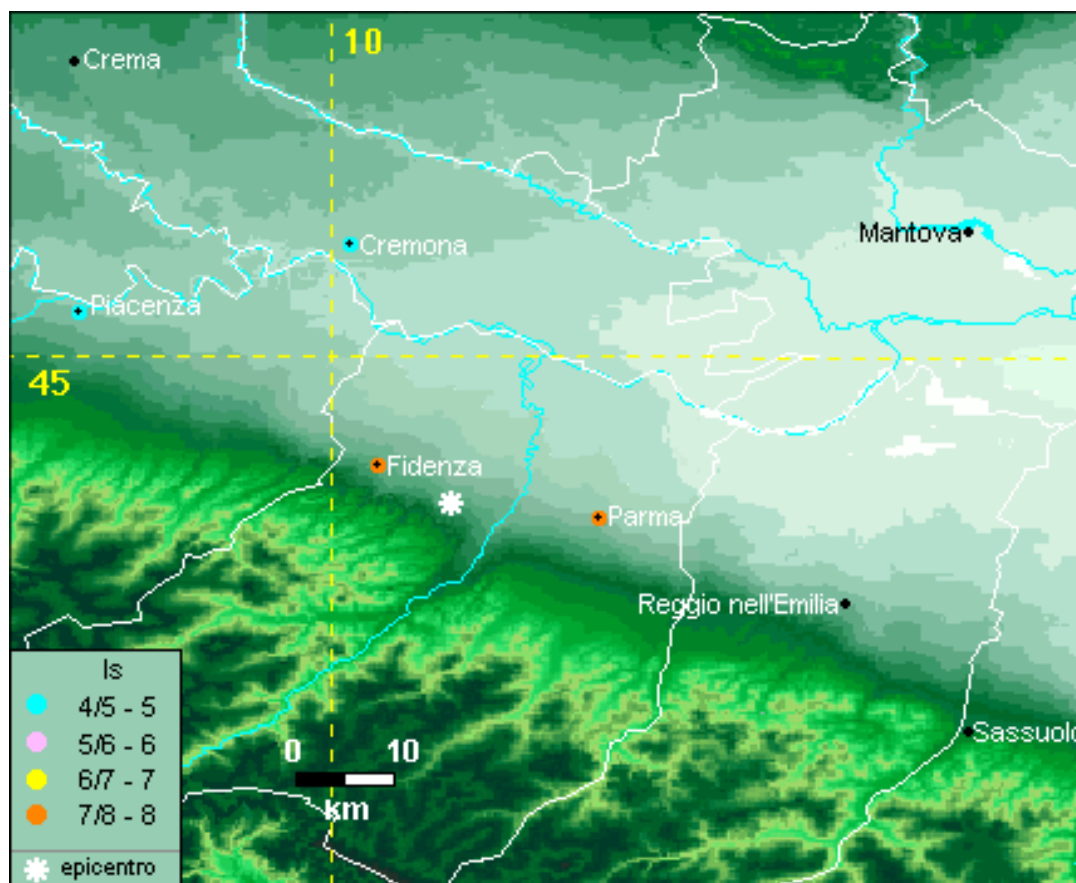



FIGURA 13 – MAPPA D'INTENSITÀ SISMICA RELATIVA ALL'EVENTO DEL 11-06-1438

4.3. CLASSIFICAZIONE SISMICA

L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. Secondo tale aggiornamento, come indicato in Figura 14, il comune di Parma, all'interno dei cui confini ricade l'area di studio, è identificato in zona 3 (a sismicità bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresi tra $0.05 \cdot g$ e $0.15 \cdot g$ (dove g è l'accelerazione di gravità).

Tale classificazione ha tuttavia esclusivo valore amministrativo; infatti alle Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 14-01-2008, è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), in cui l'azione sismica

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	26 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

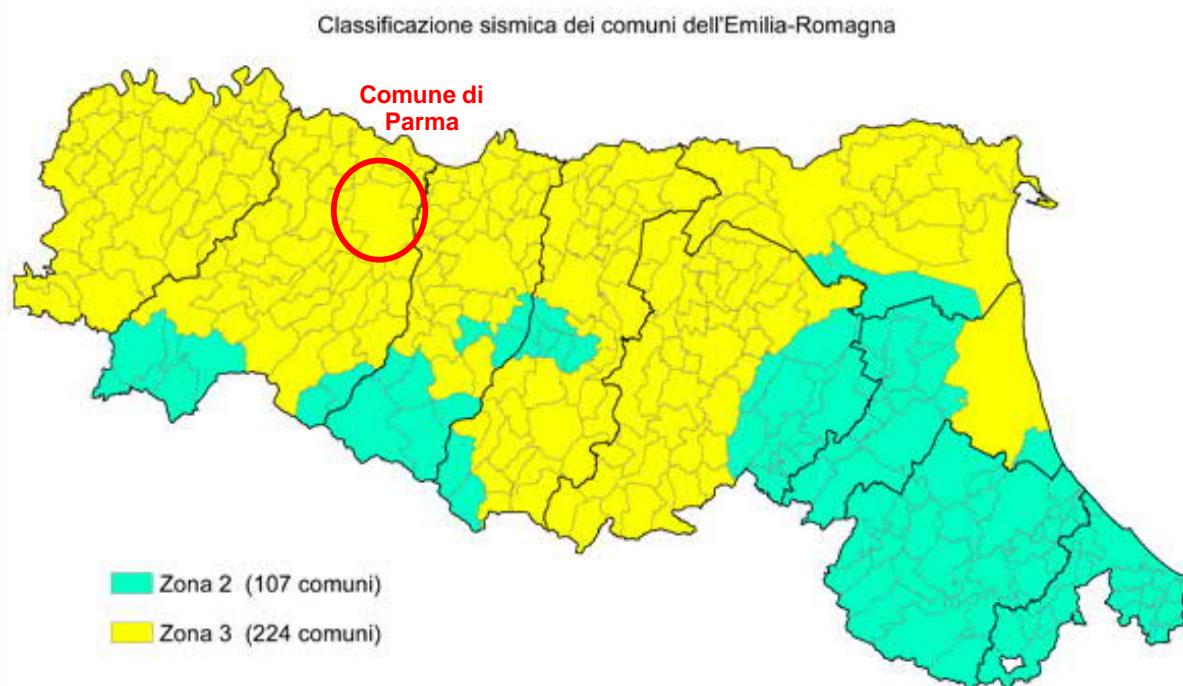


FIGURA 14 – CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA


Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- ✓ a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- ✓ F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- ✓ T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento; cfr. Figura 15), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 75 anni e per diversi periodi di ritorno.

Per determinare il tempo di ritorno sono stati forniti i parametri delle opere in progetto (cfr. paragrafo 1.2) che corrispondono a:

- ✓ **VITA NOMINALE:** “Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari” la cui vita nominale è $V_n \geq 75$ anni (come definito dalla Tab. 2.4.I delle N.T.C. 01/2018);

 ENGEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	27 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

- ✓ **CLASSE D'USO:** *Classe II: "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti."* (come definito dal paragrafo 2.4.2 delle N.T.C. 01/2018). Con conseguente coefficiente d'uso $C_u=1.00$ (cfr. Tab. 2.4.II delle N.T.C. 01/2018).

Da cui si ottiene il periodo di riferimento della costruzione che è dato da: $V_R = V_N \cdot C_u = 75 \cdot 1.00 = 75$ anni.


Inoltre sono stati definiti gli stati limite che forniscono le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (ved. Paragrafo 3.2.1 e Tab. 3.2.I delle N.T.C. 01/2018), per gli stati limite ultimi di Salvaguardia della Vita (**SLV**) con probabilità pari al 10% e per gli stati limite di esercizio di Danno (**SLD**) con probabilità pari al 63%.

Dato che il sito in esame (long. 10.336, lat. 44.825) non ricade nei nodi del reticolo di riferimento (cfr. Figura 15), i valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* possono essere ricavati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici. Qualora l'attuale *pericolosità sismica* su *reticolo di riferimento* non contempli il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e alla P_{VR} fissate, il valore del generico parametro a_g , F_0 , T_c^* ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione.

Alla luce dei dati descritti sopra, i valori dei tre parametri necessari per la determinazione delle azioni sismiche per l'edificio in progetto sono riportati nella seguente Tabella 2.

Stato Limite	Tempo di ritorno T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_c^* (s)
SLO	45	0.052	2.508	0.252
SLD	75	0.064	2.513	0.268
SLV	712	0.152	2.480	0.291
SLC	1462	0.192	2.485	0.300

TABELLA 2 – VALORI DEI PARAMETRI a_g , F_0 , T_c^* PER I TEMPI DI RITORNO ASSOCIATI A CIASCUN STATO LIMITE

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	28 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

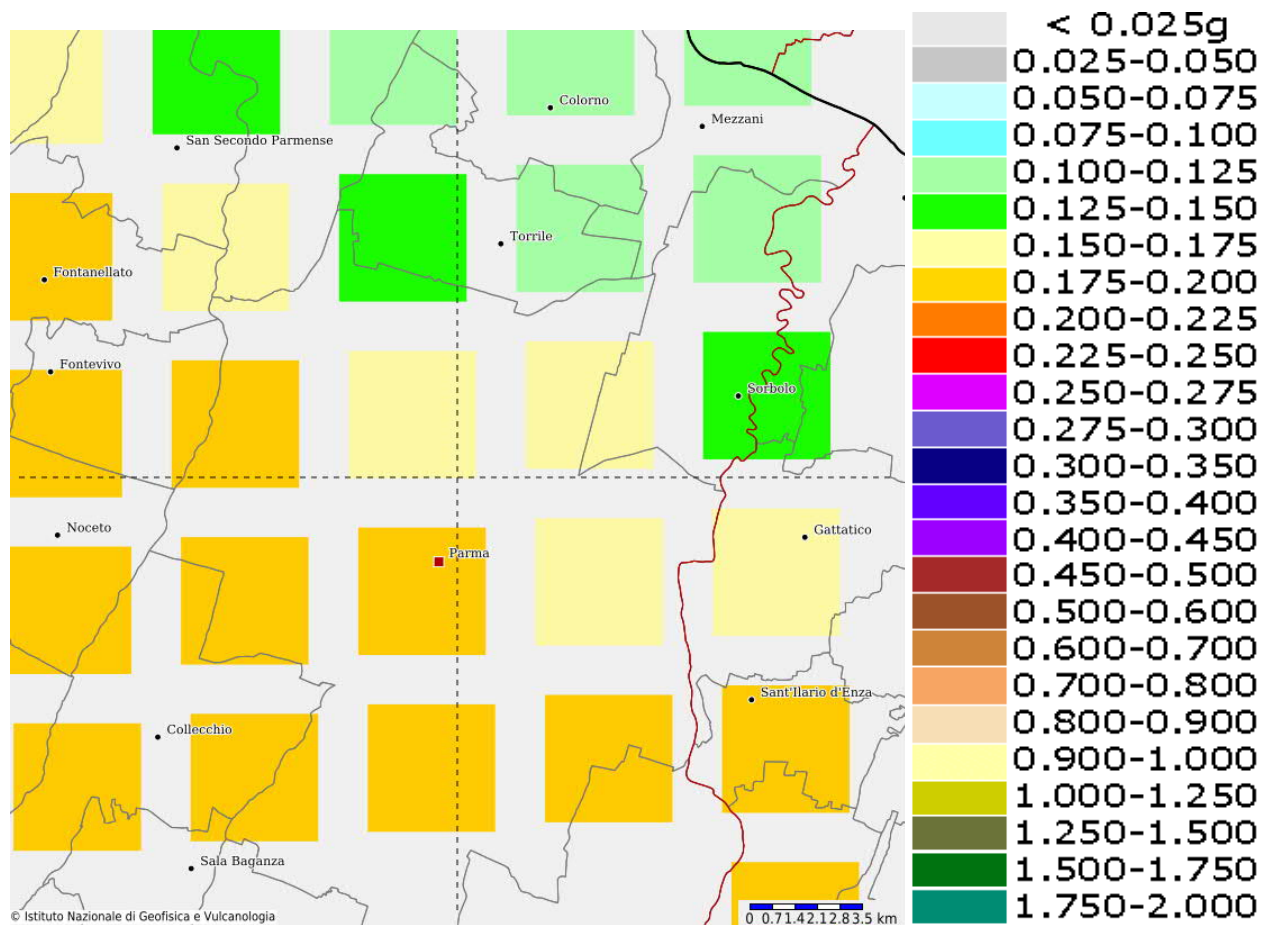



FIGURA 15 – MAPPATURA DELL'ACCELERAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA DEL TERRENO (AG) CON TEMPI DI RITORNO DI 712 ANNI

4.4. MICROZONAZIONE SISMICA

Il territorio del Comune di Parma è stato oggetto di studi di microzonazione sismica di 2° e 3° livello, che costituiscono un'importante base di riferimento per la valutazione della pericolosità sismica del territorio.

Per microzonazione sismica (di seguito definita MS) si intende la “valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo”. In sostanza, la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità: è ormai noto che lo stesso evento sismico può provocare scuotimenti decisamente differenti in dipendenza degli spessori e delle qualità dei terreni posti a copertura del substrato roccioso, delle caratteristiche morfologiche del sito e, inoltre, è riconosciuto che gli effetti di un terremoto variano col variare delle condizioni geologiche in cui esso si sviluppa.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	29 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

La MS ha come scopo quello di riconoscere ad una scala sufficientemente grande (scala comunale o subcomunale), le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture.

In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi, gli studi di MS possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità e impegno crescenti, passando dal Livello 1 fino al Livello 3:

- il Livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto alle zone sopra descritte;
- il Livello 2 si propone di quantificare l'amplificazione sismica di ogni zona omogenea individuata nel Livello 1, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessario, e definisce la "Carta dei fattori di amplificazione";
- il Livello 3 restituisce una "Carta di microzonazione sismica di Livello 3" con approfondimenti su tematiche o aree particolari

Per l'area oggetto di studio è stato effettuato un approfondimento di livello 3 che prevede la suddivisione in dettaglio del territorio delle microzone omogenee, in funzione di un indice quantitativo che definisce l'amplificazione sismica attesa.


Come osservabile in Figura 16, per quanto riguarda l'accelerazione massima orizzontale nell'intervallo 0.1-0.5 s (intervallo di frequenza più probabile per l'edificio in questione) l'area oggetto di studio ricade interamente in una porzione di territorio soggetta ad un'amplificazione $FA_{IS\ 0.1-0.5\ s} = 1.3-1.4$.

Lo studio di Microzonazione sismica di 3° livello del Comune di Parma, allegato al PSC del Comune di Parma, approvato con Approvazione atto C.C. n.53 del 22.07.2019, ha redatto le "Norme per la riduzione del rischio sismico" che contengono le seguenti disposizioni (Art. 3 – Disposizioni particolari ai fini progettuali):

"La progettazione esecutiva di nuove costruzioni e di interventi di adeguamento e miglioramento di opere esistenti, ricadenti in classi d'uso III e IV, così come definiti dalle vigenti Norme tecniche per le costruzioni, deve essere effettuata sulla base di analisi di risposta sismica locale".

Le norme, tuttavia, chiariscono tali disposizioni che entreranno in vigore per i procedimenti avviati decorso un anno dall'approvazione del PSC.

Vista l'importanza dell'opera oggetto di studio, la Committenza ha ritenuto di procedere a valutazioni sismiche mediante studi di risposta sismica locale anche se al momento non obbligatori secondo il PSC.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	30 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

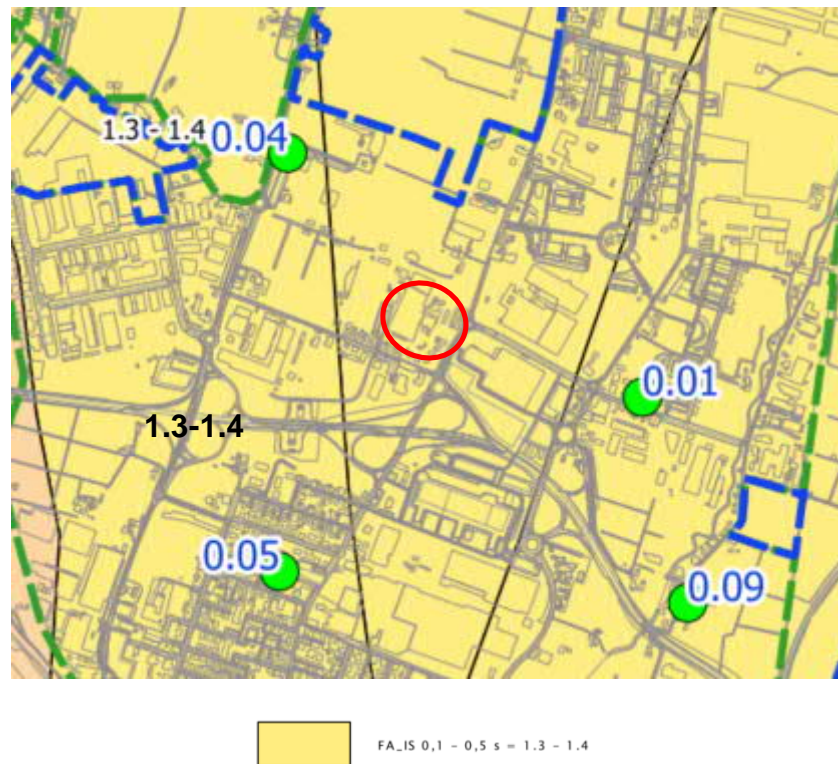


FIGURA 16 – STRALCIO DELLA CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE NELL'INTERVALLO 0.1 – 0.5 s


4.5. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il D.M. 17-01-2018 definisce 5 categorie in cui suddividere i terreni d'imposta in base ai valori di velocità equivalente delle onde sismiche trasversali fino al substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800m/s.

La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio, sotto il piano di posa della fondazione e fino al substrato, ($V_{s,eq}$), è definita come:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e V_i sono lo spessore e la velocità delle onde delle strato i -esimo fondazione, N il numero degli strati e H la profondità del substrato.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	31 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.


Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

TABELLA 3 – CATEGORIE SISMICHE DEI TERRENI

Sulla base delle prove sismiche eseguite in sito, si constata che i terreni presentano **categoria sismica C**.

4.6. COEFFICIENTI SISMICI DI PROGETTO

Sulla base della categoria di appartenenza del terreno il D.M. 17-01-2018 introduce i coefficienti S_s e C_c per tener conto dell'amplificazione stratigrafica del valore dell'azione sismica di progetto. Per le categorie B, C, D ed E, questi due parametri possono essere calcolati attraverso le espressioni riportate in Tabella 4, dove i valori di F_0 e T_c^* sono relativi al sottosuolo di categoria A, g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	32 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

Categoria	S _s	C _c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$


TABELLA 4 – TABELLA PER IL CALCOLO DEI PARAMETRI S_s E C_c

Con i valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* riportati in Tabella 2 e, per le diverse categorie di suolo, in riferimento ai diversi stati limite, si ottengono i parametri di amplificazione per il fabbricato oggetto di studio, riportati in Tabella 5.

	S _s	C _c	St	Amax (m/s ²)	Beta	Kh	Kv
SLO	1.500	1.650	1.000	0.760	0.200	0.015	0.008
SLD	1.500	1.620	1.000	0.937	0.200	0.019	0.010
SLV	1.470	1.580	1.000	2.187	0.240	0.054	0.027
SLC	1.410	1.560	1.000	2.649	0.240	0.065	0.032

TABELLA 5 – COEFFICIENTI SISMICI DI PROGETTO

L'analisi della superficie topografica ha, invece, consentito di escludere la presenza di effetti locali legati ad elementi morfologici. I siti analizzati si trovano in pianura, dove il piano campagna ha un angolo di inclinazione <15° e di conseguenza non si ha amplificazione topografica.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	33 di 66


PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

4.7. DISAGGREGAZIONE E MAGNITUDO

Per poter definire la magnitudo di riferimento necessaria per individuare i sismi di riferimento mediante il programma Rexel (cfr. § 5.2), è necessario dapprima definire le caratteristiche sismogenetiche del sito, cioè definire la coppia di dati magnitudo-distanza che meglio caratterizzano il sito stesso. Tale operazione, nota come disaggregazione, consiste nell'individuazione, a partire da uno studio di pericolosità sismica con metodo probabilistico, le coppie di dati (appunto magnitudo e distanza) che maggiormente concorrono alla sismicità di un sito.

A tale scopo, si sono utilizzati i dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che fornisce i valori disaggregati magnitudo-distanza, ovvero, il contributo percentuale delle diverse coppie di dati magnitudo-distanza alla pericolosità di base con riferimento ai nodi del reticolo di riferimento, individuato dall'Allegato A delle NTC 2008 (nel caso in esame, si è considerato il nodo 15162, in quanto è il più prossimo all'intervento in progetto).

La disaggregazione per lo SLV (Figura 17) evidenzia che il massimo contributo percentuale alla pericolosità sismica di base è fornita per terremoti di magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 nel range di distanza tra 0 e 10 Km. Importanti contributi sono però forniti anche da sismi con magnitudo tra 4.0 e 4.5 sempre nel range 0-10 Km ed in misura leggermente minore da sismi con magnitudo 5.0 e 5.5 sempre nel range tra 0 e 10 Km.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	34 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

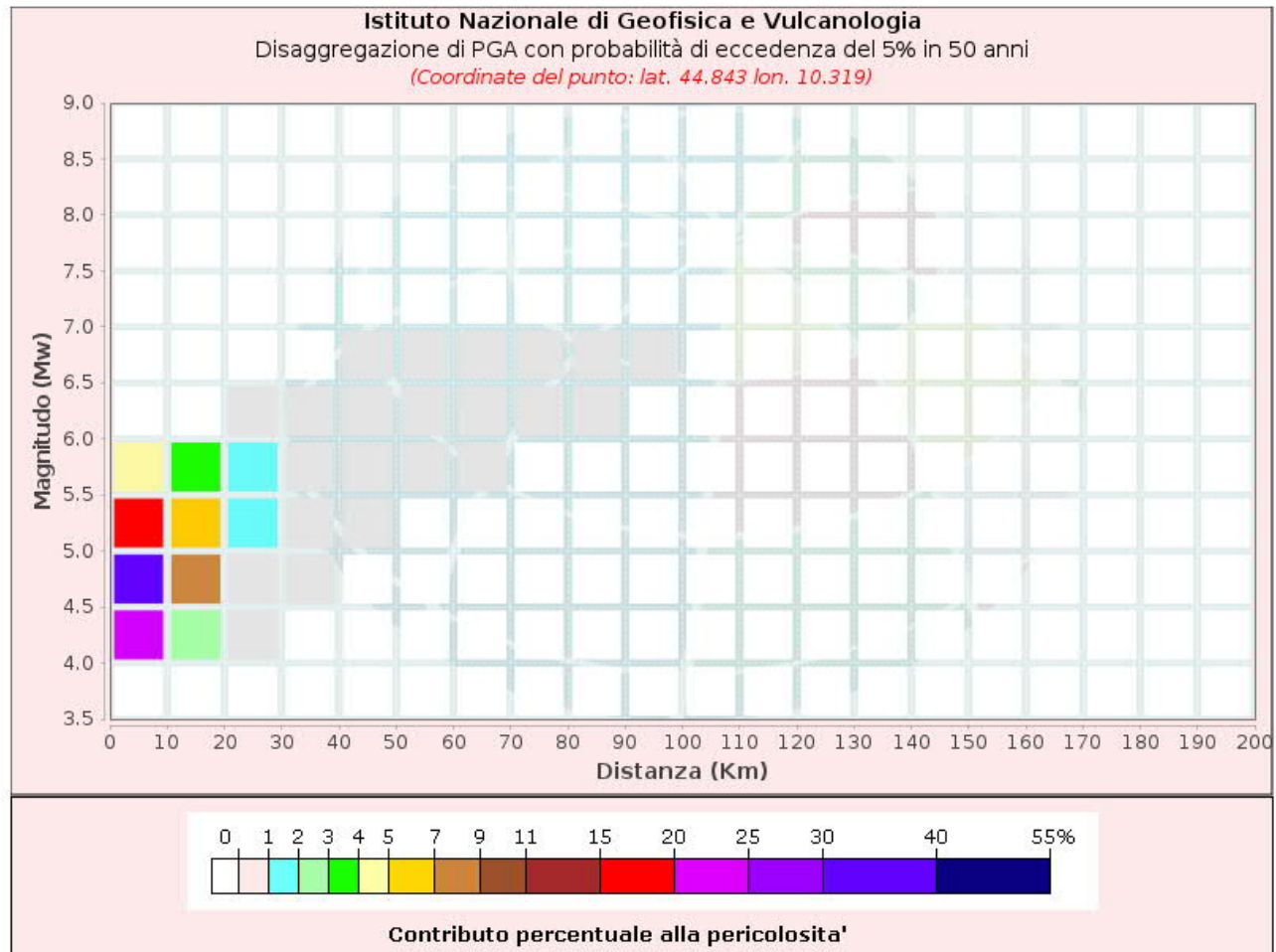



FIGURA 17 – DISAGGREGAZIONE MAGNITUDO-DISTANZA PER IL NODO 15162 DA INGV

4.8. VULNERABILITÀ SISMICA DELL'OPERA

Per vulnerabilità sismica s'intende la suscettibilità di un'opera a subire lesioni in seguito alle sollecitazioni indotte dal sisma.

E' stato dimostrato che la vulnerabilità agli eventi sismici di un edificio di costruzione relativamente recente è solo marginalmente collegabile alle modalità costruttive dello stesso. Molto più gravoso è l'effetto dell'amplificazione sismica locale, che tende ad aumentare in maniera importante l'intensità delle forze sismiche agenti sulla struttura.

In particolare, se la frequenza di risonanza dell'edificio è confrontabile con quella dei terreni di fondazione si verifica il fenomeno della risonanza accoppiata che comporta un'amplificazione delle sollecitazioni sismiche sull'opera.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	35 di 66

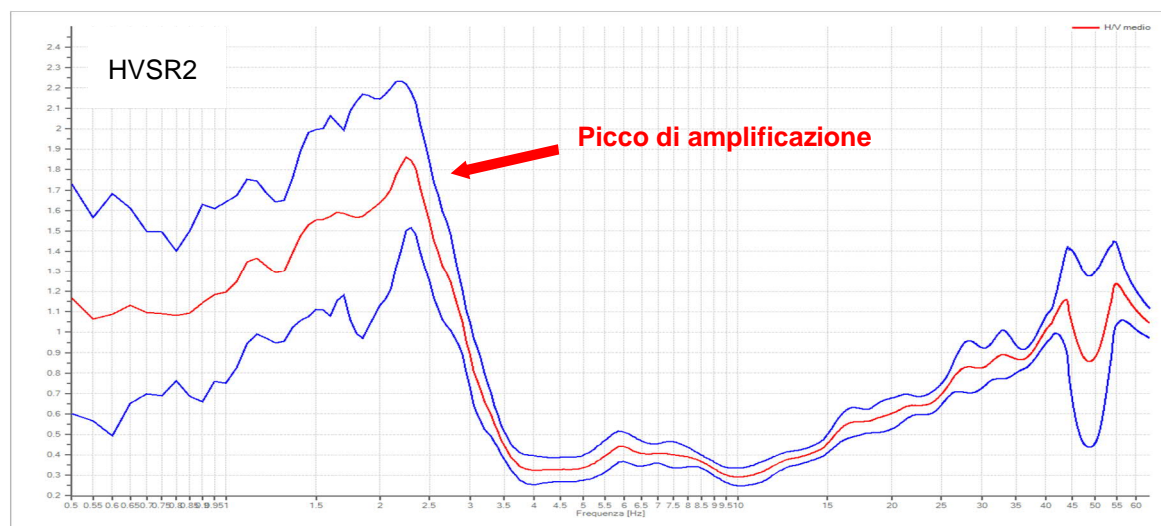
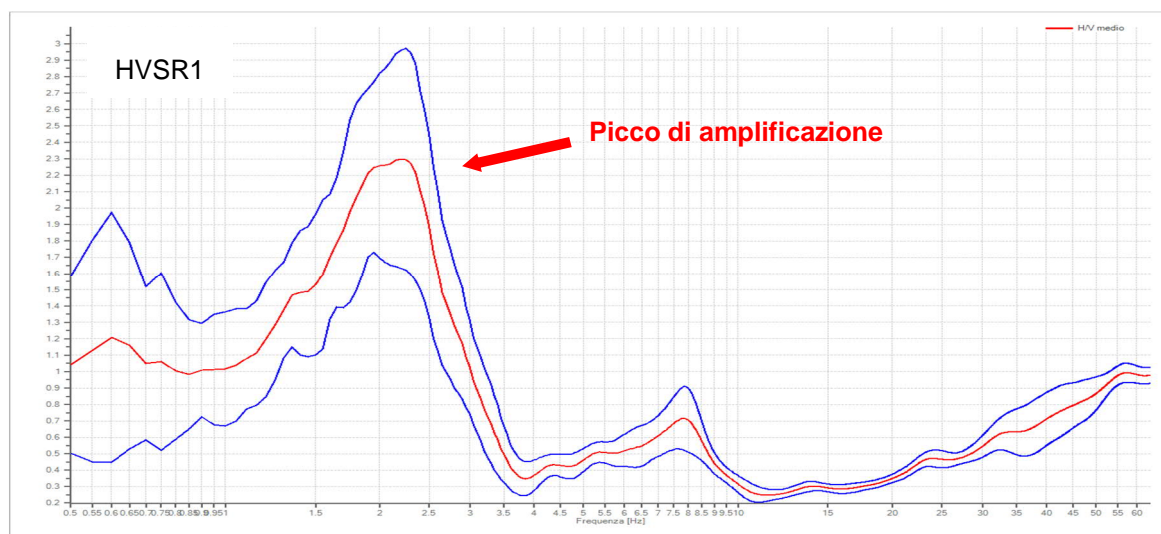
PROGETTO


Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

Al fine di valutare tale rischio è, pertanto, necessario considerare se la frequenza di risonanza fondamentale del fabbricato oggetto d'intervento corrisponda con uno dei picchi di risonanza del terreno di fondazione evidenziati con l'indagine mediante tromografo.

In Figura 18 si possono osservare le curve H/V relative alle prove HVSR effettuate ed i loro picchi principali. In Tabella 6 vengono riportati i valori di frequenza dei picchi principali espressi in Hz ed il periodo espresso in s.

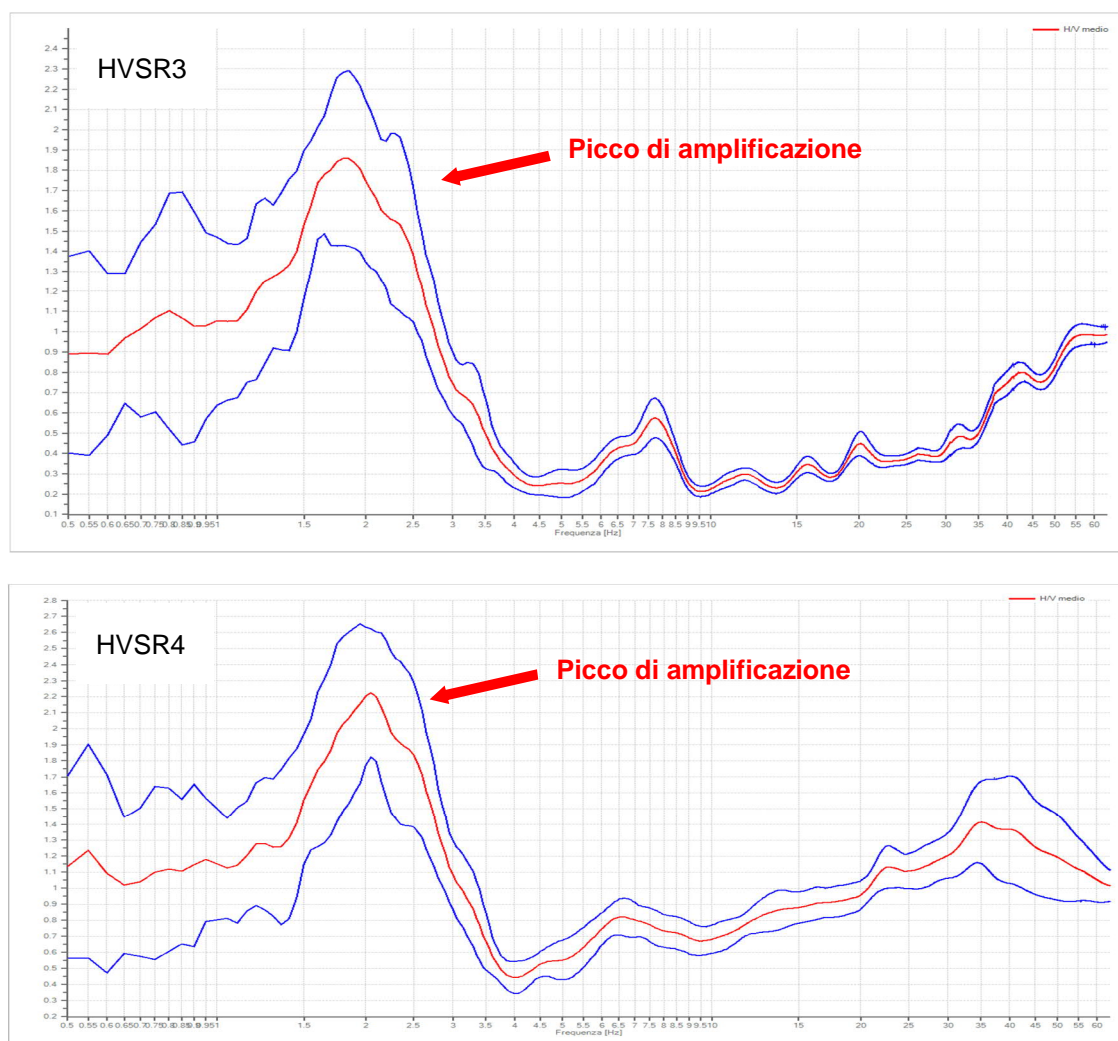


 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	36 di 66

PROGETTO


Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

**FIGURA 18 – ELABORAZIONE DELLE MISURE REGISTRATE DEL TROMOGRAFO: RAPPORTO SPETTRALE H/V**

Prova HVS	Frequenza picco [Hz]	Periodo picco [s]
HVS1	2.15	0.47
HVS2	2.30	0.43
HVS3	1.85	0.54
HVS4	2.05	0.49

TABELLA 6 – VALORI DI FREQUENZA E PERIODO DEI PICCHI DI AMPLIFICAZIONE DELLE PROVE HVS

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	37 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

5. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

5.1. MODELLO GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO

La valutazione della risposta sismica locale richiede un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- ✓ litologia;
- ✓ velocità delle onde sismiche di taglio (V_s);
- ✓ curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) in funzione della deformazione e densità in situ.


Tale modellazione va spinta in profondità fino a raggiungere il *bedrock* sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità $V_s > 800$ m/s, oppure un passaggio tra due materiali caratterizzato da elevato contrasto di impedenza sismica.

5.1.1. Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati i dati della stratigrafia del sondaggio a carotaggio continuo spinto fino a 40 m S1-2011 (All.1 a corredo della relazione geologica) partendo da una quota di -3.60 m da p.c., quota dove si intestano i pali di fondazione. In Figura 19 si riporta la schematizzazione del sondaggio.

La semplificazione stratigrafica utilizzata nell'analisi per la definizione del modello geofisico del sottosuolo è la seguente (considerando come citato sopra che il p.c. dell'analisi coincide con quota -3.60 m):

- Da p.c. a -17.50 m: argilla;
- Da -17.50 m a -23.80 m: ghiaia;
- Da -23.80 m a -27.70 m argilla;
- Da -27.70 m: *bedrock* sismico.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	38 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

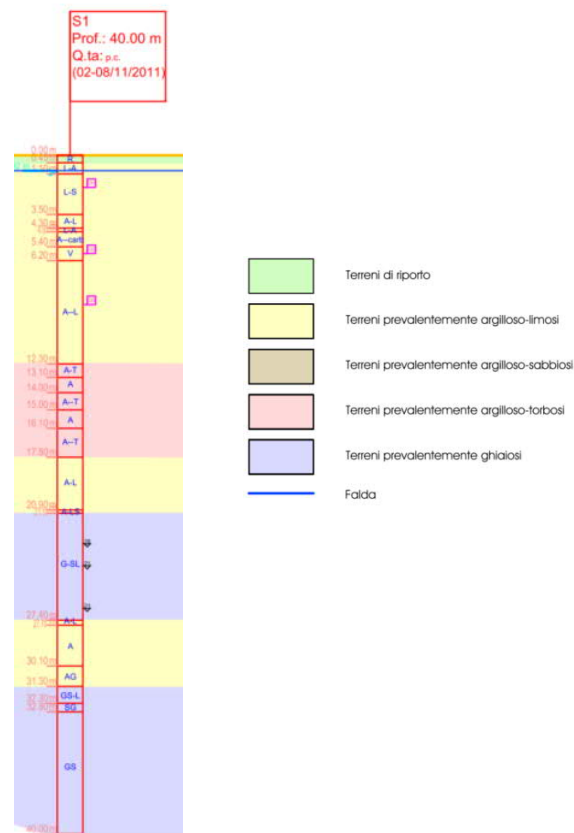


FIGURA 19 – RAPPRESENTAZIONE SONDAGGIO S1-2011


5.1.2. Determinazione della Vs e bedrock sismico

Per quanto riguarda la velocità delle onde S si è fatto riferimento alle misure della prova diretta Down-Hole effettuata durante la campagna indagini 2018, adattandola ai passaggi litostratimetrici rilevati durante il sondaggio S1-2011.

Sebbene in sito nel 2011 era stata inoltre effettuata anche una prova MASW, come descritto nel paragrafo 2.1 e in All. 1, che aveva raggiunto una profondità di 30 m da p.c., per la determinazione della Vs ai fini degli studi sismici, si è preferito ricorrere ai risultati della prova diretta DH del 2018, in quanto ritenuti più affidabili in profondità. Per quanto concerne gli strati superficiali i risultati delle prove sono pressochè identiche.

La definizione del *bedrock* sismico, cioè del sismostrato che presenta velocità delle onde di taglio $V_s \geq 800$ m/s, costituisce un elemento di notevole importanza nell'ambito delle valutazioni di risposta sismica locale.

In realtà oggi si tende ad individuare il *bedrock* sismico, soprattutto in pianura, in corrispondenza di un elevato contrasto di impedenza sismica, cioè laddove il rapporto tra le velocità dello strato superficiale e quello più profondo supera il valore di 2-2.5, anche se il valore di Vs non supera gli 800 m/s.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	39 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

Nel caso in esame, il banco ghiaioso rilevato con sondaggio S1-2011 alla profondità di -31.30 m da p.c. (quota di -27.70 m da p.c. nel modello escludendo i primi 3.60 m), con uno spessore di circa 10 m presenta una velocità di circa 630 m/s, pertanto si è deciso di considerare questo strato come bedrock sismico.

Mediante il processo sopra descritto si giunge alla discretizzazione della V_s in funzione della profondità, sinteticamente illustrata in Figura 20.

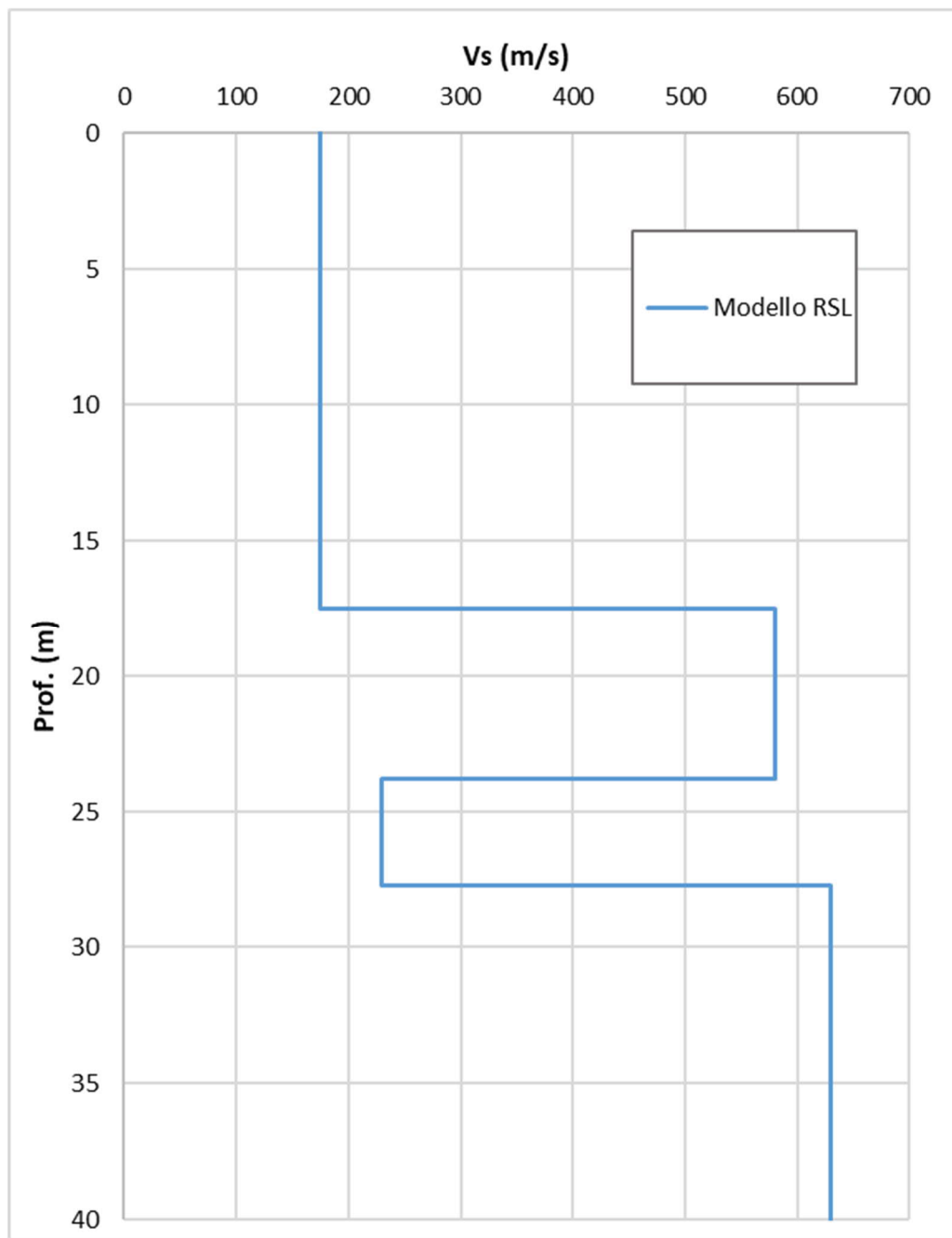



FIGURA 20 - DISCRETIZZAZIONE DELLA V_s E MODELLO ADOTTATO

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	40 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

5.1.3. Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G₀) in funzione della deformazione

Per la valutazione delle curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G₀) in funzione della deformazione di taglio γ , sono state realizzate n°2 prove di laboratorio in colonna risonante sui campioni prelevati nel corso del sondaggio a carotaggio continuo in cui è stata effettuata la prova Down-Hole durante la campagna indagine 2018.

Tali prove hanno fornito dati sperimentali che hanno consentito di definire le leggi di variazione dei parametri D e G/G₀ mediante il modello iperbolico di Yokota (1981).

Le leggi di variazione proposte da Yokota sono le seguenti:

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha \gamma^\beta}$$

$$D = \eta e^{\left[-\lambda \frac{G}{G_0}\right]}$$

Dove:

G/G₀ = modulo di taglio normalizzato


D = rapporto di smorzamento

γ = deformazione di taglio

α , β , η , λ = parametri sperimentali del modello

Il fit dei dati sperimentali alle funzioni sopra descritte è stato effettuato con il metodo dei minimi quadrati (X²).

In Figura 21 è riportato un grafico esemplificativo della procedura di normalizzazione utilizzata per il campione S1C14.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	41 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

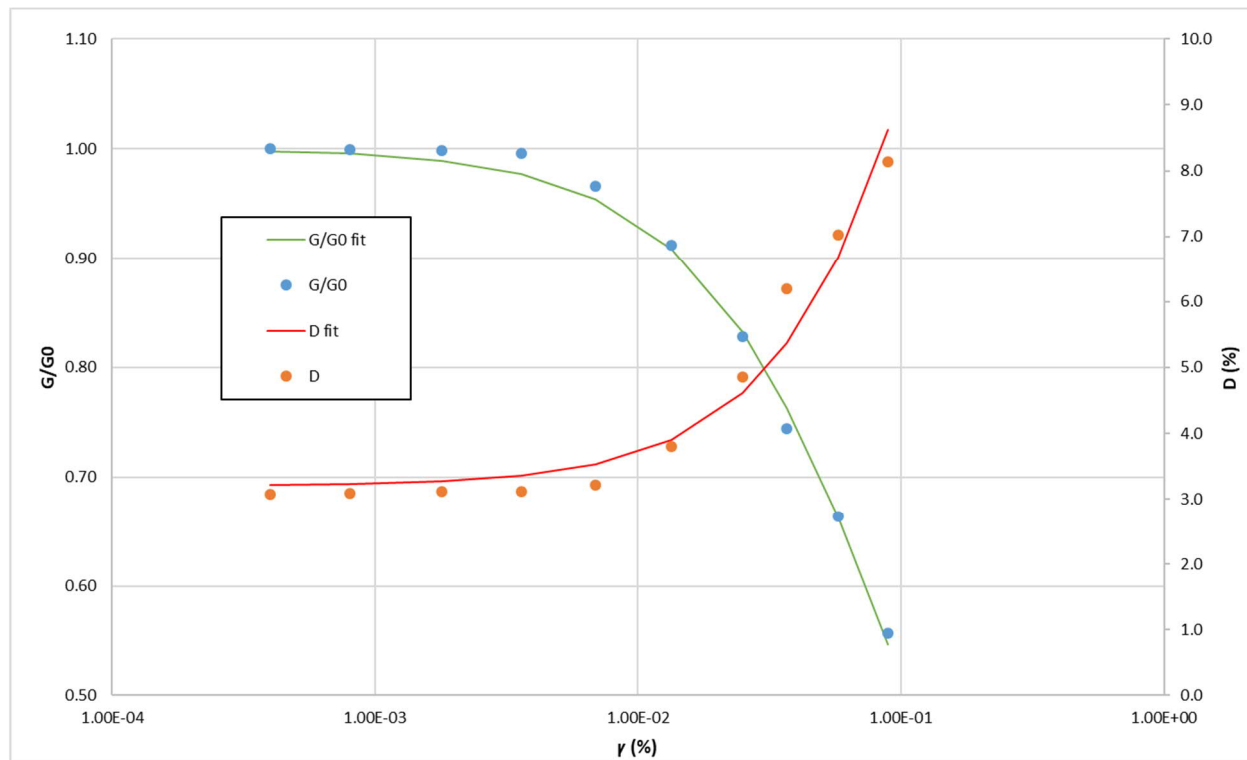


FIGURA 21 – GRAFICO DEI DATI SPERIMENTALI E DELLE CURVE DI INTERPOLAZIONE PER IL CAMPIONE S1CI4

In Tabella 7 sono riportati i risultati sintetici relativi ai parametri sperimentali.


Camp.	Prof. (m)	litologia (UNI)	Parametri curve G/G0 e D					
			prova	G_0 (MPa)	α	β	η	λ
S1CI2	8.10-8.60	Limo con argilla	RC	30.36	53.98	1.60	20.25	1.96
S1CI4	17.90-18.40	Argilla con limo	RC	33.4	12.12	1.10	28.49	2.19

TABELLA 7 – RIEPILOGO DELLE PROVE IN COLONNA RISONANTE

Per i terreni ghiaiosi sono state utilizzate curve G/G0 e D di letteratura per terreni consimili nell'intorno dell'area oggetto di studio (Tabella 8).

Camp.	Prof. (m)	litologia (UNI)	Parametri curve G/G0 e D					
			prova	G_0 (MPa)	α	β	η	λ
letteratura		Ghiaia - Rollins			21.55	0.8	14.7	3.08

TABELLA 8 – RIEPILOGO PARAMETRI FONDAMENTALI CURVE DA LETTERATURA

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	42 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

Sulla base della distribuzione delle velocità si è ritenuto corretto semplificare il modello di risposta sismica locale individuando un solo orizzonte coesivo superficiale, durante l'analisi si è scelto quindi di utilizzare la sola curva ottenuta da colonna risonante che riguarda il campione CI4.

Di seguito si riportano i grafici delle curve utilizzate durante analisi RSL.

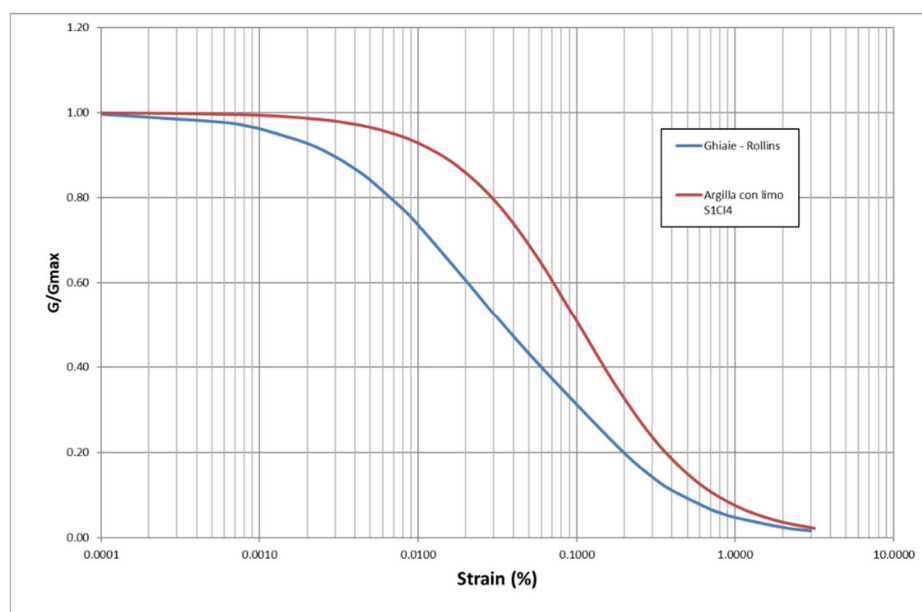


FIGURA 22 – GRAFICO DELLE CURVE DI INTERPOLAZIONE G/G_0 PER TUTTI I TERRENI DEL MODELLO

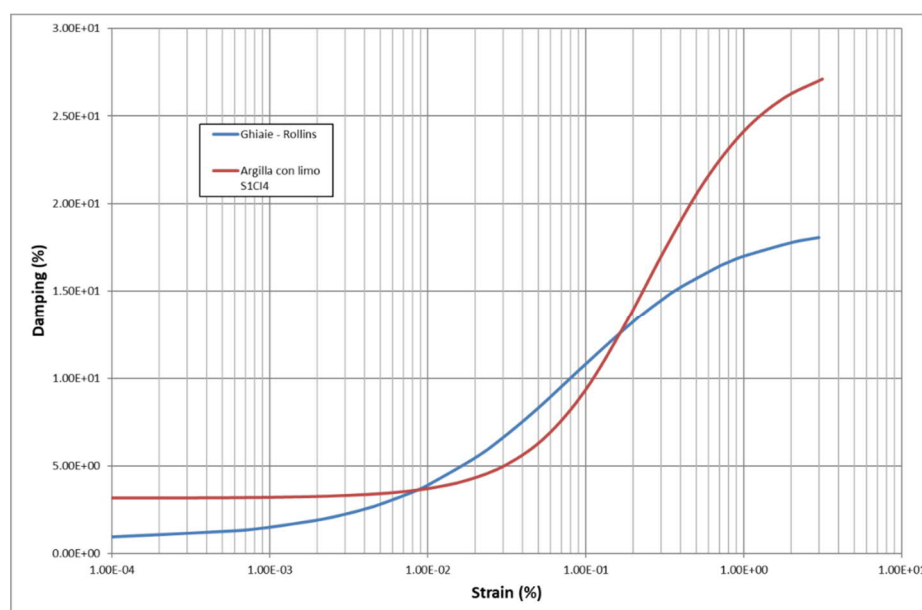



FIGURA 23 - GRAFICO DELLE CURVE DI INTERPOLAZIONE D PER TUTTI I TERRENI DEL MODELLO

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	43 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

5.1.4. Descrizione del modello

Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche del sondaggio a carotaggio continuo effettuato nel 2011 è stato costruito il modello nel programma LSR2D, la cui rappresentazione è riportata in Tabella 9, contenente anche le caratteristiche meccaniche dei singoli strati.

Il modello rappresentato in seguito è privato dei primi 3.60 m da p.c.; questa scelta è stata presa sulla base della quota dove si intestano i pali di fondazione, volendo studiare in particolar modo cosa avviene a tale profondità.




<u>Descrizione</u>	<u>Profondità (m da p.c.)</u>	<u>γ (kN/m³)</u>	<u>V_s (m/s)</u>	<u>Curva decadimento</u>
Argilla	17.50	18.50	175	S1Cl4
Ghiaia	23.80	21.00	580	Rollins
Argilla prof.	27.70	19.20	230	S1Cl4
Bedrock			630	

TABELLA 9 – MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO E CARATTERISTICHE MECCANICHE STRATI

Il modello FEM viene ottenuto mediante una discretizzazione con elementi finiti piani a quattro nodi del dominio (maglia quadrangolare). Il passo della mesh adottato è stato 0.5 m.

Le analisi della risposta sismica locale sono state effettuate per 2 stati limite, lo Stato Limite per la salvaguardia della vita (SLV) e lo Stato Limite di Danno (SLD). Per ognuno di questi, nel paragrafo 5.4 sono riportati i risultati ottenuti.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	44 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

5.2. AZIONI SISMICHE IN INGRESSO

Una volta definite le caratteristiche sismogenetiche del sito, per la scelta degli accelerogrammi naturali di riferimento si è utilizzato il programma REXEL³, che consente di individuare un numero a scelta di accelerogrammi spettro compatibili con il sito di riferimento.

Sebbene le NTC2018 non forniscano indicazioni per quanto riguarda il numero di accelerogrammi da utilizzare per la RSL, in accordo con le indicazioni fornite per le analisi dinamiche con integrazione al passo (Cap. 7.3.5 delle NTC) si è scelto di utilizzare 7 accelerogrammi

La ricerca è stata fatta, mediante REXEL nel database European Strong-Motion Data⁴

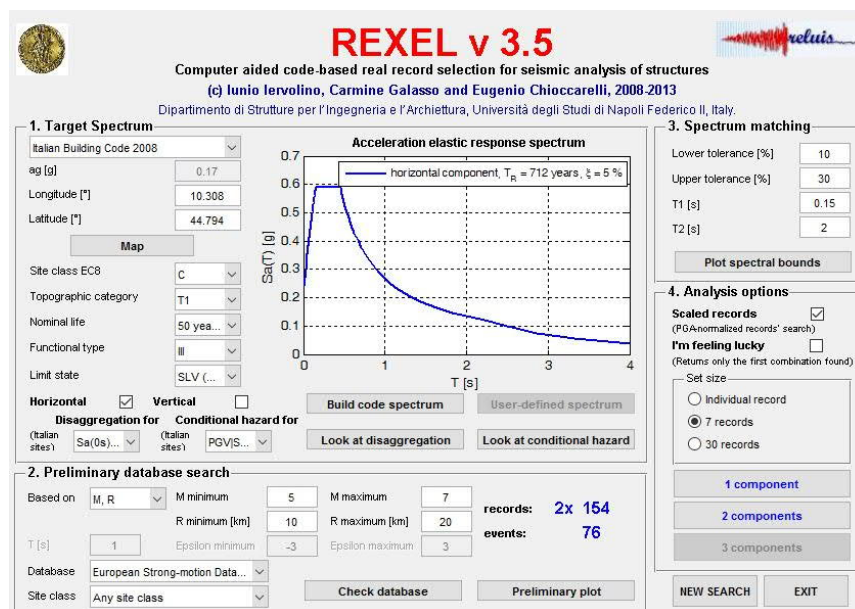



FIGURA 24 – SCHERMATA DI IMPOSTAZIONE DELLA RICERCA DEI SISMI CON REXEL PER LO STATO LIMITE SLV

³ Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E. (2010) "REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8:339-362, 2010 DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

⁴ Ambraseys, N., Smit, P., Sigbjornsson, R., Suhadolc, P. and Margaris, B. (2002) "Internet-Site for European Strong-Motion Data", *European Commission, Research-Directorate General, Environment and Climate Programme*

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	45 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

Lo studio di risposta sismica locale è stato effettuato analizzando la risposta in 2 stati limite, lo Stato Limite di Danno, SLD e lo Stato Limite di salvaguardia della Vita, SLV. La ricerca ha fornito 7 sismi caratteristici per ogni stato limite.

I 7 accelerogrammi ottenuti e le loro caratteristiche principali sono riportati in Tabella 10 e Tabella 11.


	Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]
SLV1	147	65	ST28	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	Thrust	14	1.3841	2.3189
SLV2	230	108	ST73	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	Strike slip	5	7.2947	8.218
SLV3	592	286	ST221	Umbria Marche	26/09/1997	6	Normal	5	1.951	2.1834
SLV4	592	286	ST221	Umbria Marche	26/09/1997	6	Normal	5	1.951	2.1834
SLV5	1714	474	ST1258	Ano Liosia	07/09/1999	6	Normal	14	2.3842	2.1588
SLV6	6349	2142	ST2558	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	Strike slip	5	7.2947	8.218
SLV7	7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	Strike slip	14	5.0514	2.9178

TABELLA 10 – IDENTIFICAZIONE DEI TERREMOTI DI RIFERIMENTO ESTRATTI MEDIANTE REXEL (SLV)

	Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]
SLD1	133	63	ST33	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	9	1.0686	0.9324
SLD2	558	267	ST214	Pyrgos	26/03/1993	5.4	oblique	10	1.4244	4.2563
SLD3	133	63	ST33	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	9	1.0686	0.9324
SLD4	6134	2077	ST126	Off coast of Levkas island	31/01/1995	4.1	?	8	0.0434	0.051
SLD5	6134	2077	ST126	Off coast of Levkas island	31/01/1995	4.1	?	8	0.0434	0.051
SLD6	5653	1825	ST2949	NE of Banja Luka	13/08/1981	5.7	oblique	7	4.3397	3.9657
SLD7	591	290	ST221	Umbria Marche	26/09/1997	5.7	normal	3	3.3818	2.5586

TABELLA 11 - IDENTIFICAZIONE DEI TERREMOTI DI RIFERIMENTO ESTRATTI MEDIANTE REXEL (SLD)

Inoltre, il programma ha permesso di verificare la spettro-compatibilità degli accelerogrammi, a titolo di esempio per lo stato limite SLV è riportata in Figura 25.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	46 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

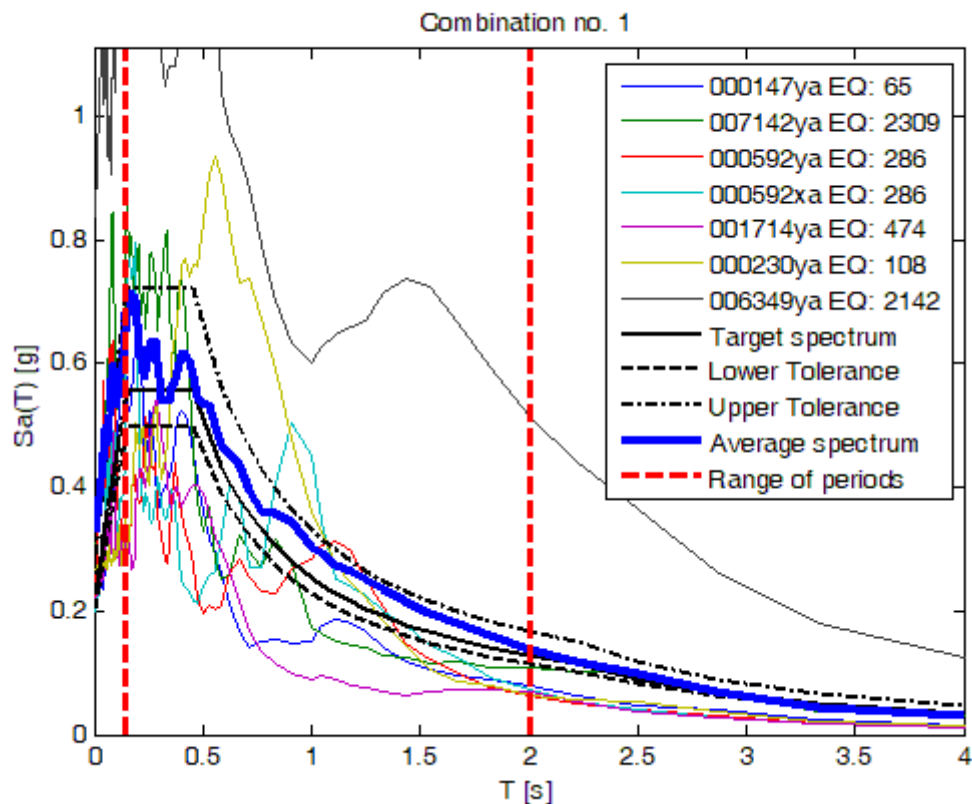



FIGURA 25 – DIMOSTRAZIONE DELLA SPETTRO-COMPATIBILITÀ DEGLI ACCELEROGRAMMI SELEZIONATI PER LO STATO LIMITE SLV

5.3. PROCEDURA DI ANALISI RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5 di STACEC.

Il codice di calcolo LSR2D consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e tenendo conto della deformabilità del substrato.

Qualora la stratigrafia in esame non presenti problematiche di carattere bidimensionale, come nel caso in esame, è comunque possibile studiare il problema monodimensionale grazie ad una discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	47 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

5.3.1. Metodo lineare equivalente

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.


In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Figura 26. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$$

dove:

- G = Modulo di taglio;
- η = viscosità del mezzo;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	48 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

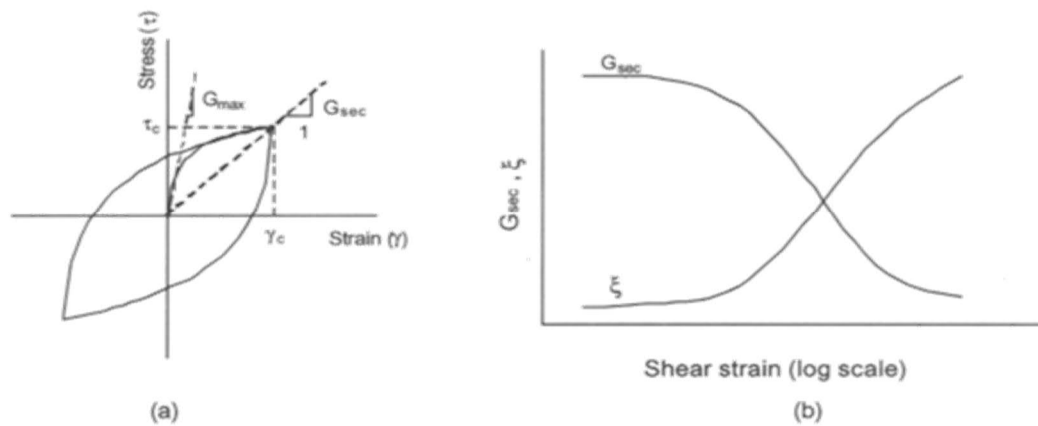


FIGURA 26 - MODELLO LINEARE EQUIVALENTE: (A) CURVE TENSIONI - DEFORMAZIONI; (B) VARIAZIONE DEL MODULO.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Figura 26. Il modulo di taglio equivalente, G , è preso considerando il modulo di taglio secante G_s .

È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

La curva $G_s - \gamma$ non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva $\tau - \gamma$ e sussiste la seguente relazione:


$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento D , definito come:

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

dove:

- ΔW^{dissp} = quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;
- W^{max} = massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico;

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	49 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Figura 26b).

5.3.2. Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell'i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (Figura 27) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Ma_g$$

dove:

M = matrice di massa del sistema;

C = matrice di smorzamento del sistema;

K = matrice di rigidezza del sistema;

\ddot{u}, \dot{u}, u = rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;


a_g = vettore di accelerazione alla base;

Tale equazione vale per ogni istante di tempo t_n e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento velocità ed accelerazione per ogni t_n viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}\dot{u}_n &= \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n] \\ u_n &= u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]\end{aligned}$$

dove:

Δt = incremento temporale tra l'istante di tempo t_n e $t_n - 1$;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	50 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

β = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;

γ = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50;

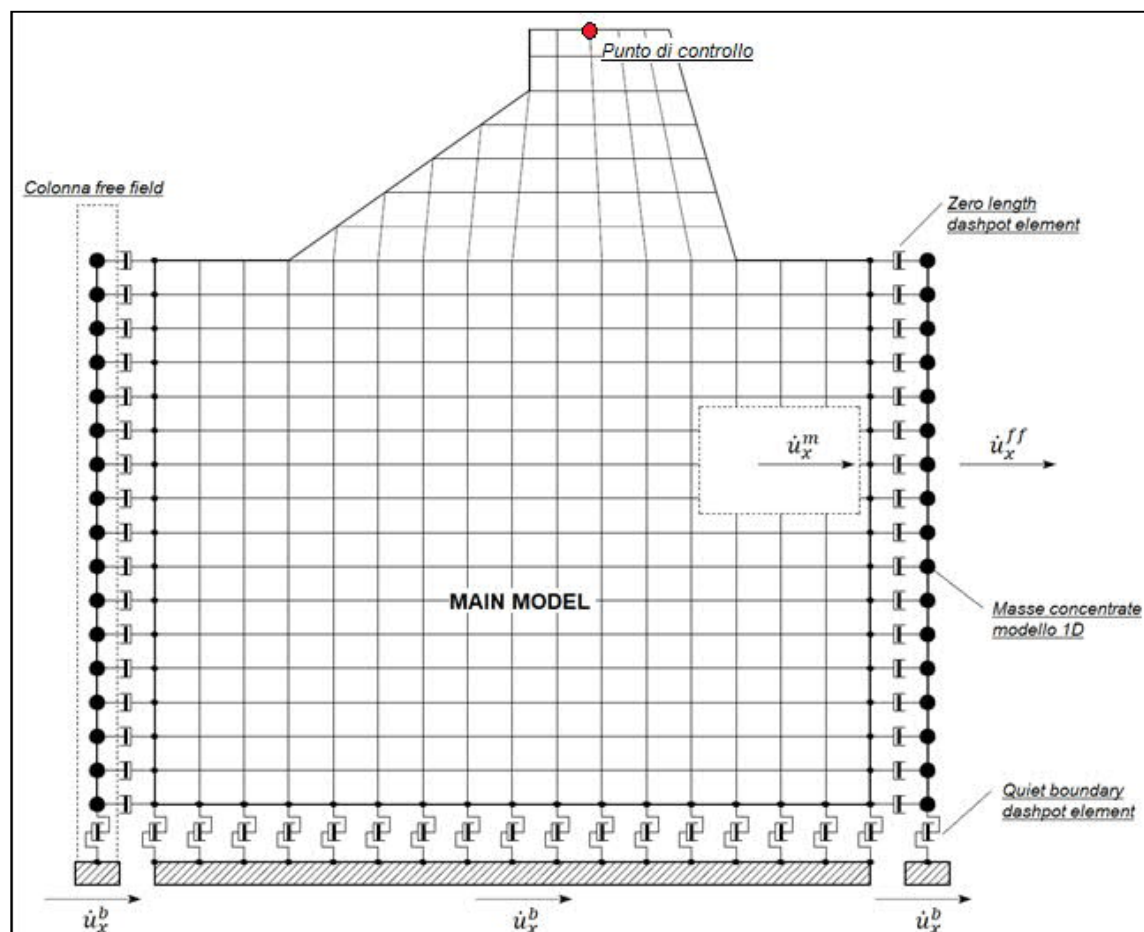


FIGURA 27 - DISCRETIZZAZIONE FEM DEL TERRENO.

○ Smorzamento

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$C_q = \alpha_q M_q + \beta_q K_q$$

dove:

- α_q e β_q = coefficienti di smorzamento alla Reyleigh;

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

Tali coefficienti vengono ottenuti a partire dal rapporto di smorzamento viscoso del singolo elemento e dalla relazione seguente:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

da cui si ottiene (Hudson, 1994):

$$D_q = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_q}{\omega} + \beta_q \omega \right)$$

dove:

- ω_1 = frequenza naturale del primo modo del deposito;
- $\omega_2 = n * \omega_1$ con $n = \omega_i / \omega_1$ (approssimato all'intero pari più grande) e ω_i frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione di bedrock;

5.3.3. Procedimento iterativo


La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico, è il seguente:

1. definizione di curve $G = G(\gamma)$ e $D = D(\gamma)$ per i diversi strati;
2. inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni (G_0 e D_0);
3. calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato (γ_1);
4. aggiornamento dei valori $G_1 = G(\gamma_1)$ e $D_1 = D(\gamma_1)$;
5. iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ($\gamma_i - 1 \sim \gamma_i$).

5.3.4. Interpretazione dei risultati

Il risultato della procedura iterativa sopradescritta non è altro che la storia temporale di accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM.

Tuttavia, dal punto di vista ingegneristico è interessante monitorare la risposta in termini di accelerazione in superficie in corrispondenza di uno o più punti di controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	52 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

5.4. ANALISI DEI RISULTATI

I risultati delle modellazioni effettuate sono state espresse in termini di:

- ✓ Serie temporali in accelerazione;
- ✓ Spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione in superficie.

5.4.1. Serie temporali

Le serie temporali in accelerazione (accelerogrammi) in output costituiscono la modifica dei segnali originali in input in funzione delle caratteristiche del terreno.

Le serie rappresentate in Figura 28 e Figura 29, rispettivamente per SLV e SLD, sono relative alla quota 0 del modello nonché -3.60 m da p.c. nella realtà, volendo analizzare nel dettaglio cosa avviene alla quota di imposta della fondazione.

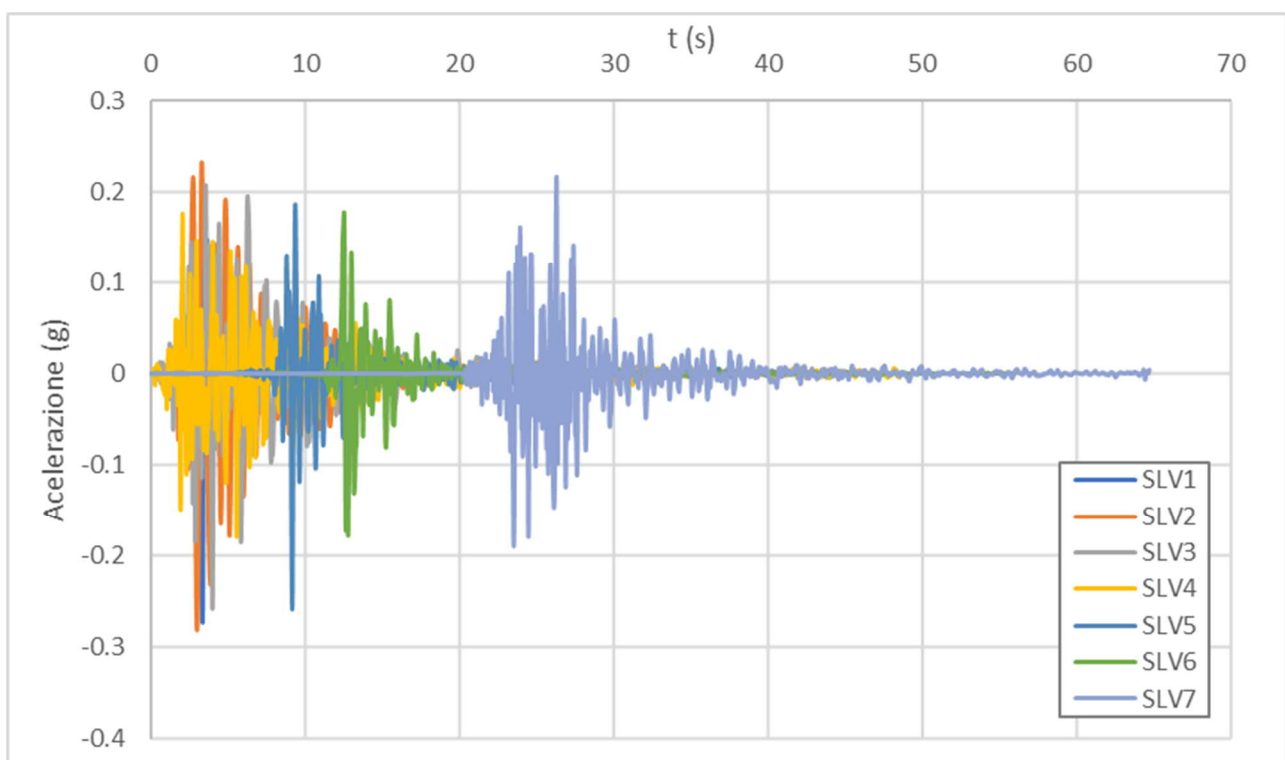



FIGURA 28 - SERIE TEMPORALI DI OUTPUT PER SLV

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	53 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

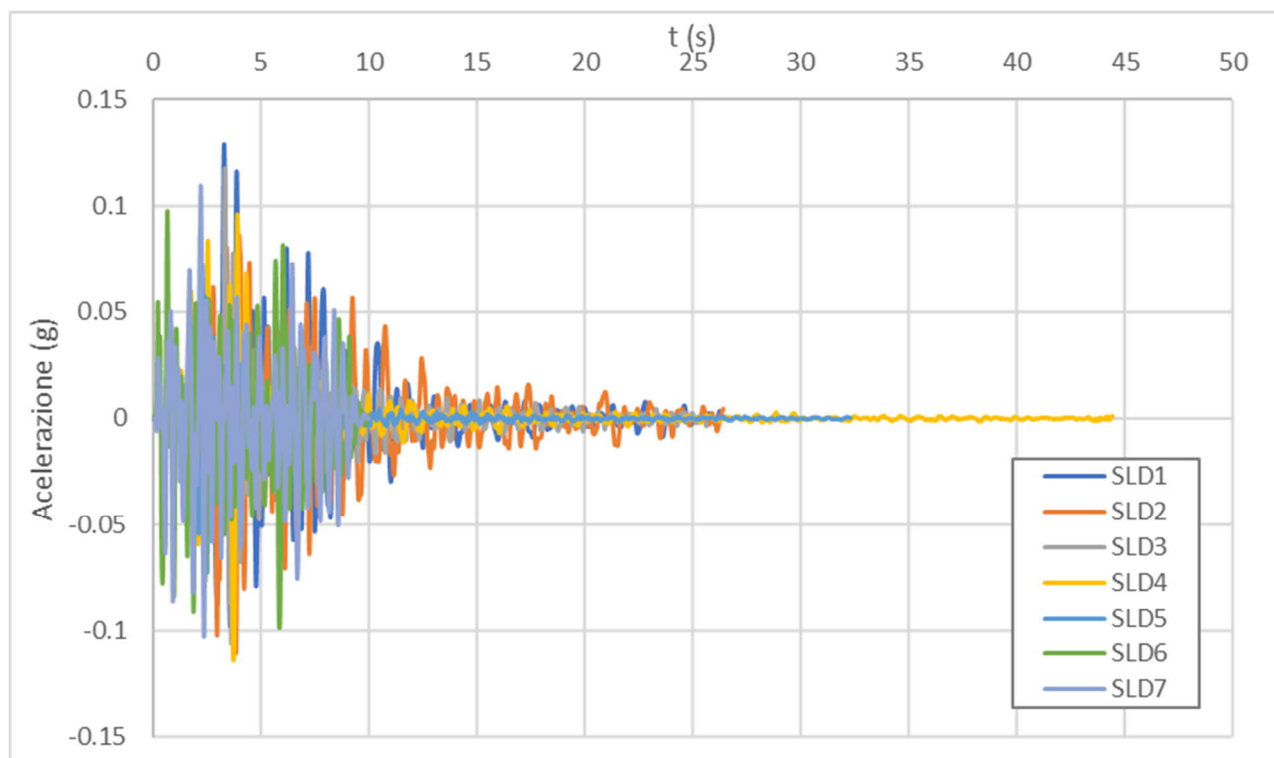


FIGURA 29 - SERIE TEMPORALI DI OUTPUT PER SLD

5.4.2. Spettri di risposta elastici in superficie

I dati di maggior interesse per la progettazione sono gli spettri di risposta elastici in pseudoaccelerazione, ricavati per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%.

Si precisa che gli spettri risposta sono stati calcolati alla quota di imposta delle fondazioni pari a -3.60 m da p.c.

Lo spettro di risposta è stato calcolato in corrispondenza della verticale S1-2011 ed è ottenuto come media degli spettri dei singoli accelerogrammi, come illustrato a titolo esemplificativo in Figura 30 in SLV, in cui sono rappresentati tutti i segnali utilizzati, indicati in grigio, oltre alla curva rappresentante il valore medio indicata in rosso.

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

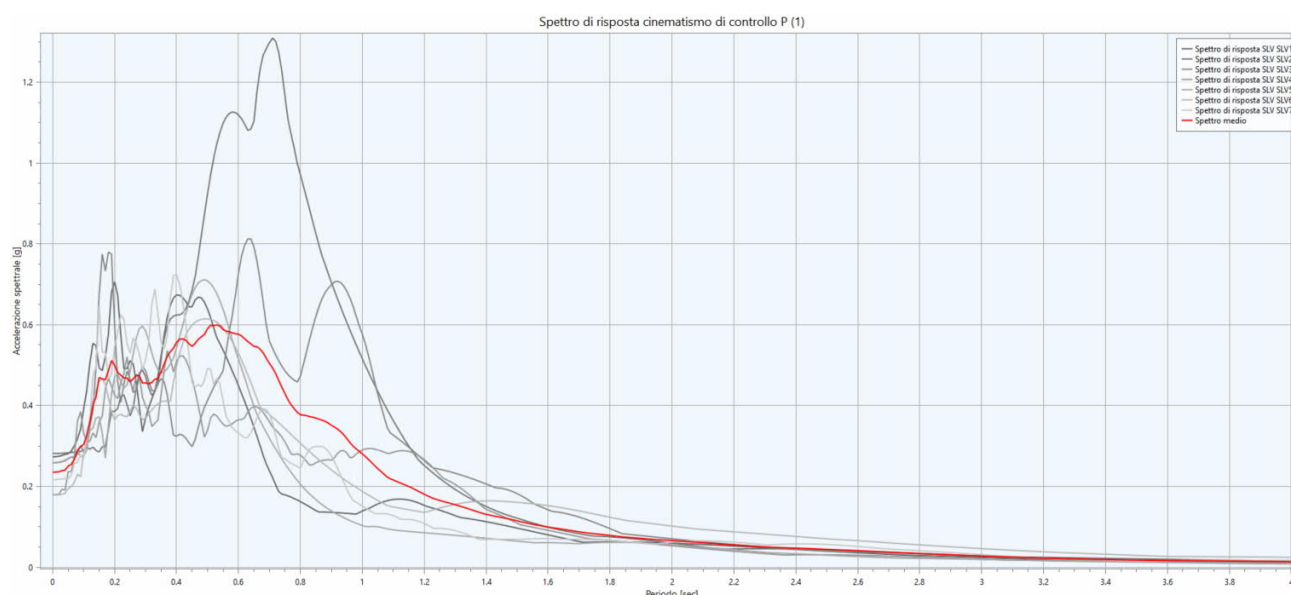



FIGURA 30 – SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN ACCELERAZIONE PER LA VERTICALE - SLV

In Figura 31 viene rappresentata la sovrapposizione tra i valori mediani degli spettri derivanti dall'analisi di risposta sismica locale e lo spettro semplificato da normativa per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita. Il confronto è effettuato con lo spettro calcolato per tempi di ritorno di 712 anni per la classe di sottosuolo C, che rappresenta lo spettro di riferimento del sito oggetto di studio in caso di analisi semplificata.

Come si può constatare lo spettro semplificato di Classe C appare cautelativo, tranne che nel tratto compreso tra 0.40 e 1.05 secondi.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	55 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

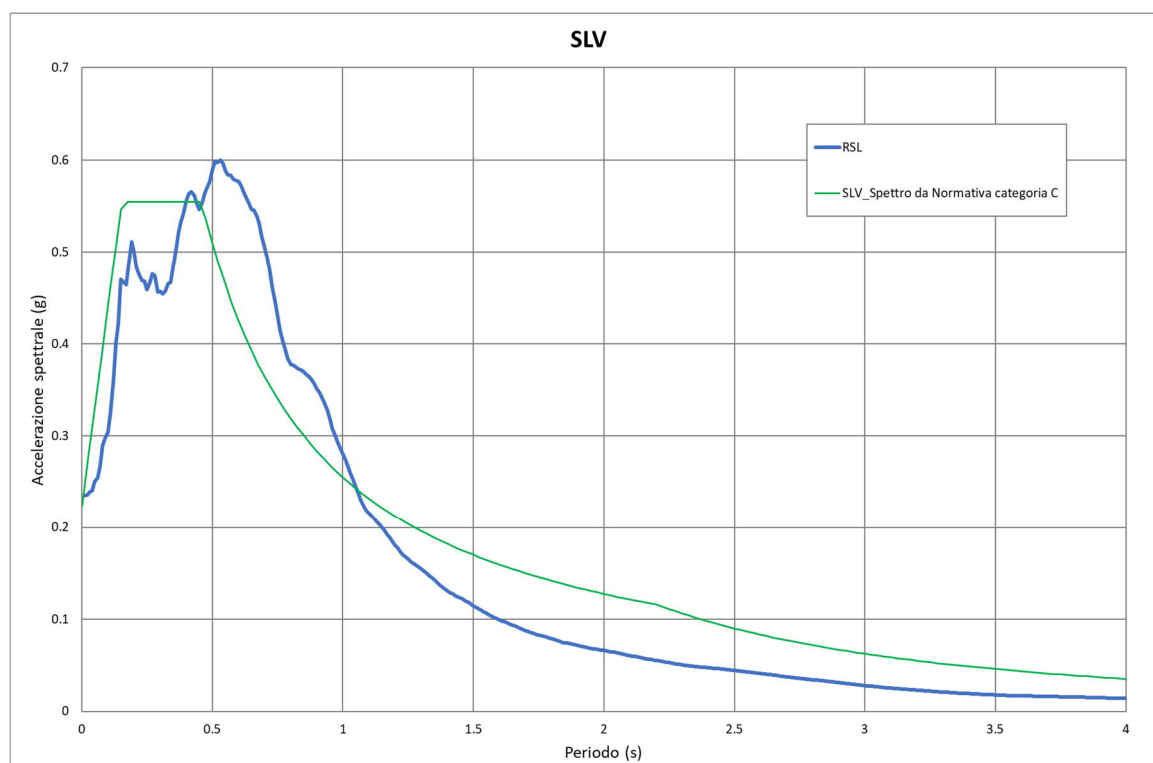



FIGURA 31 – VALORI MEDIANI DELLO SPETTRO ELASTICO DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE CONFRONTATO CON LO SPETTRO SEMPLIFICATI DI NORMATIVA C CALCOLATO PER $T_r=712$ ANNI

In Figura 32 è invece rappresentata la sovrapposizione tra i valori mediani degli spettri derivanti dall'analisi di risposta sismica locale e lo spettro semplificato da normativa per lo Stato Limite di Danno. In particolare il confronto è effettuato con lo spettro calcolato per tempi di ritorno di 75 anni per la classe di sottosuolo C in caso di analisi semplificata.

Come si può constatare, a differenza dello spettro in SLD, lo spettro semplificato relativo alla Classe C non appare cautelativo, infatti, nei tratti compresi tra 0.20 e 0.85, presenta accelerazioni maggiori.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	56 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

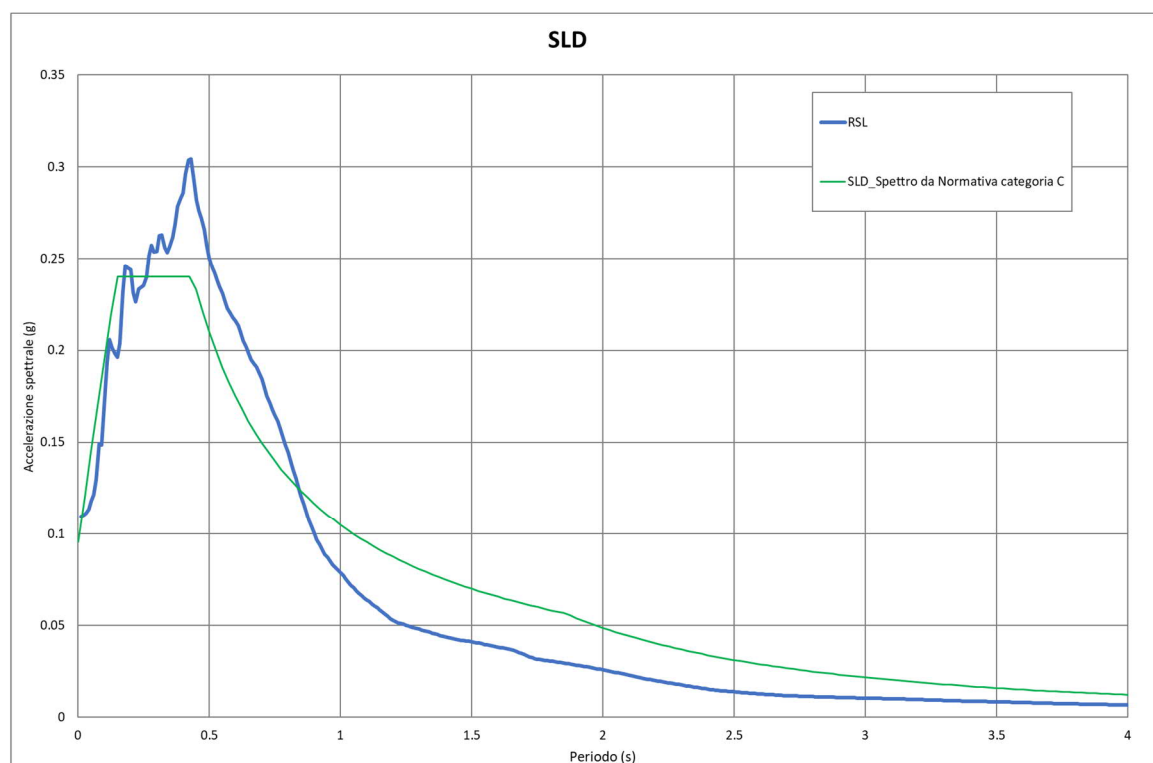


FIGURA 32 - VALORI MEDIANI DELLO SPETTRO ELASTICO DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE CONFRONTATO CON GLI SPETTRI SEMPLIFICATI DI NORMATIVA C CALCOLATO PER $T_R=75$ ANNI

5.4.3. Spettri di risposta normalizzati


Le verifiche progettuali delle strutture richiedono anche i parametri espressi secondo i parametri di normativa (a_g , F_0 , T_B , T_C , T_C^* , T_D , C_C , S , η); per questo motivo, è necessario dapprima normalizzare lo spettro elastico ricavato dalla risposta sismica locale.

Considerato che la procedura di normalizzazione dello spettro non è prevista dalle NTC 2018 si sono seguite le indicazioni fornite dalle Ordinanze P.C.M N° 24 del 12/5/2017 e n° 55 del 24/4/2018, modificate per la sola determinazione di T_d^5 con il metodo di Newmak-Hall⁶.

La normalizzazione dello spettro è avvenuta attraverso la seguente metodologia:

⁵ La modifica del valore di T_D si è resa necessaria poiché la formula indicata dalla dalle ordinanze porta ad una evidente sovrastima dello spettro nel tratto tra T_C e T_D .

⁶ Newmark NM, Hall WJ, Earthquake Spectra and Design, EERI Monograph Series, 1982.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	57 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

- a) Dallo spettro in pseudoaccelerazione calcolato con la RSL (SA) si determina il periodo proprio (TA) per il quale è massimo il valore dello stesso;
- b) Si calcola il valore medio dello spettro (SA_m) nell'intorno di TA tra 0.5 TA e 1.5 TA. Questo valore viene assunto come valore costante del tratto ad accelerazione costante dello spettro standard:

$$SA_m = \int_{0.5TA}^{1.5TA} SA(T) dT$$

- c) Si determina lo spettro di pseudovelocità (SV) a partire da quello di accelerazione, moltiplicando le ordinate spettrali di quest'ultimo per l'inverso della corrispondente frequenza circolare $\omega = 2\pi/T$:

$$SV(T) = SA(T) * \frac{T}{2\pi}$$

e quindi si individua il periodo (TV) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudovelocità;

- d) Si calcola il valore medio dello spettro (SV_m) nell'intorno di TV tra 0.8 TV e 1.2 TV:

$$SV_m = \frac{1}{0.4 * TV} \int_{0.8TV}^{1.2TV} SV(T) dT$$

- e) Si determina il periodo in corrispondenza del quale si incontrano i due rami dello spettro ad accelerazione costante e velocità costante:

$$T_c = 2\pi * \frac{SV_m}{SA_m}$$

- f) Si determina lo spettro di pseudospostamento (SD) a partire da quello di velocità e quindi si individua il periodo (TD) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudospostamento;
- g) Si calcola il valore medio dello spettro (SD_m) nell'intorno di TD tra 0.8 TD e 1.2 TD:

$$SD_m = \frac{1}{0.4 * TD} \int_{0.8TD}^{1.2TD} SD(T) dT$$


- h) Si calcola il valore di T_D con la formula:

$$T_D = 2\pi * \frac{SD_m}{SV_m}$$

- i) Si determina T_B=1/3*T_C
- j) Si determina il valore di F₀ come rapporto SA_m/a_{max}, dove a_{max} è ricavato dalla seguente equazione:

$$\checkmark \quad a_{max} = \left(\frac{S_e(T=0.01 s)}{SA_m} - \frac{0.01}{T_B} \right) * \left(\frac{SA_m}{1 - \frac{0.01}{T_B}} \right)$$

- k) Si applicano le seguenti equazioni riportate in NTC 2018 (Cap. 3.2.3.2.1) per la determinazione dei tratti dello spettro tra T_A=0, T_B, T_C, T_D, fino a un T di interesse.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	58 di 66

PROGETTO

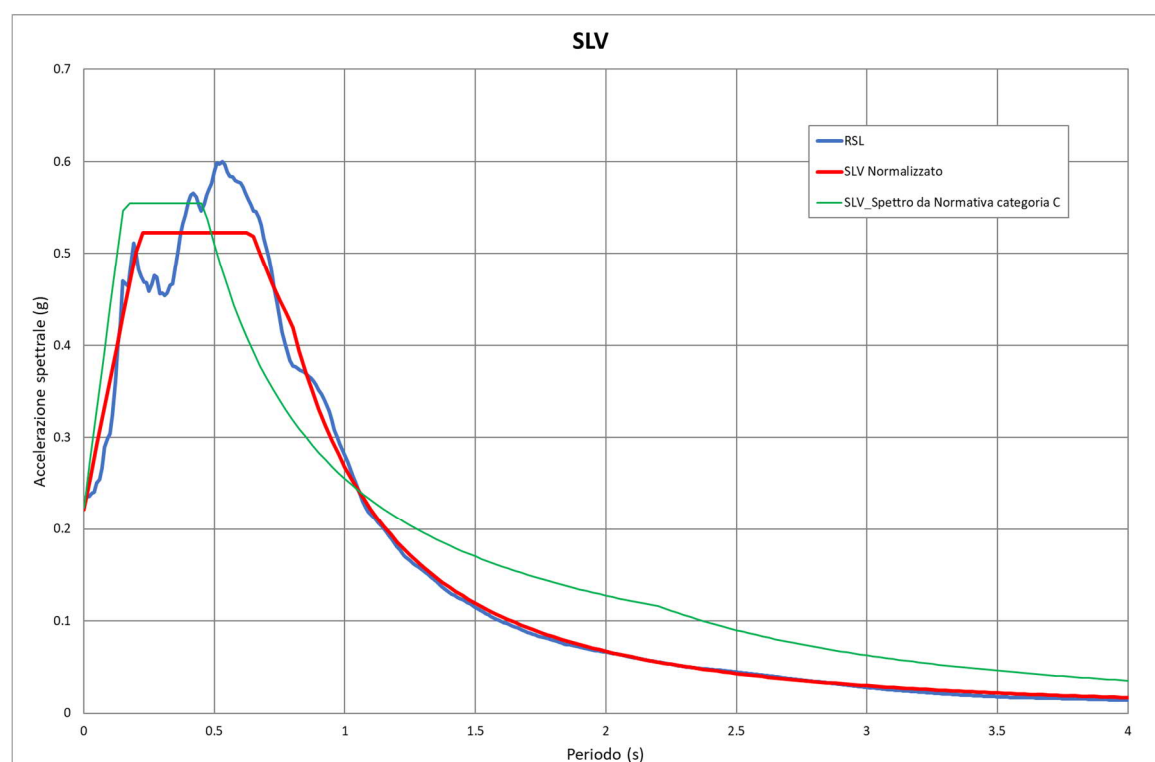
Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$


Nelle successive Figura 33 e Figura 34 viene presentato il risultato della normalizzazione descritta, con la sovrapposizione del grafico dello spettro di risposta elastico derivante dal RSL (valore mediano), e il rispettivo spettro normalizzato.

Nella tabella collegata al grafico vengono rappresentati tutti i parametri fondamentali necessari per l'inserimento nei programmi di calcolo.



Parametri normalizzati								
$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	η	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.221	2.360	0.454	1.000	0.502	0.215	0.645	0.795	1.420

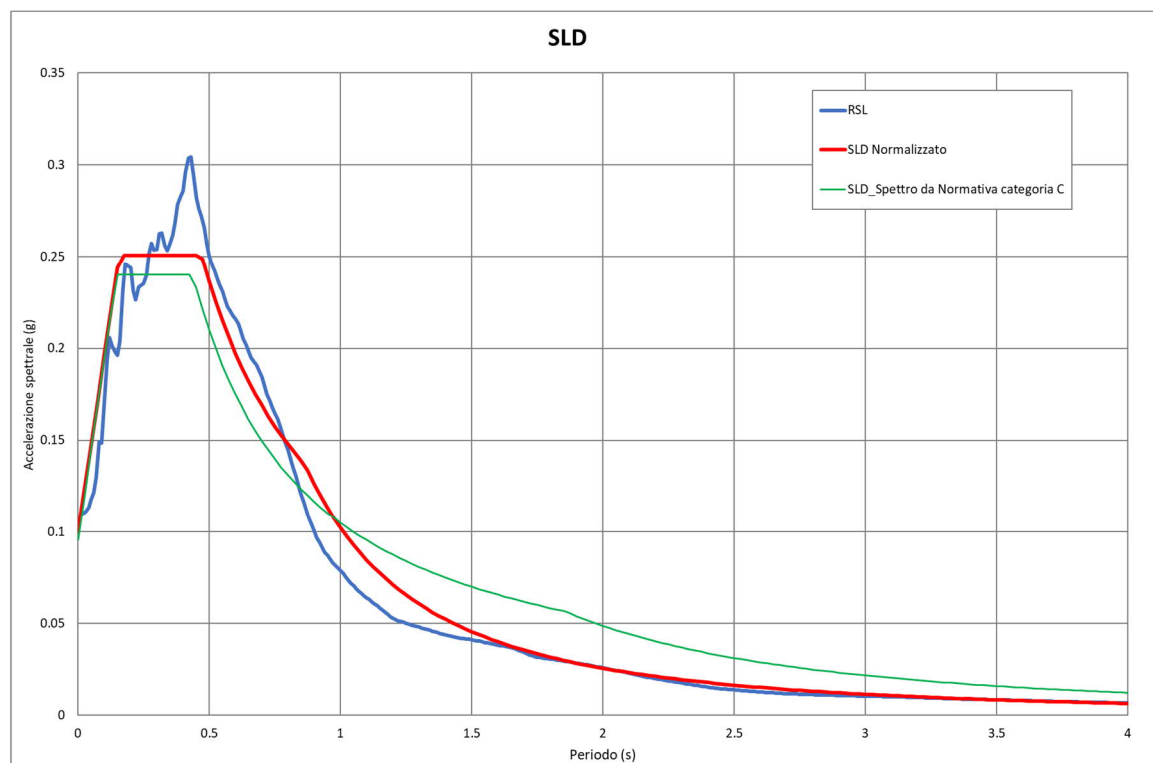
FIGURA 33 – SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICO SLV DA RSL E NORMALIZZATO

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	59 di 66

PROGETTO


Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica



Parametri normalizzati								
$a_{max}(T=0)$	F_o	Tc^*	η	S	Tb	Tc	Td	Cc
0.100	2.508	0.332	1.000	0.244	0.157	0.471	0.865	1.420

FIGURA 34 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICO SLD DA RSL E NORMALIZZATO

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	60 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

6. ANALISI DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE

Nonostante i livelli potenzialmente liquefacibili (argille sabbiose) presentino spessori molto modesti si è deciso di effettuare la verifica del rischio di liquefazione.

Per liquefazione s'intende un processo d'incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, dando luogo a deformazioni permanenti significative.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.


Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove penetrometriche statiche con punta elettrica mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI di *Iwasaki et al.* (1982). L'indice LPI è un parametro di sintesi che, mediante un valore numerico compreso tra 0 e 100, quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto di severità dell'azione sismica, e di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili.

Per poter valutare la severità degli effetti *Iwasaki* ha proposto la scala riportata in Tabella 12.

Valori di LLI	Rischio di liquefazione
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

TABELLA 12 – VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SECONDO *IWASAKI*

Valutazioni più recenti riportate da *Sonmez* (2003), basate su sismi di magnitudo inferiore a quelli utilizzati da *Iwasaki* consigliano tuttavia di rimodulare le classi di pericolosità come riportato in Tabella 13:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	61 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

LPI = 0.00 - Liquefaction risk nul
LPI between 0.00 and 2.00 - Liquefaction risk low
LPI between 2.00 and 5.00 - Liquefaction risk moderate
LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

TABELLA 13 – VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONMEZ

L'indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di prova. Gli effetti bi- e tri-dimensionali sono trascurati. Tale semplificazione può condurre talora a stime errate. In particolare se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, la liquefazione in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso può determinare rottura del terreno e "*lateral spreading*" anche per bassi valori di LPI. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione.

L'indice LPI è definito nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{20} F W(LPIz) dz$$

Dove:

- ✓ $F(z)$ è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità
 $0 \leq z \leq 20$ in funzione del valore che, a quella profondità, assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL
- ✓ $w(z)$ è un fattore di peso della profondità.


In sostanza il rischio di liquefazione tiene conto del fattore di sicurezza calcolato strato per strato, ma ne valuta la significatività su tutto lo spessore del deposito.

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è definito nel modo seguente:

$$FSL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot k_{\sigma}$$

dove:

$CRR_{7.5}$ = Rapporto di resistenza ciclica per $M=7.5$ (*Cyclic Resistance Ratio*)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	62 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

MSF= fattore di scala della magnitudo (*Magnitude Scale Factor*)

K_σ =Fattore di correzione per la pressione di confinamento

CSR = rapporto di tensione ciclica (*Cyclic Stress Ratio*)

Nelle verifiche effettuate nel presente studio, per il calcolo del CRR è stato utilizzato il metodo di Robertson (2009) implementato dal programma CLIQ della *Geologimiki*. In Figura 35 viene presentata, in forma di *flow-chart*, la procedura di calcolo di CRR utilizzata dal programma.

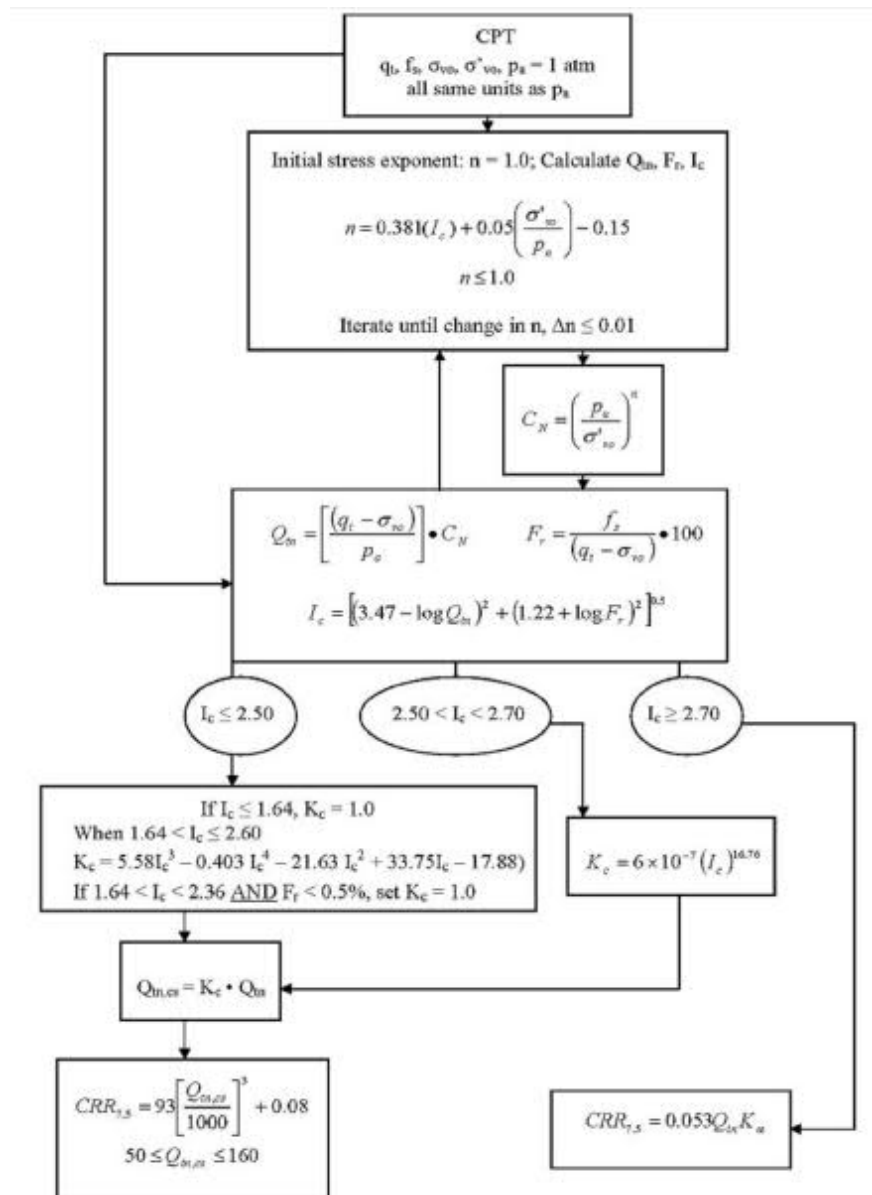



FIGURA 35 - FLOW CHART PROCEDURA DI VERIFICA NCEER MODIFICATA DA ROBERTSON (2009)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	63 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

Per la verifica, oltre ai dati delle prove CPT è necessario fornire al programma l'accelerazione e la magnitudo attese al sito.

Per l'accelerazione è stato utilizzato il valore massimo ricavato durante l'analisi di risposta sismica locale di cui in seguito si riporta il grafico dell'andamento con la profondità (Figura 36) pari a 0.23g; per la magnitudo è stato utilizzato il massimo valore di magnitudo attribuito alla zona 912, che comprende Parma, dalla zonazione sismogenetica ZS9, pari a 6.14.

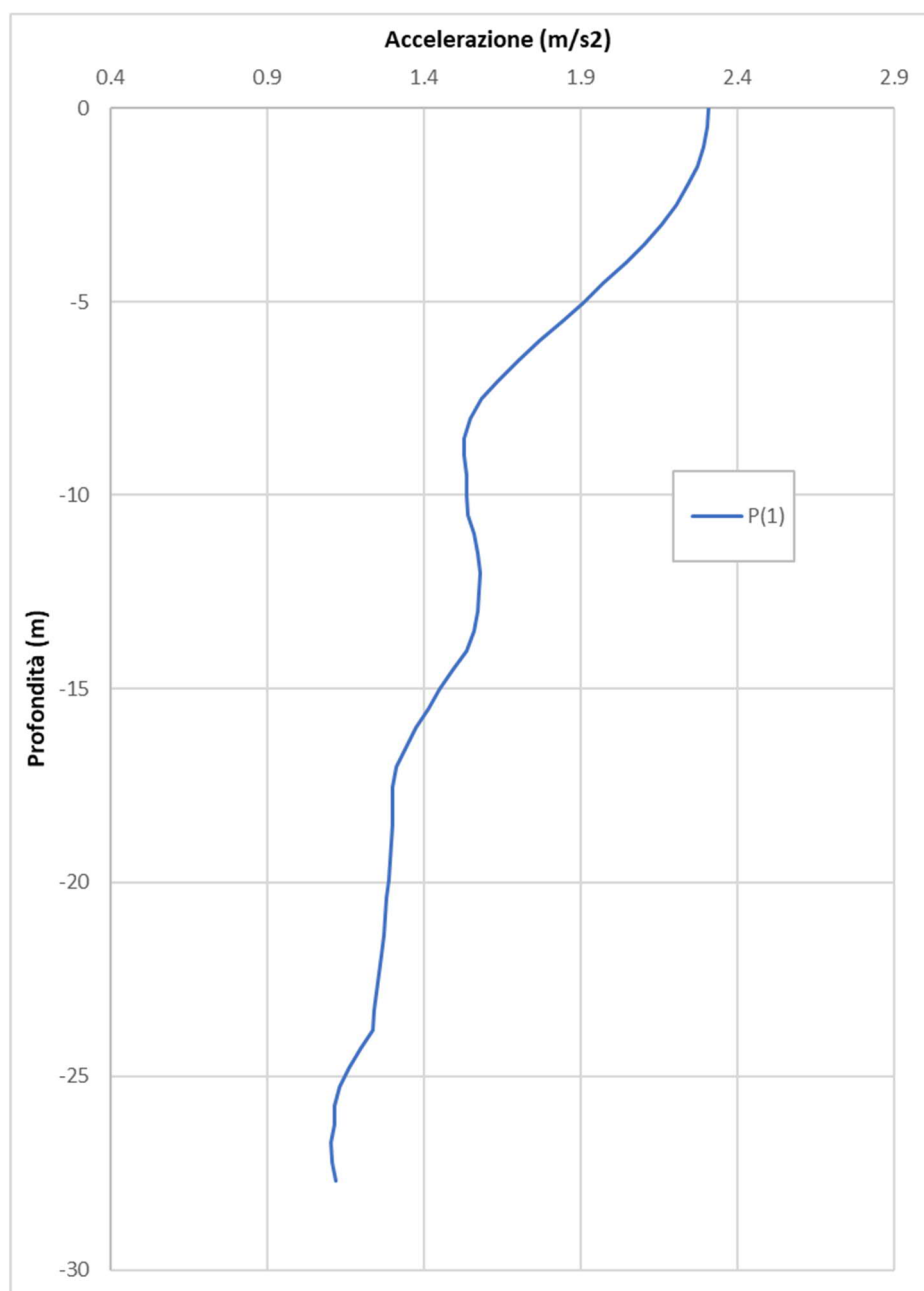



FIGURA 36 – GRAFICO ACCELERAZIONE DA RSL E MASSIMO VALORE CALCOLATO

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	64 di 66

PROGETTO
Studio geologico, geotecnico e sismico
Relazione sismica

6.1. ANALISI DEI RISULTATI


Per ciascuna prova è stato prodotto un report, consultabile in All. 5, che contiene sia i grafici interpretativi della prova stessa (resistenze penetrometriche, litologia ecc.), sia i grafici relativi alla liquefazione ed in particolare:

- ✓ La variazione del fattore di sicurezza con la profondità;
- ✓ La cumulata del valore LPI con la profondità.

I terreni in esame risultano, come si evince da Figura 37, a rischio di liquefazione nullo, con un valore di LPI massimo pari a 0 per entrambe le prove CPT. In tali condizioni anche i valori dei cedimenti sono assolutamente trascurabili (Figura 38), se si considera che si tratta di cedimenti in condizioni SLV (All. 5).



FIGURA 37 – GRAFICO CON ESPRESSI I VALORI DI LPI PER OGNI PROVA

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	65 di 66

PROGETTO

Studio geologico, geotecnico e sismico

Relazione sismica

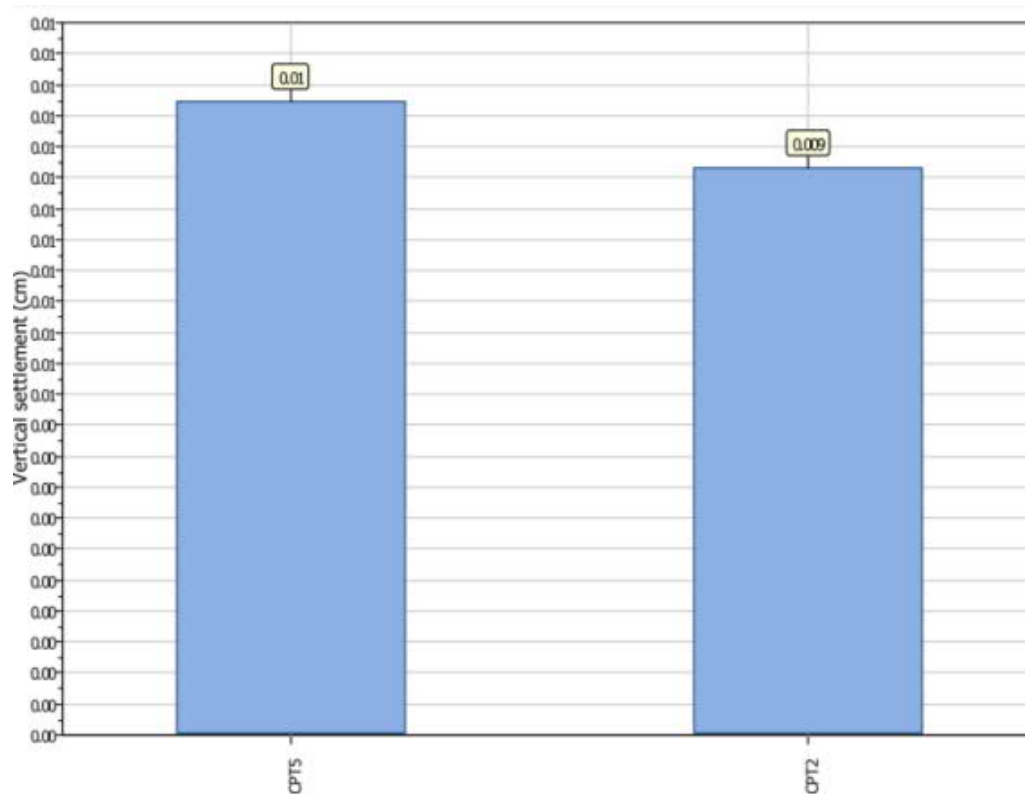



FIGURA 38 - GRAFICO CON ESPRESSI I VALORI DEI CEDIMENTI VERTICALI IN CM PER OGNI PROVA

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione sismica	Febbraio 2021	0	66 di 66

Progetto

K773 Aseptic Manufacturing Facility

Parma (PR)

All. 1 - Prova MASW

Committente:

Jacobs Italia S.p.A.

I Geologi:

Dott. Carlo Caleffi

Dott. Francesco Cerutti

Collaboratore:

Dott.ssa Ing. Giulia Mainardi



EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY
www.engeo.it

Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma
Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181
Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN
Tel-Fax 0376 467967
email info@engeo.it - www.engeo.it

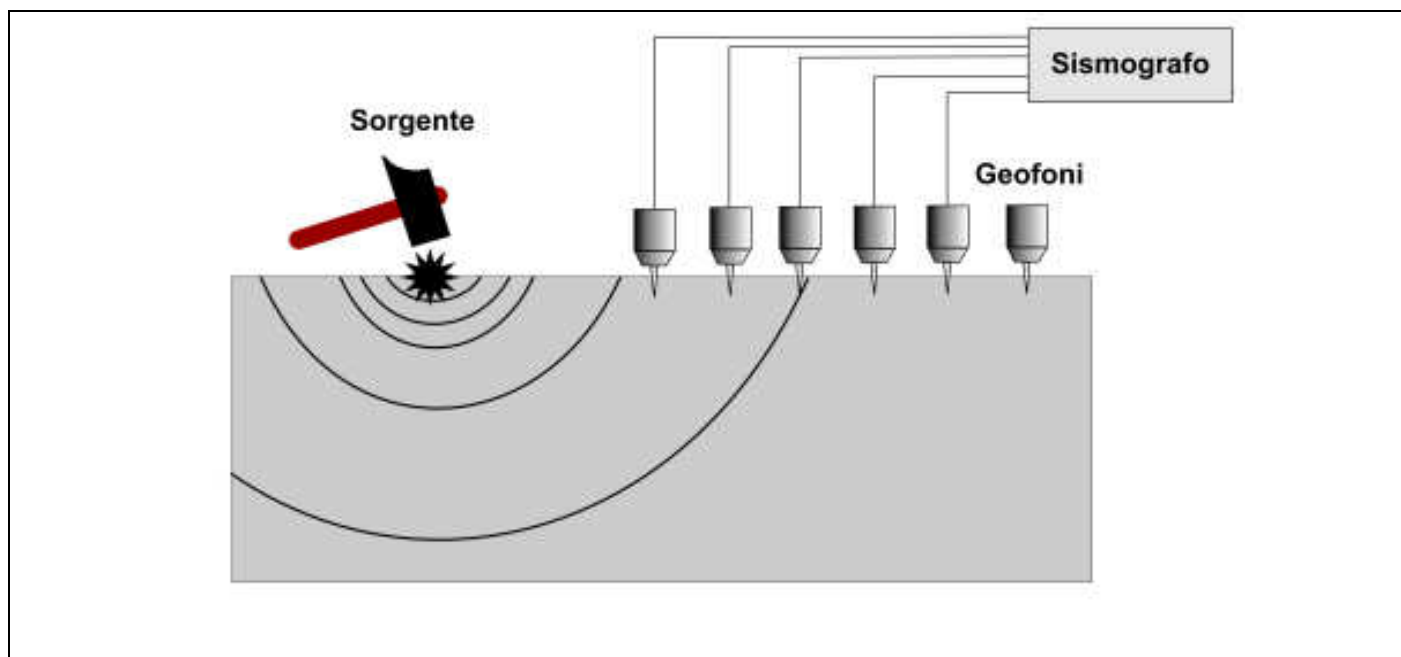


Figura D.3 :Stendimento sismico. Nel caso si utilizzi una sorgente ad impatto verticale e geofoni a componente verticale, si acquisiranno dati utili all'analisi delle onde di Rayleigh.

D.1.2.2 Elaborazione

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software *GeoMasw* (PROGRAM GEO).

I dati *MASW* sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s).

Di seguito si riportano le tracce sismiche registrate e le successive elaborazioni eseguite.

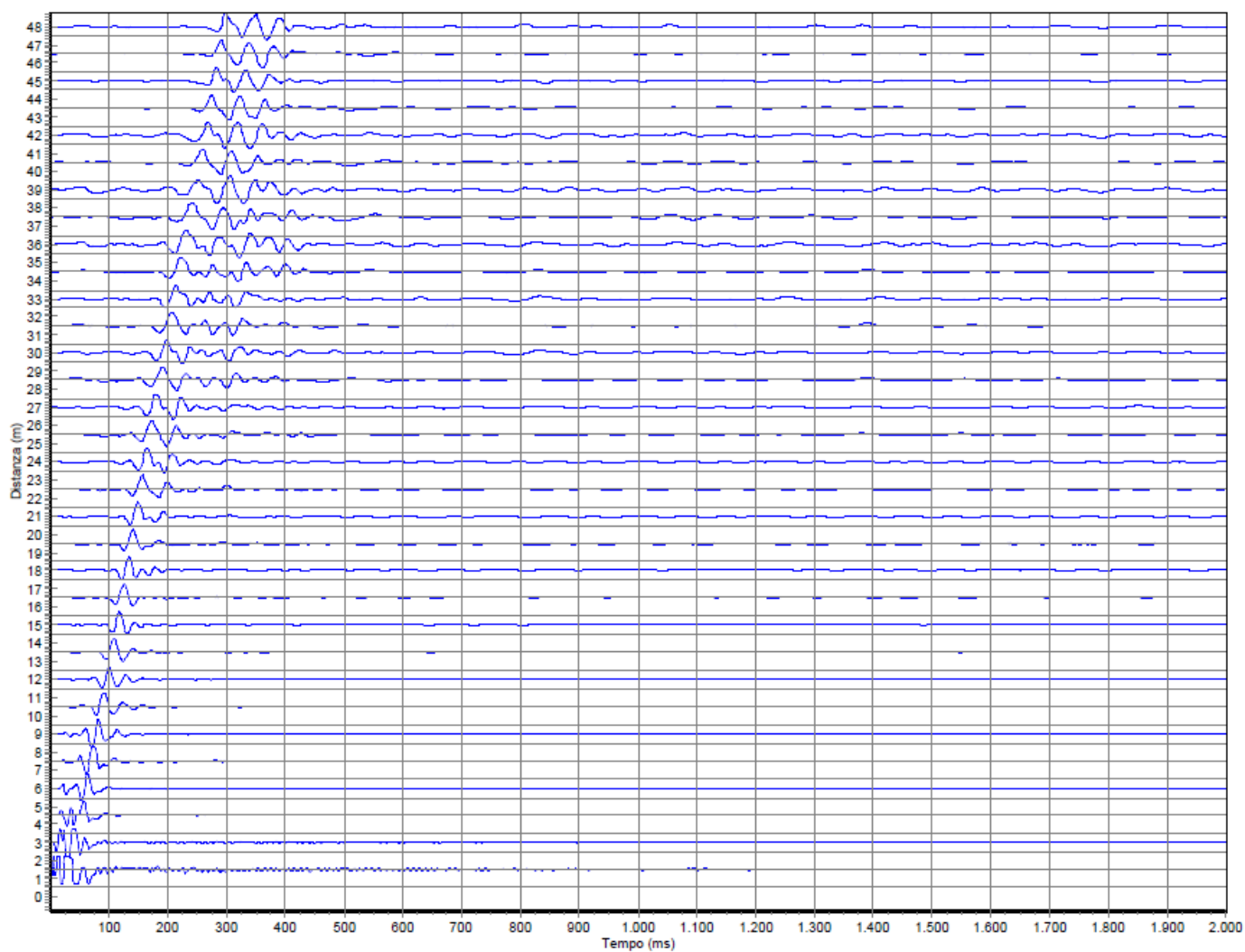


Figura D.4 :tracce sismiche acquisite in campagna.

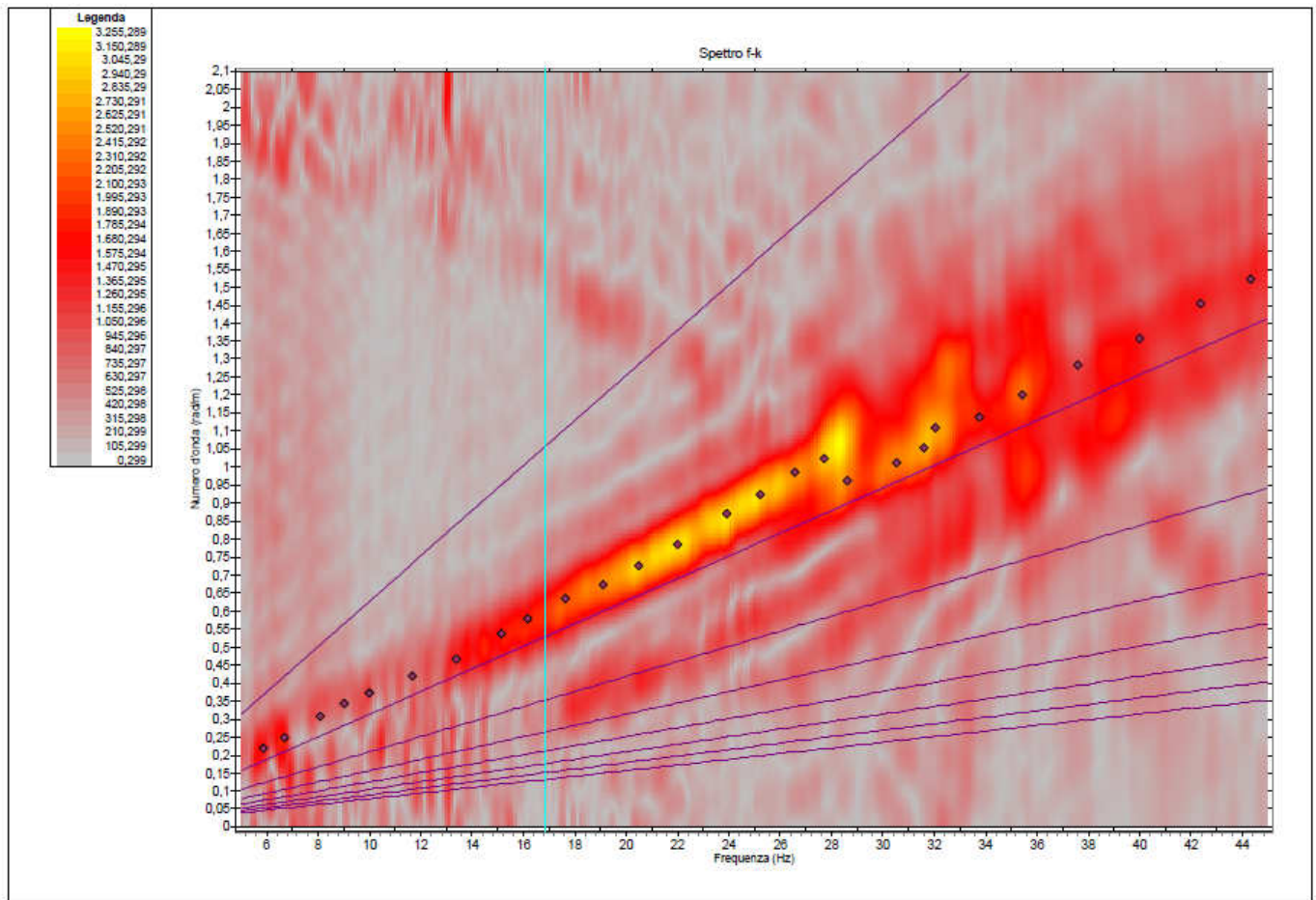


Figura D.5 :spettro F-K con indicata la curva di dispersione determinata mediante “picking”.

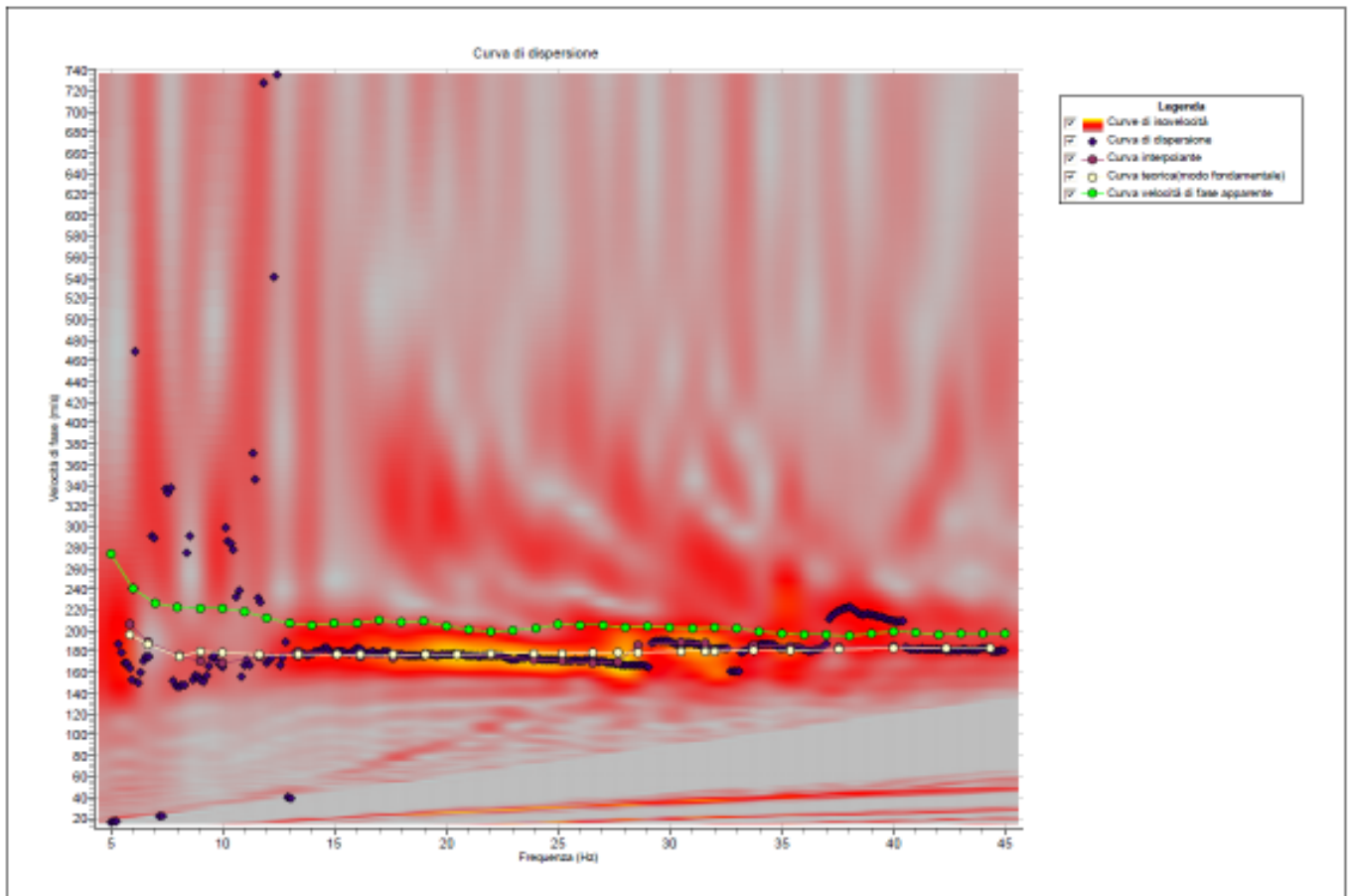


Figura D.6 :curva di dispersione su grafico velocità di fase – frequenza.

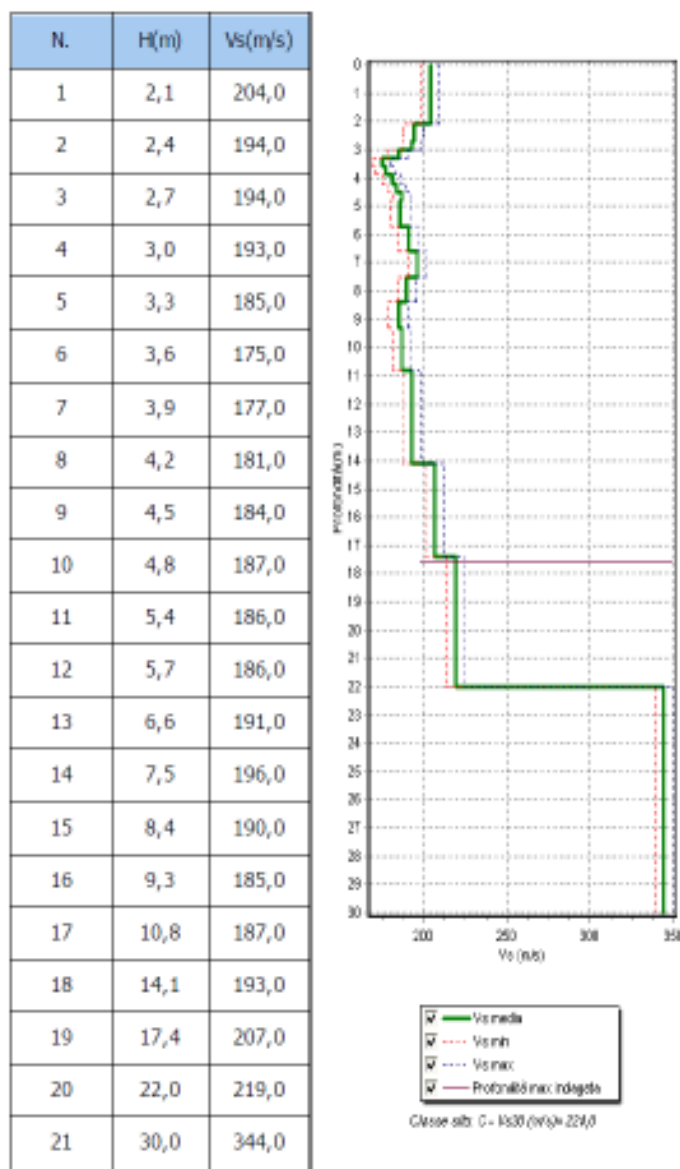


Figura D.7 :profilo verticale di V_s terreno ricostruito mediante procedura di inversione con indicazione di V_s 30 stimata da indagine MASW.

Dalle elaborazioni eseguite (procedure di inversione) si ricava una velocità V_s 30 pari a circa **224 m/s**.

Si specifica che tale valore di V_s 30 è calcolato a partire da piano campagna.

Valutando i risultati delle indagini sismiche MASW, considerando anche il contesto geologico dell'area in esame, ai sensi della Normativa NTC08 i terreni di fondazione dello stesso sono riferibili alla **CATEGORIA C**.

Progetto

K773 Aseptic Manufacturing Facility

Parma (PR)

All. 2 - Prova Down-Hole

Committente:

Jacobs Italia S.p.A.

I Geologi:

Dott. Carlo Caleffi

Dott. Francesco Cerutti

Collaboratore:

Dott.ssa Ing. Giulia Mainardi

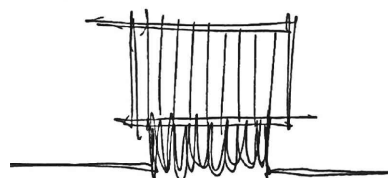


EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY
www.engeo.it

Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma
Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181
Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN
Tel-Fax 0376 467967
email info@engeo.it - www.engeo.it

RICHIESTA PERMESSO DI COSTRUIRE

PROGETTO PILOTIS
NUOVO EDIFICIO SERVIZI
COMPARTO PRODUTTIVO SAN LEONARDO
VIA SAN LEONARDO 96, PARMA



PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

EFA

ESPERIENZE FORME ARCHITETTURA
Arch. **PIETRO CHIERICI**

timbro e firma

COORDINAMENTO E PROGETTAZIONE INTEGRATA



POLICREO
SOCIETÀ DI PROGETTAZIONE srl

Ing. **PAOLO CORCHIA**

timbro e firma

PROGETTAZIONE STRUTTURE
Ing. **PIER PAOLO CORCHIA**

CONSULENZE SPECIALISTICHE

PROGETTO IMPIANTI ELETTRICI SPECIALI DATI
Ing. **LUCIANO ZANNI**
Ing. **FILIPPO VIARO**

SPECIALISTA/SUPERVISORE PROGETTAZIONE ACUSTICA
Prof. Ing. **ANGELO FARINA**

IMPIANTI MECCANICI E PREVENZIONI INCENDI
Ing. **FILIPPO BORRINI**
Ing. **FILIPPO VIARO**

SPECIALISTA/SUPERVISORE PREVENZIONE INCENDI
Ing. **GIANPAOLO NEGRI**

ACUSTICA ED AMBIENTE
Ing. **GIOVANNI BRIANTI**

PROGETTAZIONE RISTORAZIONE AZIENDALE
MARCO NICCOLINI

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA
Dott. Geol. **CARLO CALEFFI**

CERTIFICAZIONE LEED
Ing. **GIUSEPPE ZAFFINO**

ARCHEOLOGIA
Dott.ssa **BARBARA SASSI**

COORDINATORE DELLA SICUREZZA
E RESPONSABILE DEI LAVORI
Ing. **LUCA MANGIAPANE**

OGGETTO

SCALA

GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA
PROVA DOWN-HOLE

FORMATO
A4

00	30/11/2018	EMISSIONE

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONI
------	------	-----------------------

CODICE ELABORATO:

ENTE	CAPITOLO	N° PROGRESIVO
C M -	G G -	0 1 6

ENTE
COMUNE DI PARMA

CODICE INTERNO:

COMMESSA	FASE	AMBITO	ENTE	CODICE	REVISIONE
C H S 0 1 -	A -	G G 0 0 -	S I -	S C 0 4 -	0 0

ALLEGATO 5

Prova sismica tipo Down-Hole

INDAGINI GEOGNOSTICHE, AMBIENTALI E SISMICHE PER NUOVO FABBRICATO "PILOTIS" IN VIA LEONARDO A PARMA

Committente:

CHIESI FARMACEUTICI SpA

Cantiere:

Via Leonardo, Parmaa

PROVA SISMICA TIPO DOWN-HOLE

NOME PROVA:

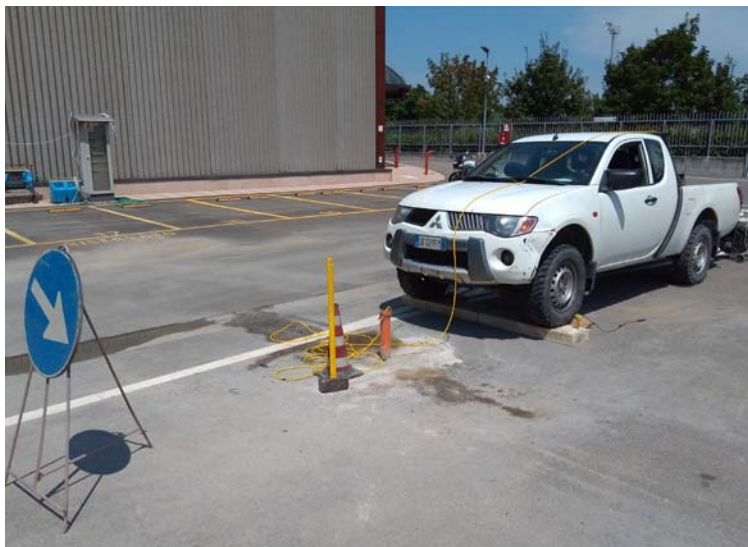
S01-DH

PROFONDITA' PROVA:

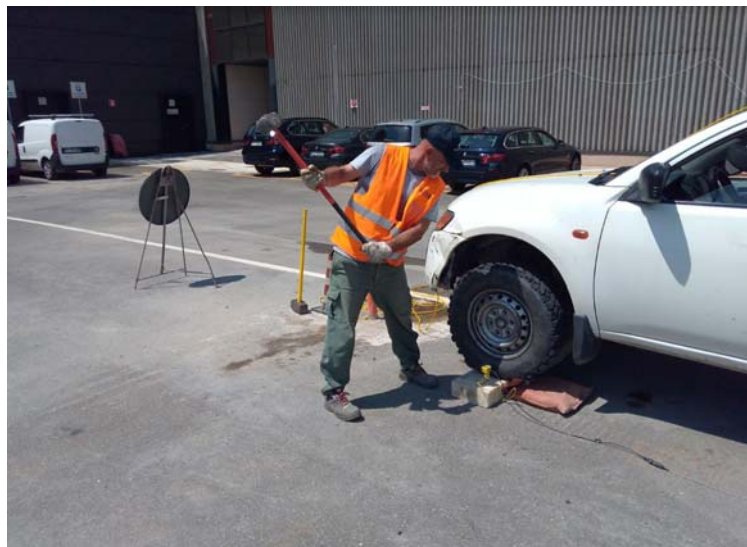
40,00 m dal piano campagna

DATA PROVA:

6 LUGLIO 2018



Piazzamento



Generazione onde di taglio lato sinistro



Generazione onde di compressione

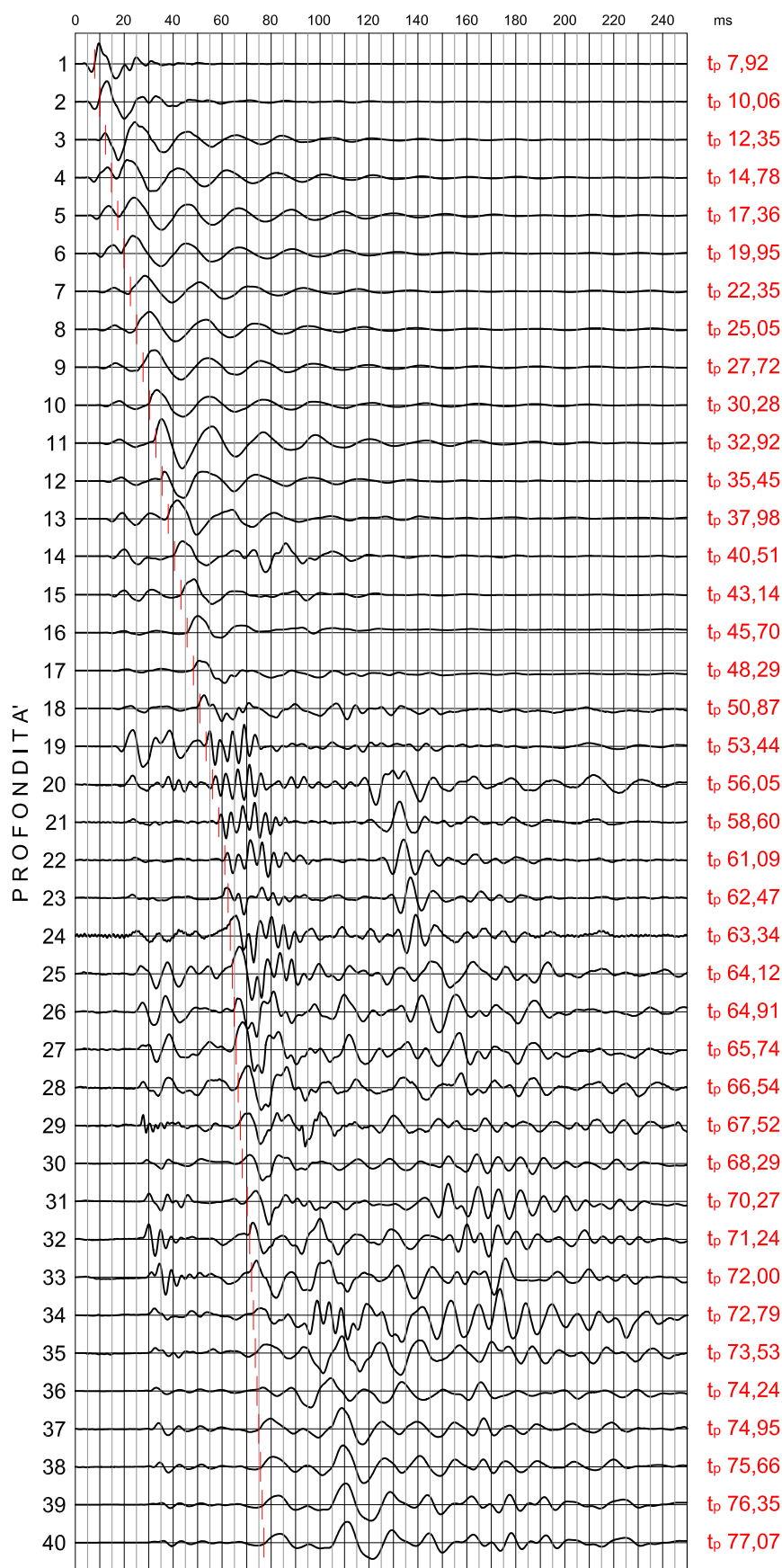
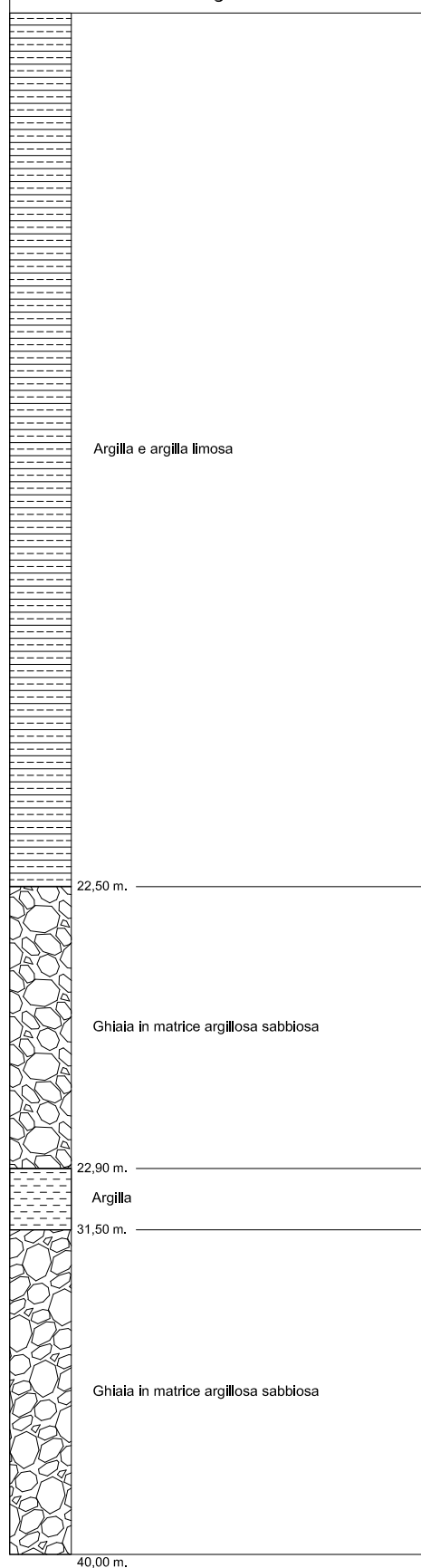


Generazione onde di taglio lato destro

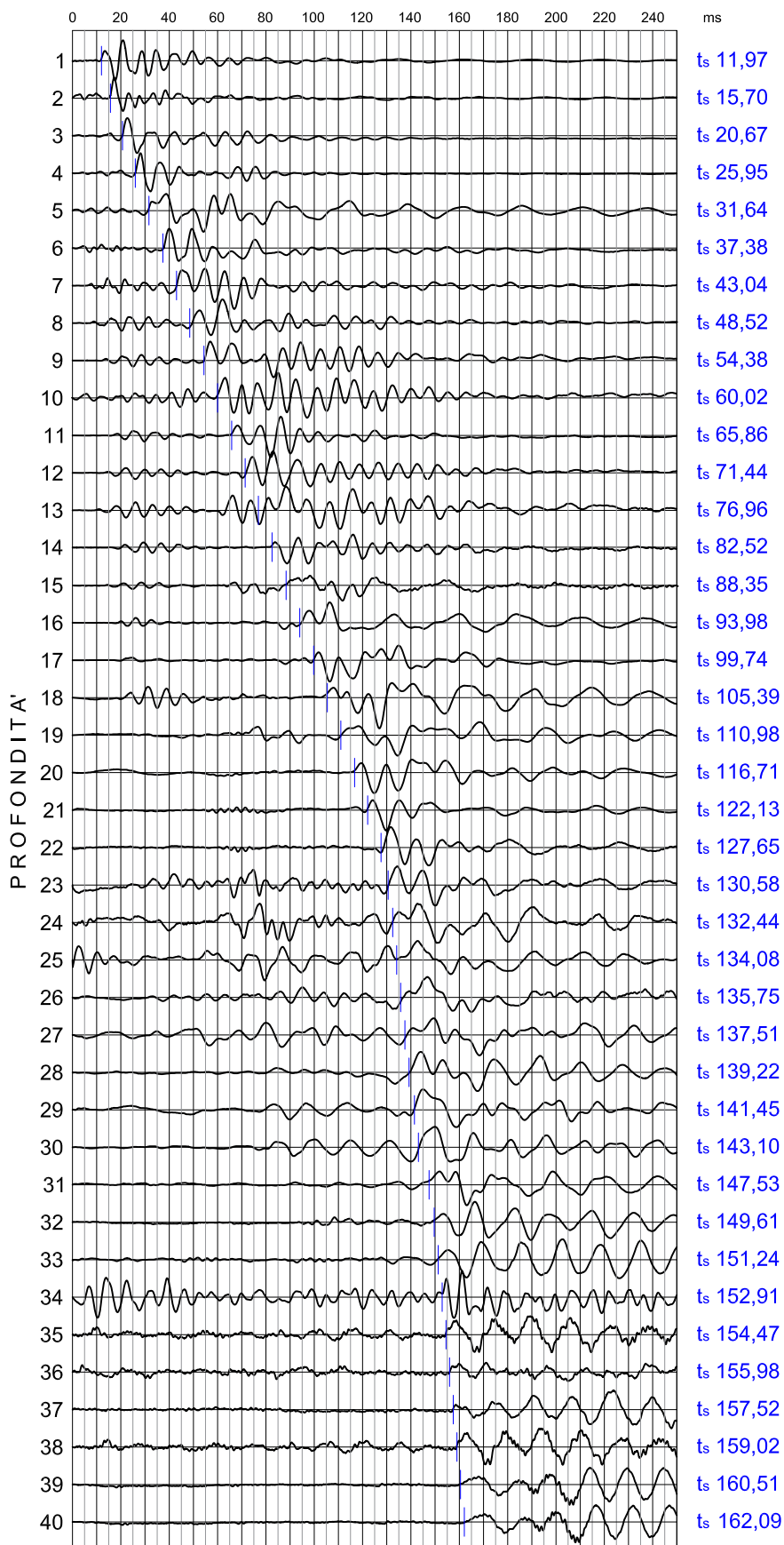
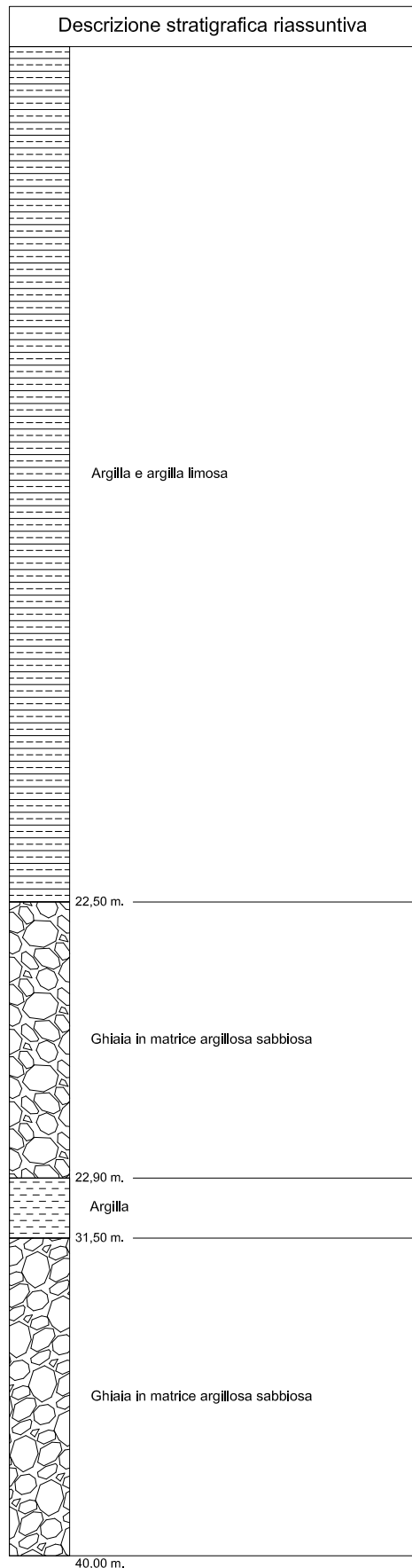


Ripristino area

Descrizione stratigrafica riassuntiva



Descrizione stratigrafica riassuntiva



INDAGINI GEOGNOSTICHE, AMBIENTALI E SISMICHE PER NUOVO FABBRICATO "PILOTIS" IN VIA LEONARDO

Committente:

CHIESI FARMACEUTICI SpA

Cantiere:

Via Leonardo, Parma

Tabella onde P / S01-DH

Sismic data acquisition depth	Distance source P-wave - triaxial geophone	Arrival time P-wave	Arrival time P-wave correction	Vp to travel L $V_p = L/t$	Z2-Z1	t2 - t1	Vp for each level of one meter $V_p = (L2-L1)/(t2-t1)$
(m)	L (m)	t (s)	t (ms)	(m/s)	(m)	(s)	(m/s)
1.00	2.06	0.008	0.003846	260	1.00	0.0038	260
2.00	2.69	0.010	0.007478	267	1.00	0.0036	275
3.00	3.50	0.012	0.010590	283	1.00	0.0031	321
4.00	4.39	0.015	0.013478	297	1.00	0.0029	346
5.00	5.31	0.017	0.016334	306	1.00	0.0029	350
6.00	6.26	0.020	0.019109	314	1.00	0.0028	360
7.00	7.23	0.023	0.021820	321	1.00	0.0027	369
8.00	8.20	0.025	0.024439	327	1.00	0.0026	382
9.00	9.18	0.028	0.027182	331	1.00	0.0027	365
10.00	10.16	0.030	0.029801	336	1.00	0.0026	382
11.00	11.15	0.033	0.032488	339	1.00	0.0027	372
12.00	12.13	0.035	0.035058	342	1.00	0.0026	389
13.00	13.12	0.038	0.037621	346	1.00	0.0026	390
14.00	14.12	0.041	0.040179	348	1.00	0.0026	391
15.00	15.11	0.043	0.042833	350	1.00	0.0027	377
16.00	16.10	0.046	0.045414	352	1.00	0.0026	387
17.00	17.10	0.048	0.048022	354	1.00	0.0026	383
18.00	18.09	0.051	0.050618	356	1.00	0.0026	385
19.00	19.09	0.053	0.053202	357	1.00	0.0026	387
20.00	20.08	0.056	0.055824	358	1.00	0.0026	381
21.00	21.08	0.059	0.058386	360	1.00	0.0026	390
22.00	22.07	0.061	0.060887	361	1.00	0.0025	400
23.00	23.07	0.062	0.062280	369	1.00	0.0014	718
24.00	24.07	0.063	0.063163	380	1.00	0.0009	1132
25.00	25.06	0.064	0.063954	391	1.00	0.0008	1263
26.00	26.06	0.065	0.064755	402	1.00	0.0008	1249
27.00	27.06	0.066	0.065594	412	1.00	0.0008	1191
28.00	28.06	0.067	0.066403	422	1.00	0.0008	1237
29.00	29.06	0.068	0.067390	430	1.00	0.0010	1013
30.00	30.05	0.068	0.068167	440	1.00	0.0008	1287
31.00	31.05	0.070	0.070152	442	1.00	0.0020	504
32.00	32.05	0.071	0.071128	450	1.00	0.0010	1025
33.00	33.05	0.072	0.071893	459	1.00	0.0008	1306
34.00	34.05	0.073	0.072688	468	1.00	0.0008	1258
35.00	35.05	0.074	0.073433	477	1.00	0.0007	1343
36.00	36.04	0.074	0.074147	486	1.00	0.0007	1400
37.00	37.04	0.075	0.074861	494	1.00	0.0007	1400
38.00	38.04	0.076	0.075575	503	1.00	0.0007	1401
39.00	39.04	0.076	0.076269	511	1.00	0.0007	1442
40.00	40.04	0.077	0.076992	520	1.00	0.0007	1383

**INDAGINI GEOGNOSTICHE, AMBIENTALI E SISMICHE
PER NUOVO FABBRICATO "PILOTIS" IN VIA LEONARDO**

Committente:

CHIESI FARMACEUTICI SpA

Cantiere:

Via Leonardo, Parma

Tabella onde S / S01-DH

Sismic data acquisition depth	Distance source S-wave - triaxial geofone	Arrival time S-wave	Arrival time S-wave correction	Vs to travel L $V_s = L/t$	Z2 - Z1	t2 - t1	Vs for each level of one meter $V_s = (L2-L1)/(t2-t1)$
(m)	L (m)	t (s)	t (ms)	(m/s)	(m)	(s)	(m/s)
1.00	2.06	0.012	0.005813	172	1.00	0.0058	172
2.00	2.69	0.016	0.011670	171	1.00	0.0059	171
3.00	3.50	0.021	0.017724	169	1.00	0.0061	165
4.00	4.39	0.026	0.023664	169	1.00	0.0059	168
5.00	5.31	0.032	0.029770	168	1.00	0.0061	164
6.00	6.26	0.037	0.035804	168	1.00	0.0060	166
7.00	7.23	0.043	0.041684	168	1.00	0.0059	170
8.00	8.20	0.049	0.047337	169	1.00	0.0057	177
9.00	9.18	0.054	0.053324	169	1.00	0.0060	167
10.00	10.16	0.060	0.059071	169	1.00	0.0057	174
11.00	11.15	0.066	0.064996	169	1.00	0.0059	169
12.00	12.13	0.071	0.070650	170	1.00	0.0057	177
13.00	13.12	0.077	0.076233	171	1.00	0.0056	179
14.00	14.12	0.083	0.081846	171	1.00	0.0056	178
15.00	15.11	0.088	0.087721	171	1.00	0.0059	170
16.00	16.10	0.094	0.093391	171	1.00	0.0057	176
17.00	17.10	0.100	0.099186	171	1.00	0.0058	173
18.00	18.09	0.105	0.104867	172	1.00	0.0057	176
19.00	19.09	0.111	0.110485	172	1.00	0.0056	178
20.00	20.08	0.117	0.116240	172	1.00	0.0058	174
21.00	21.08	0.122	0.121684	173	1.00	0.0054	184
22.00	22.07	0.128	0.127225	173	1.00	0.0055	180
23.00	23.07	0.131	0.130182	177	1.00	0.0030	338
24.00	24.07	0.132	0.132069	182	1.00	0.0019	530
25.00	25.06	0.134	0.133734	187	1.00	0.0017	601
26.00	26.06	0.136	0.135426	192	1.00	0.0017	591
27.00	27.06	0.138	0.137205	197	1.00	0.0018	562
28.00	28.06	0.139	0.138933	202	1.00	0.0017	579
29.00	29.06	0.141	0.141178	205	1.00	0.0022	445
30.00	30.05	0.143	0.142843	210	1.00	0.0017	601
31.00	31.05	0.148	0.147282	210	1.00	0.0044	225
32.00	32.05	0.150	0.149374	214	1.00	0.0021	478
33.00	33.05	0.151	0.151016	219	1.00	0.0016	609
34.00	34.05	0.153	0.152696	223	1.00	0.0017	595
35.00	35.05	0.154	0.154266	227	1.00	0.0016	637
36.00	36.04	0.156	0.155785	231	1.00	0.0015	658
37.00	37.04	0.158	0.157334	235	1.00	0.0015	646
38.00	38.04	0.159	0.158842	239	1.00	0.0015	663
39.00	39.04	0.161	0.160339	243	1.00	0.0015	668
40.00	40.04	0.162	0.161926	247	1.00	0.0016	630

**INDAGINI GEOGNOSTICHE, AMBIENTALI E SISMICHE
PER NUOVO FABBRICATO "PILOTIS" IN VIA LEONARDO**

Committente:

CHIESI FARMACEUTICI SpA

Cantiere:

Via Leonardo, Parma

Parametri Tabella / S01-DH

PROFONDITA' (m)	Velocità onde P	Velocità onde S	Vp/Vs	Densità	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young E	Modulo di taglio G0	Modulo di compressibilità dinamico Ed
(m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)		g/cm3		Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2
1.00	260	172	1.51	1.9	0.11	1.273E+03	5.73E+02	2.83E+03
2.00	295	169	1.74	1.9	0.25	1.393E+03	5.55E+02	3.50E+03
3.00	353	163	2.17	1.9	0.37	1.397E+03	5.12E+02	3.82E+03
4.00	365	168	2.17	1.9	0.37	1.495E+03	5.48E+02	4.08E+03
5.00	360	163	2.21	1.9	0.37	1.412E+03	5.15E+02	3.87E+03
6.00	367	166	2.22	1.9	0.37	1.456E+03	5.31E+02	4.00E+03
7.00	373	170	2.19	1.9	0.37	1.537E+03	5.61E+02	4.21E+03
8.00	386	177	2.17	1.9	0.37	1.666E+03	6.10E+02	4.55E+03
9.00	366	167	2.19	1.9	0.37	1.478E+03	5.40E+02	4.05E+03
10.00	384	174	2.20	1.9	0.37	1.611E+03	5.88E+02	4.41E+03
11.00	373	169	2.21	1.9	0.37	1.513E+03	5.52E+02	4.15E+03
12.00	390	177	2.21	1.9	0.37	1.664E+03	6.07E+02	4.56E+03
13.00	391	179	2.18	1.9	0.37	1.703E+03	6.23E+02	4.65E+03
14.00	392	178	2.20	1.9	0.37	1.686E+03	6.16E+02	4.62E+03
15.00	377	170	2.22	1.9	0.37	1.540E+03	5.61E+02	4.23E+03
16.00	388	176	2.20	1.9	0.37	1.652E+03	6.03E+02	4.52E+03
17.00	384	173	2.22	1.9	0.37	1.584E+03	5.77E+02	4.35E+03
18.00	386	176	2.19	1.9	0.37	1.643E+03	6.00E+02	4.50E+03
19.00	387	178	2.18	1.9	0.37	1.677E+03	6.14E+02	4.58E+03
20.00	382	174	2.20	1.9	0.37	1.602E+03	5.85E+02	4.39E+03
21.00	391	184	2.13	1.9	0.36	1.777E+03	6.54E+02	4.83E+03
22.00	400	181	2.22	1.9	0.37	1.732E+03	6.31E+02	4.75E+03
23.00	722	340	2.12	1.9	0.36	6.086E+03	2.24E+03	1.65E+04
24.00	1146	536	2.14	1.9	0.36	1.514E+04	5.57E+03	4.12E+04
25.00	1279	608	2.10	1.9	0.35	1.939E+04	7.16E+03	5.25E+04
26.00	1263	597	2.11	1.9	0.36	1.874E+04	6.91E+03	5.08E+04
27.00	1202	567	2.12	1.9	0.36	1.689E+04	6.22E+03	4.58E+04
28.00	1247	584	2.14	1.9	0.36	1.794E+04	6.60E+03	4.88E+04
29.00	1018	448	2.28	1.9	0.38	1.071E+04	3.88E+03	2.96E+04
30.00	1296	605	2.14	1.9	0.36	1.929E+04	7.09E+03	5.25E+04
31.00	504	225	2.24	2.9	0.38	4.129E+03	1.50E+03	1.14E+04
32.00	1029	480	2.14	3.9	0.36	2.493E+04	9.16E+03	6.79E+04
33.00	1314	613	2.14	4.9	0.36	5.102E+04	1.87E+04	1.39E+05
34.00	1264	598	2.11	5.9	0.36	5.831E+04	2.15E+04	1.58E+05
35.00	1350	640	2.11	6.9	0.35	7.810E+04	2.88E+04	2.12E+05
36.00	1407	661	2.13	7.9	0.36	9.569E+04	3.52E+04	2.60E+05
37.00	1407	649	2.17	8.9	0.37	1.042E+05	3.82E+04	2.84E+05
38.00	1407	666	2.11	9.9	0.36	1.213E+05	4.47E+04	3.29E+05
39.00	1448	670	2.16	10.9	0.36	1.362E+05	4.99E+04	3.71E+05
40.00	1387	632	2.19	11.9	0.37	1.328E+05	4.85E+04	3.63E+05

Certificato n° 106C_2018 del 29/06/2018

Commessa: 03706018_FG

Committente: Chiesi SpA

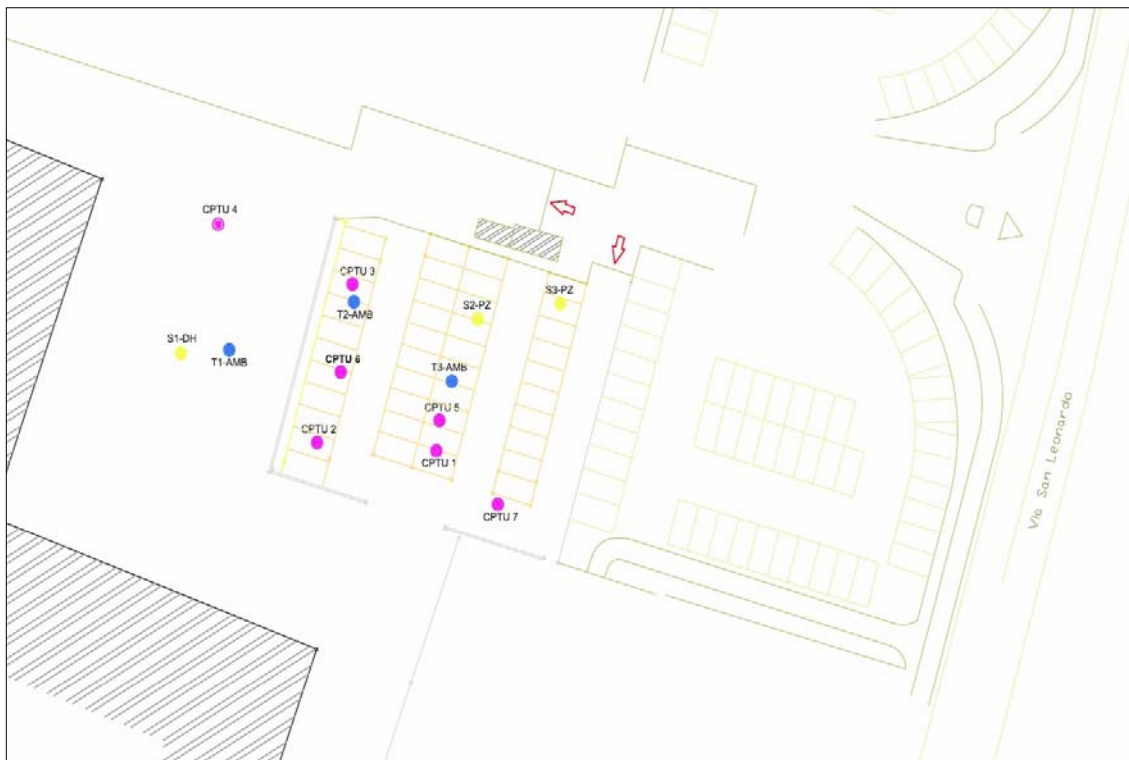
Sondaggio: S1-DH

Riferimento: Stabilimento Chiesi SpA, Via S. Leonardo (PR)

Data: 20/06/2018-26/06/2018

Fotografie - Pagina 1/5

Pagina 1



Planimetria



Piazzamento

Certificato n° 106C_2018 del 29/06/2018

Commessa: 03706018_FG

Committente: Chiesi SpA

Sondaggio: S1-DH

Riferimento: Stabilimento Chiesi SpA, Via S. Leonardo (PR)

Data: 20/06/2018-26/06/2018

Fotografie - Pagina 2/5

Pagina 2



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00

Certificato n° 106C_2018 del 29/06/2018

Commessa: 03706018_FG

Committente: Chiesi SpA

Sondaggio: S1-DH

Riferimento: Stabilimento Chiesi SpA, Via S. Leonardo (PR)

Data: 20/06/2018-26/06/2018

Fotografie - Pagina 3/5

Pagina 3



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00

Certificato n° 106C_2018 del 29/06/2018

Commessa: 03706018_FG

Committente: Chiesi SpA

Sondaggio: S1-DH

Riferimento: Stabilimento Chiesi SpA, Via S. Leonardo (PR)

Data: 20/06/2018-26/06/2018

Fotografie - Pagina 4/5

Pagina 4



Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25,00 a m 30,00

Certificato n° 106C_2018 del 29/06/2018

Commessa: 03706018_FG

Committente: Chiesi SpA

Sondaggio: S1-DH

Riferimento: Stabilimento Chiesi SpA, Via S. Leonardo (PR)

Data: 20/06/2018-26/06/2018

Fotografie - Pagina 5/5

Pagina 5



Cassetta n° 7 - profondità da m 30,00 a m 35,00



Cassetta n° 8 - profondità da m 35,00 a m 40,00



LEGENDA STRATIGRAFIA

φ mm	FORO	prof. m	φ mm	R v	A r s	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test				RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE		Cass.	DATI TECNICI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		

- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Schema geometrico del foro
- 3) Profondità del tratto di foro (m)
- 4) Diametro del tratto di foro (mm)
- 5) Rivestimento
- 6) Profondità dell'acqua (rinvenimento e stabilizzazione)
- 7) Scala metrica con limiti delle battute (>)
- 8) Simbolo litologico
- 9) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
- 10) Resistenza alla punta (kg/cm²)
- 11) Vane test (kg/cm²)
- 12) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 13) Profondità di inizio della prova S.P.T.
- 14) Prova S.P.T.
- 15) Valore di Nspt
- 16) Tipo di punta (A = punta aperta; C = punta chiusa)
- 17) Percentuale R.Q.D. (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 18) Profondità della base dello strato (m)
- 19) Descrizione della litologia dello strato
- 20) Cassette catalogatrici
- 21) Dati tecnici

She = Shelby
Den = Denison
Ost = Osterberg
Maz = Mazier
Crp = Craps
nk3 = NK3
Ind = Indisturbato
Dis = Disturbato
SDi = Semi disturbato
SPT = SPT



SCALA 1 :90

Pagina 6

Certificato n° 106C 2018 del 29/06/2018**Commessa: 03706018 FG**

Committente: Chiesi SpA

Sondaggio: S1-DH

Riferimento: Stabilimento Chiesi SpA, Via S. Leonardo (PR)

Data: 20/06/2018-26/06/2018

Coordinate:

Quota:

Perforazione: Carotaggio continuo

STRATIGRAFIA - S1-DH

[illegible]



SCALA 1 :90

Pagina 7

Certificato n° 106C_2018 del 29/06/2018	Commessa: 03706018_FG
Committente: Chiesi SpA	Sondaggio: S1-DH
Riferimento: Stabilimento Chiesi SpA, Via S. Leonardo (PR)	Data: 20/06/2018-26/06/2018
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

STRATIGRAFIA - S1-DH

Ø mm	FORO	prof. m	Ø mm	R v	A r	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	DATI TECNICI
m												m	S.P.T.	N	Pt				
					</														



Certificato n° 106C_2018 del 29/06/2018	Commessa: 03706018_FG
Committente: Chiesi SpA	Sondaggio: S1-DH
Riferimento: Stabilimento Chiesi SpA, Via S. Leonardo (PR)	Data: 20/06/2018-26/06/2018
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

STRATIGRAFIA - S1-DH

Strumentazione installata:
-Tubo in PVC Ø=82mm per prova Down Hole (0.00m-40.00m).

Prove in foro:
-N°1 Lefranc (25.50m-26.50m);
-N°6 SPT.

Campioni prelevati:
-N°4 campioni indisturbati;
-N°1 campioni rimaneggiati.

Caratteristiche Sonda:
Marca/Modello: Casagrande C4
Coppia: 472KGM
Corsa utile: 3,0 mt
Morse: Ømax: 254 mm

NORMATIVA DI RIFERIMENTO
A.G.I. - (1977): Raccomandazioni sulla Programmazione e d Esecuzione delle Indagini Geotecniche.
DM 11.03.88: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Chiesi SpA

Indagini geognostiche presso Chiesi SpA
Edificio "Pilotis"

PROVE DI PERMEABILITA' IN FORO DI SONDAGGIO A CARICO COSTANTE
PROVA LEFRANC SI-DH
Profondità: 25,50-26,50 m da p.c.
22/06/2018

Dati della prova			
Diametro del foro non rivestito:	D	0,101	m
Lunghezza della parete filtrante:	L	1,000	m
Profondità del fondo foro da piano campagna:		26,500	m
Spessore del filtro di ghiaia:		1,000	m
Livello statico della falda (dal piano campagna):	h _s	2,800	m
Altezza della testa tubo rivestimento dal piano campagna	h _s	0,350	m
Carico idraulico iniziale:	h ₀	3,150	m

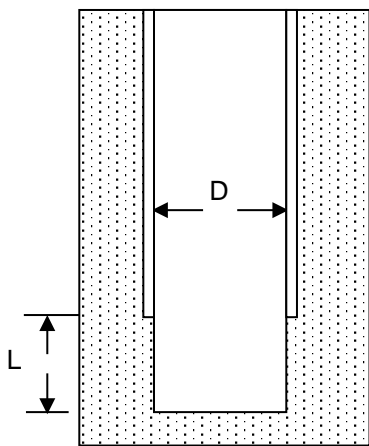
Fase di innalzamento

Durata immissione	1200,00	sec
Lettura contalitri iniziale	118498,00	l
Lettura contalitri finale	118609,00	l
Quantità d'acqua immessa	111	l
Portata immessa	0,09	l/sec

Prova a carico costante

Portata immessa	0,09	l/sec
Innalzamento piezometrico	3,15	m
Coefficiente di forma	2,78	m

Calcolo del coefficiente di forma F:



Fondo cilindrico in terreno uniforme

$$F = \frac{3 \cdot \Pi \cdot L}{\ln \left(\frac{1.5L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{1.5 \cdot L}{D} \right)^2} \right)} = 2,777$$

Calcolo del coefficiente di permeabilità $k = \frac{q}{F \cdot \Delta H} \quad 1,03E-05 \text{ m/s}$

Progetto

K773 Aseptic Manufacturing Facility

Parma (PR)

All. 3 - Analisi di laboratorio

Committente:

Jacobs Italia S.p.A.

I Geologi:

Dott. Carlo Caleffi

Dott. Francesco Cerutti

Collaboratore:

Dott.ssa Ing. Giulia Mainardi



EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY
www.engeo.it

Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma
Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181
Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN
Tel-Fax 0376 467967
email info@engeo.it - www.engeo.it

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE
CANTIERESUBSOIL S.r.l. Strada Barco 1/C 42027 Montecchio Emilia (RE)
Indagini geognostiche, geofisiche e analisi di laboratorio per la realizzazione di un nuovo fabbricato
servizi "Pilotis" - Chiesi S.p.A.*CERTIFICATO*

18071001

data di emissione

10/08/18

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione S1-DH C12
verbale d'accettazione 0325/18
data di ricevimento 31/07/18
data d'apertura 01/08/18
tipo di terreno terreno a grana fine**PROVA DI COLONNA RISONANTE**

ASTM D4015

D_0	H_0	w_0	ρ_0	ρ_{d0}	ρ_s	e_0	S_{R0}
mm	mm	%	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	-	-
50	100	30,4	1,87	1,43	2,64	0,846	0,95

B	p_c	u_c	p'_c	D_{fc}	H_{fc}	e_{fc}	ρ_{fc}
-	kPa	kPa	kPa	mm	mm	-	Mg/m ³
0,99	500	400	100	49,6	99,2	0,800	1,91

test	γ	G	D
n	%	MPa	%
1	0,0006	30,36	2,71
2	0,0011	30,35	2,75
3	0,0022	30,32	2,80
4	0,0042	30,23	2,66
5	0,0078	30,20	2,80
6	0,0133	29,16	3,18
7	0,0215	27,34	3,67
8	0,0351	24,07	4,55
9	0,0526	19,67	5,82
10	0,0875	14,90	7,74

Sperimentatore
Dr. Michele Orazi Ph.D.

pagina 1/2

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Ugo Sergio Orazi
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE
CANTIERE

SUBSOIL S.r.l. Strada Barco 1/C 42027 Montecchio Emilia (RE)
Indagini geognostiche, geofisiche e analisi di laboratorio per la realizzazione di un nuovo fabbricato
servizi "Pilotis" - Chiesi S.p.A.

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione S1-DH C12
verbale d'accettazione 0325/18
data di ricevimento 31/07/18
data d'apertura 01/08/18
tipo di terreno terreno a grana fine

CERTIFICATO

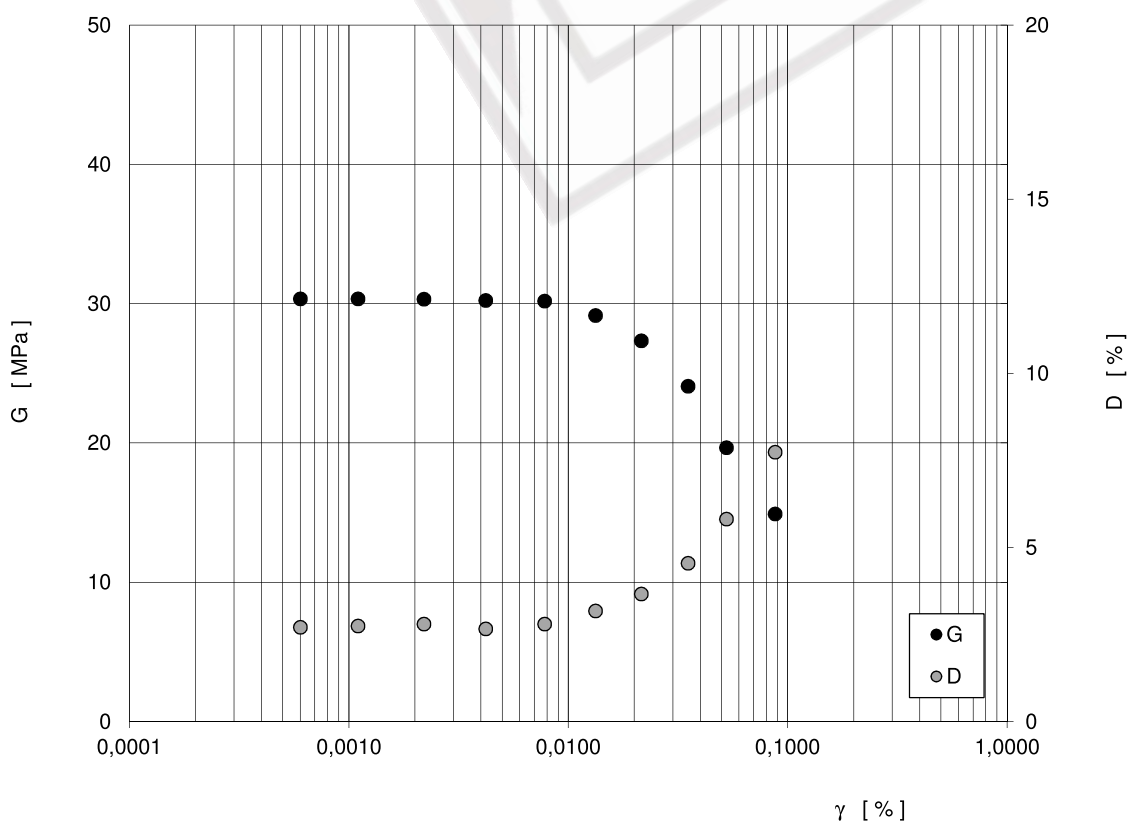
18071001

data di emissione

10/08/18

PROVA DI COLONNA RISONANTE

ASTM D4015



Sperimentatore
Dr. Michele Orazi Ph.D.

pagina 2/2

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Ugo Sergio Orazi
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE
CANTIERESUBSOIL S.r.l. Strada Barco 1/C 42027 Montecchio Emilia (RE)
Indagini geognostiche, geofisiche e analisi di laboratorio per la realizzazione di un nuovo fabbricato
servizi "Pilotis" - Chiesi S.p.A.*CERTIFICATO*

18071002

data di emissione

10/08/18

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione S1-DH C14
verbale d'accettazione 0326/18
data di ricevimento 31/07/18
data d'apertura 01/08/18
tipo di terreno terreno a grana fine**PROVA DI COLONNA RISONANTE**

ASTM D4015

D_0	H_0	w_0	ρ_0	ρ_{d0}	ρ_s	e_0	S_{R0}
mm	mm	%	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	-	-
50	100	29,6	1,90	1,47	2,66	0,810	0,97

B	p_c	u_c	p'_c	D_{fc}	H_{fc}	e_{fc}	ρ_{fc}
-	kPa	kPa	kPa	mm	mm	-	Mg/m ³
0,98	500	400	100	49,7	99,5	0,782	1,93

test	γ	G	D
n	%	MPa	%
1	0,0004	33,40	3,08
2	0,0008	33,37	3,09
3	0,0018	33,35	3,12
4	0,0036	33,26	3,12
5	0,0069	32,27	3,22
6	0,0134	30,46	3,80
7	0,0250	27,67	4,86
8	0,0369	24,87	6,20
9	0,0577	22,16	7,03
10	0,0895	18,59	8,13

Sperimentatore
Dr. Michele Orazi Ph.D.

pagina 1/2

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Ugo Sergio Orazi
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE
CANTIERE

SUBSOIL S.r.l. Strada Barco 1/C 42027 Montecchio Emilia (RE)
Indagini geognostiche, geofisiche e analisi di laboratorio per la realizzazione di un nuovo fabbricato
servizi "Pilotis" - Chiesi S.p.A.

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione S1-DH C14
verbale d'accettazione 0326/18
data di ricevimento 31/07/18
data d'apertura 01/08/18
tipo di terreno terreno a grana fine

CERTIFICATO

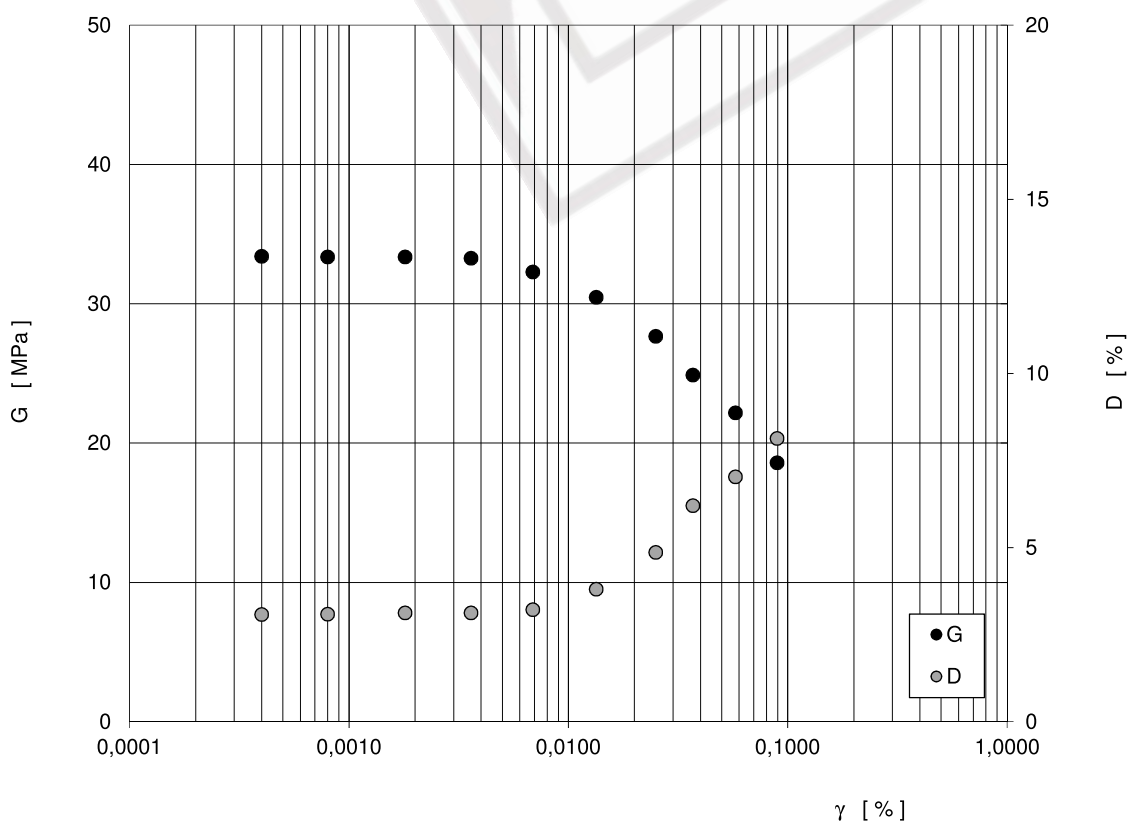
18071002

data di emissione

10/08/18

PROVA DI COLONNA RISONANTE

ASTM D4015



Sperimentatore
Dr. Michele Orazi Ph.D.

pagina 2/2

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Ugo Sergio Orazi
Direttore del Laboratorio

Progetto

K773 Aseptic Manufacturing Facility

Parma (PR)

All. 4 - Prove HVSR

Committente:

Jacobs Italia S.p.A.

I Geologi:

Dott. Carlo Caleffi
Dott. Francesco Cerutti

Collaboratore:

Dott.ssa Ing. Giulia Mainardi



EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY
www.engeo.it

Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma
Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181
Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN
Tel-Fax 0376 467967
email info@engeo.it - www.engeo.it

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

PROVA HVSR

Comune Parma	Località Parma	
Cantiere Chiesi	Data 19/06/2018	Ora 09:07
Codice lavoro POLI.75.1824		
Codice Prova HVSR1	File Pilotis 1	Durata (min) 20
Strumento Echo Tromo HVSR3	Freq.camp. 155 Hz	F. sensore 2.0 Hz
Operatore Dott. Geol. Matteo Baisi		

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole (<5m/s)	<input type="checkbox"/> medio (5>v>30 m/s)	<input type="checkbox"/> forte (>30 m/s)
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> media	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input type="checkbox"/> argilloso-limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso-limoso duro	<input type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> roccia	
	<input type="checkbox"/> suolo asciutto	<input type="checkbox"/> suolo umido	<input type="checkbox"/> suolo saturo	
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> ceramica
	<input checked="" type="checkbox"/> altro: autobloccanti su riporto di 40 cm di ghiaia			
Accoppiamento sensore	<input type="checkbox"/> piedini infissi	<input checked="" type="checkbox"/> piedini da pavimento	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> altro


STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input checked="" type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti	<input checked="" type="checkbox"/> assenti		<input type="checkbox"/> presenti	
Strutt. sotterranee	<input checked="" type="checkbox"/> assenti		<input type="checkbox"/> presenti:	
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte

SORGENTI RUMORE

Disturbo discontinuo		assente	raro	moderato	forte	molto forte	Distanza (m)
	auto				✓		60
	camion			✓			60
	passanti	✓					
	altro	✓					
Disturbo cont.	<input type="checkbox"/> assente		<input checked="" type="checkbox"/> presente: camion in posizionamento				

OSSERVAZIONI:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	1 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

Tracce in input

Dati riepilogativi:

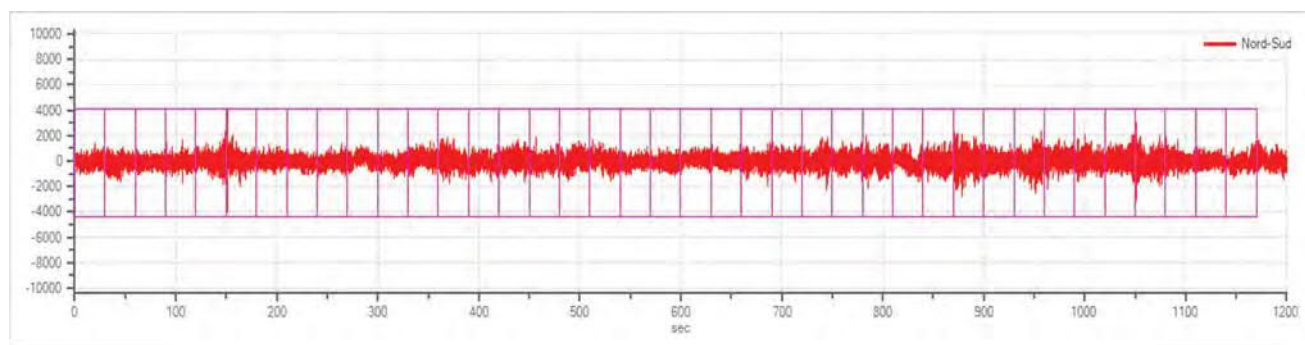
Numero tracce: 3
 Durata registrazione: 1200 s
 Frequenza di campionamento: 155.00Hz
 Numero campioni: 186000
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Finestre selezionate

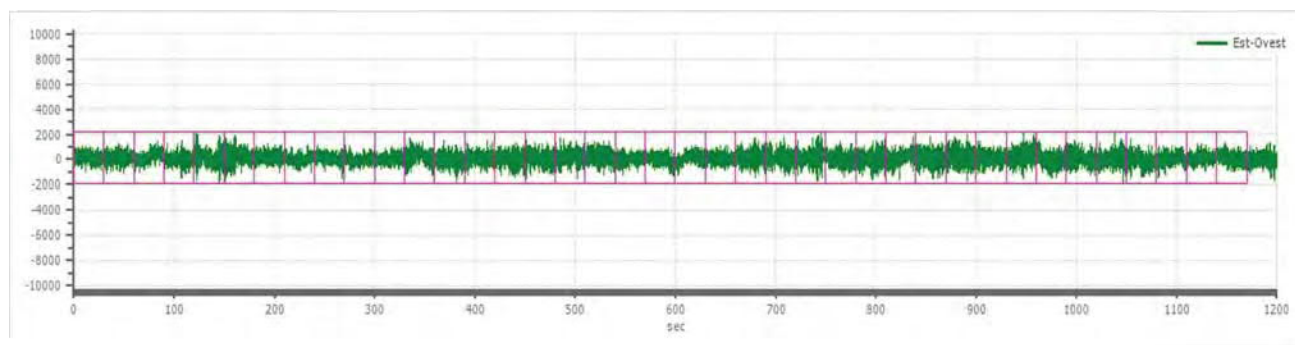
Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 39
 Numero finestre incluse nel calcolo: 38
 Dimensione temporale finestre: 30.000s
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Percentuale di lisciamento: 40.00

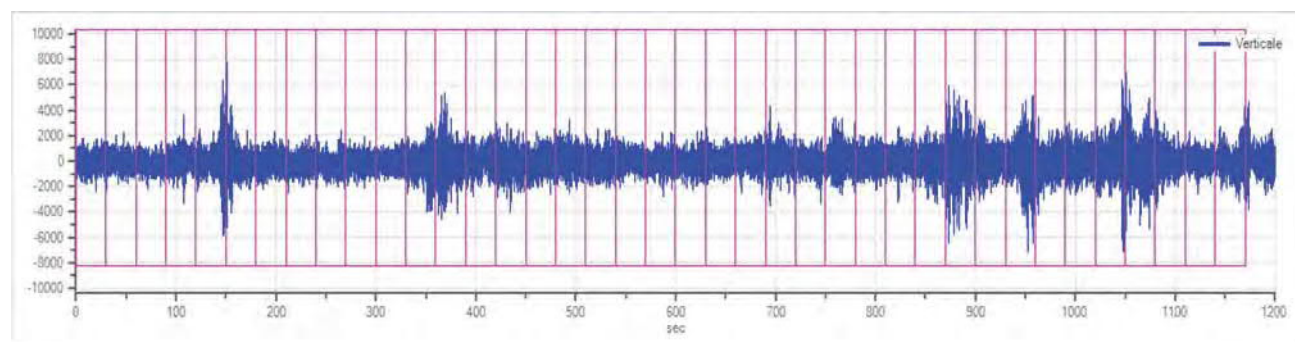
Grafici tracce con finestre selezionate:




Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



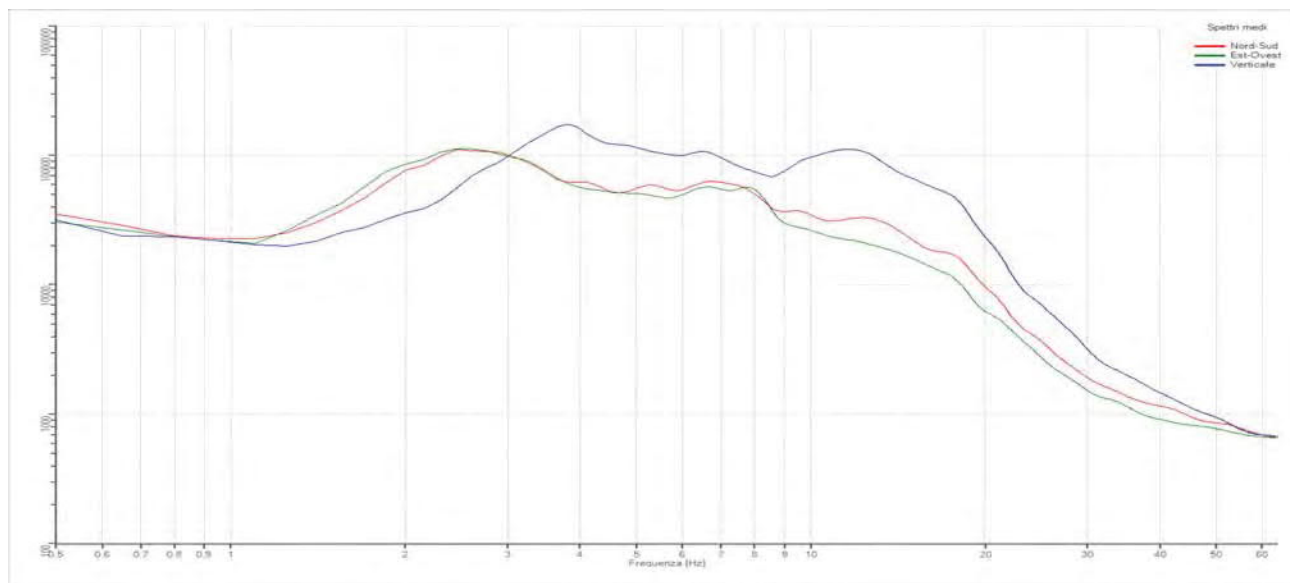
Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING DESIGN</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	2 di 5

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 64.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Passo frequenza: 0.15 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Percentuale di lisciamento: 10.00 %

Tipo di somma direzionale: Media quadratica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: $2.15 \text{ Hz} \pm 0.28 \text{ Hz}$

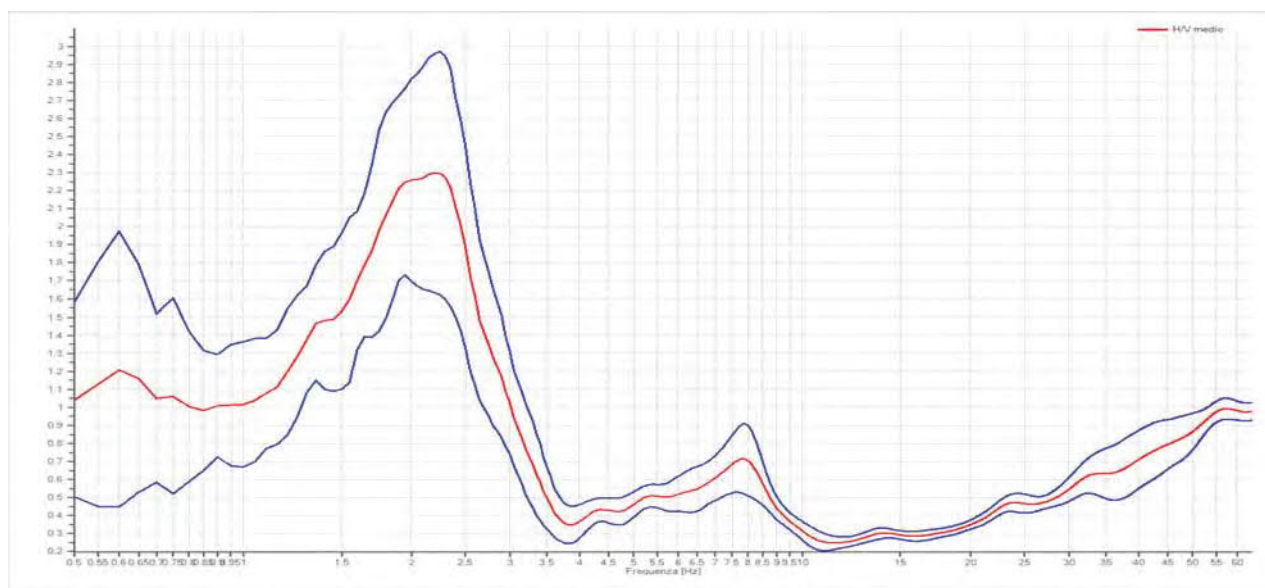

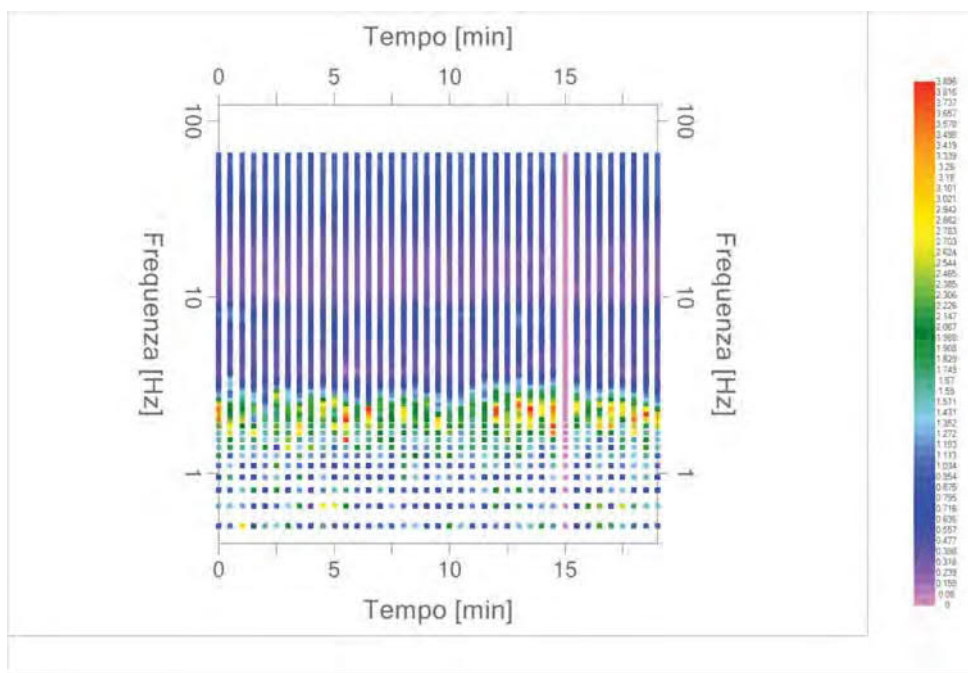


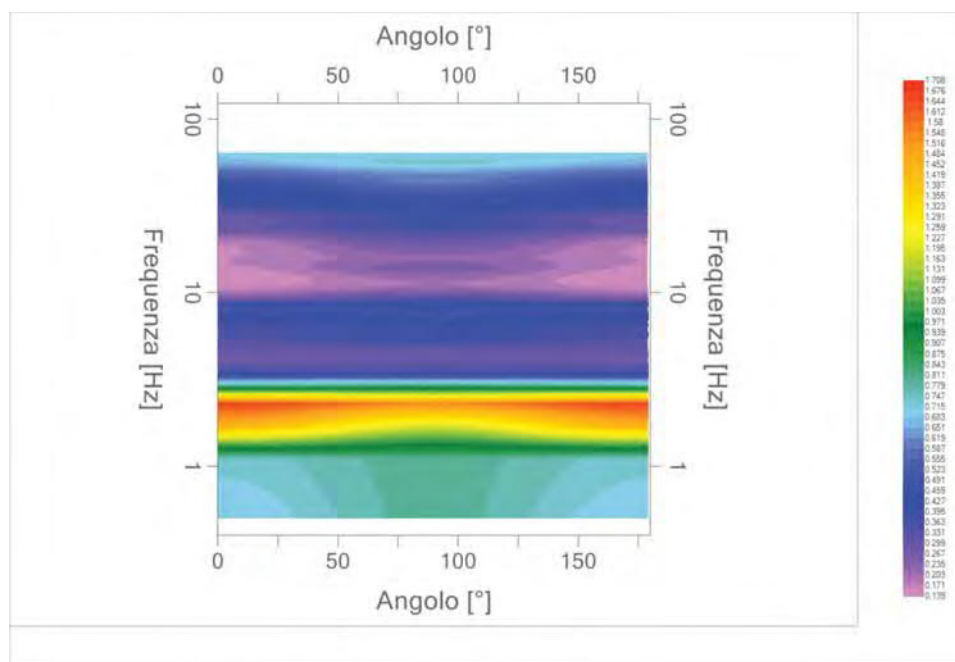
Grafico rapporto spettrale H/V naturale

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	3 di 5


PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)



Mappa della stazionarietà degli spettri



Direzionalità H/V

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEODINAMICA</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	4 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

Verifica secondo le linee guida SESAME, 2005

Picco H/V a 2.15 ± 0.28 Hz (nell'intervallo 0.50 – 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]		
$f_0 > 10 / L_w$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	OK	
$A_0 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	NO	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	NO	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	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
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

*I risultati relativi alle verifiche eseguite ai sensi delle linee guida SESAME, evidenziano che il segnale presenta un picco H/V “non chiaro”. Tale segnale tuttavia è comunque interpretabile, poiché, sempre ai sensi delle linee guida SESAME, corrisponde a un picco di origine stratigrafica.

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

PROVA HVSR

Comune Parma	Località Parma	
Cantiere Chiesi	Data 19/06/2018	Ora 09:45
Codice lavoro POLI.75.1824		
Codice Prova HVSR2	File Pilotis 2	Durata (min) 20
Strumento Echo Tromo HVSR3	Freq.camp. 155 Hz	F. sensore 2.0 Hz
Operatore Dott. Geol. Matteo Baisi		

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole (<5m/s)	<input type="checkbox"/> medio (5>v>30 m/s)	<input type="checkbox"/> forte (>30 m/s)
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> media	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input type="checkbox"/> argilloso-limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso-limoso duro	<input type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> roccia	
	<input type="checkbox"/> suolo asciutto	<input type="checkbox"/> suolo umido	<input type="checkbox"/> suolo saturo	
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> ceramica
	<input checked="" type="checkbox"/> altro: aiuola con telo pacciamante			
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> altro


STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input checked="" type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti	<input checked="" type="checkbox"/> assenti		<input type="checkbox"/> presenti	
Strutt. sotterranee	<input type="checkbox"/> assenti		<input checked="" type="checkbox"/> presenti: illuminazione a 60 cm	
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte

SORGENTI RUMORE

Disturbo discontinuo		assente	raro	moderato	forte	molto forte	Distanza (m)
	auto				✓		80
	camion		✓				80
	passanti			✓			1
	altro	✓					
Disturbo cont.	<input type="checkbox"/> assente		<input checked="" type="checkbox"/> presente: camion				

OSSERVAZIONI:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	1 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

Tracce in input

Dati riepilogativi:

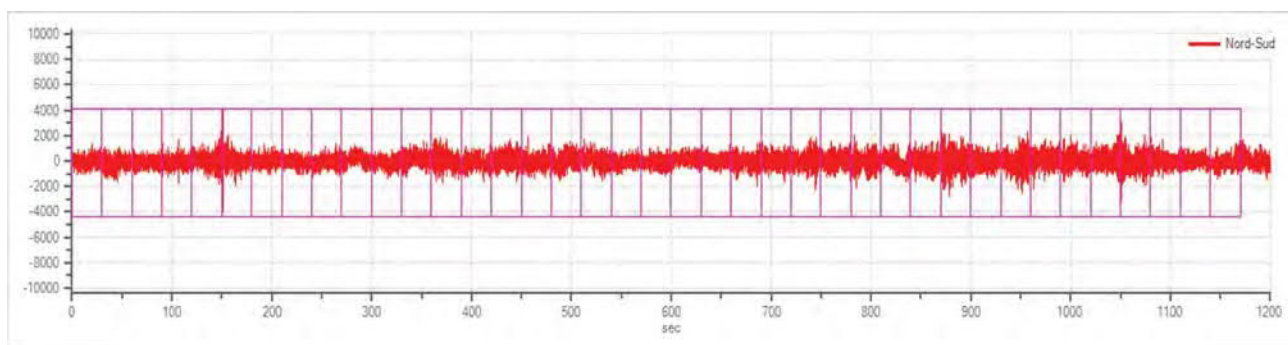
Numero tracce: 3
 Durata registrazione: 1200 s
 Frequenza di campionamento: 155.00Hz
 Numero campioni: 186000
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Finestre selezionate

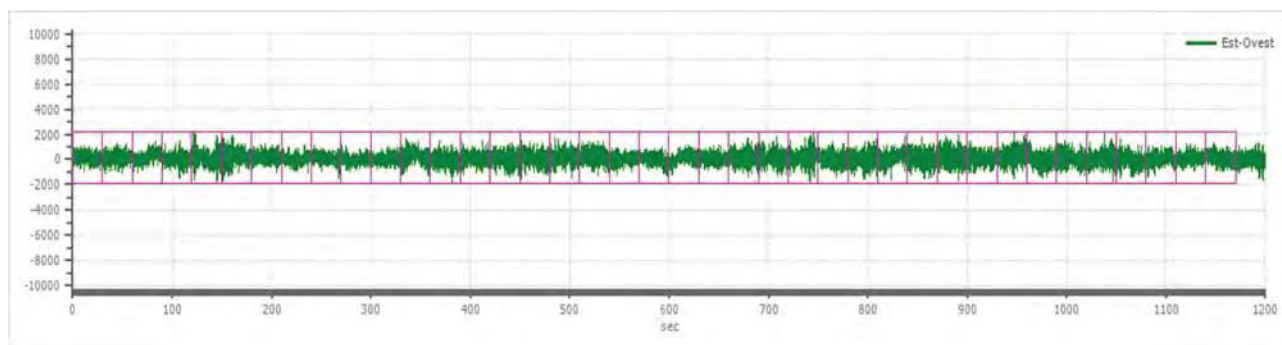
Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 39
 Numero finestre incluse nel calcolo: 37
 Dimensione temporale finestre: 30.000s
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Percentuale di lisciamento: 40.00

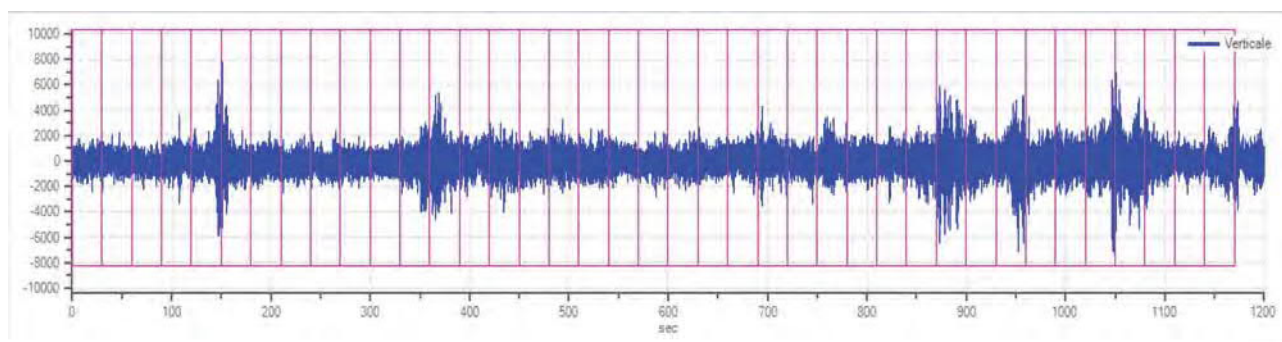
Grafici tracce con finestre selezionate:




Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

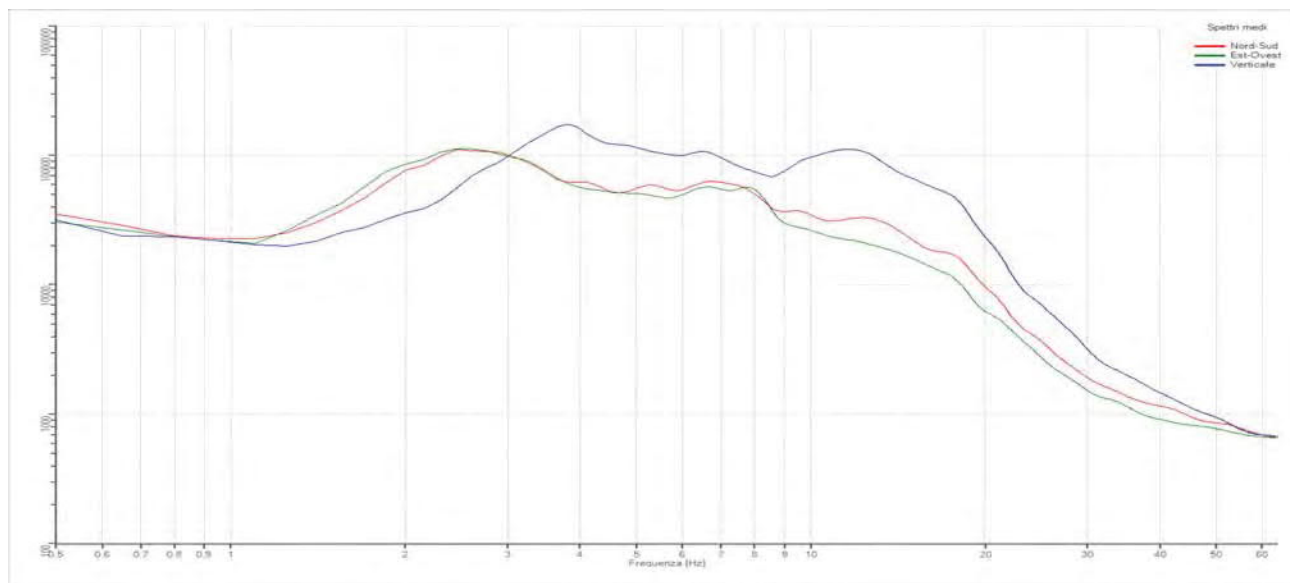


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING DESIGN</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	2 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 64.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Passo frequenze: 0.15 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Percentuale di lisciamento: 10.00 %

Tipo di somma direzionale: Media quadratica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: $2.30 \text{ Hz} \pm 0.18 \text{ Hz}$

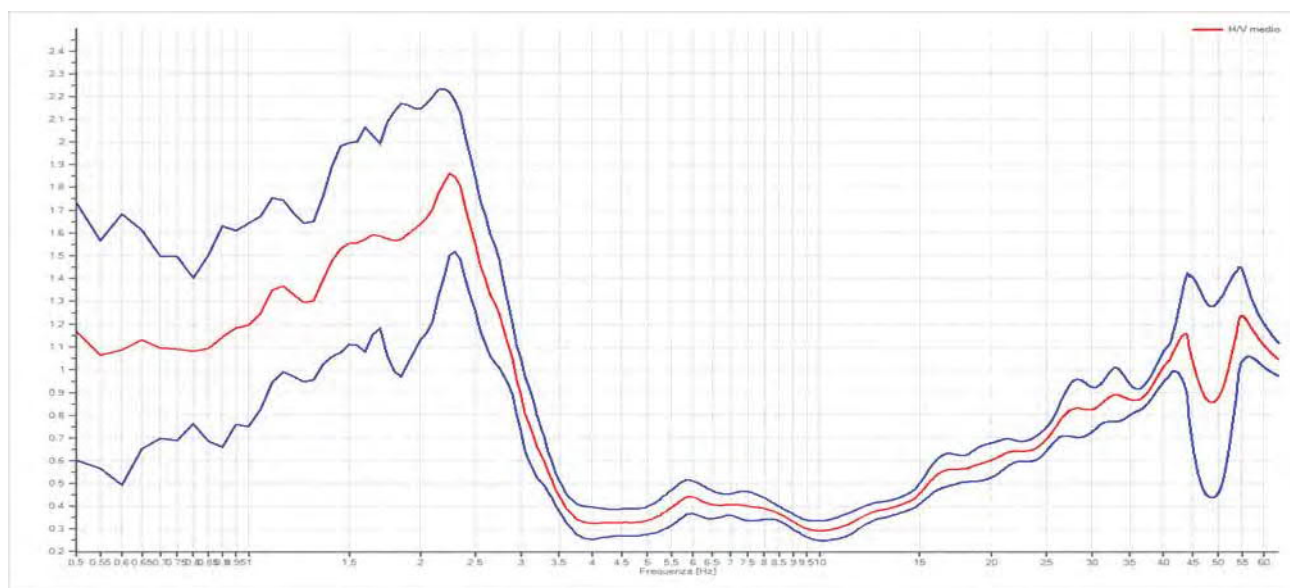

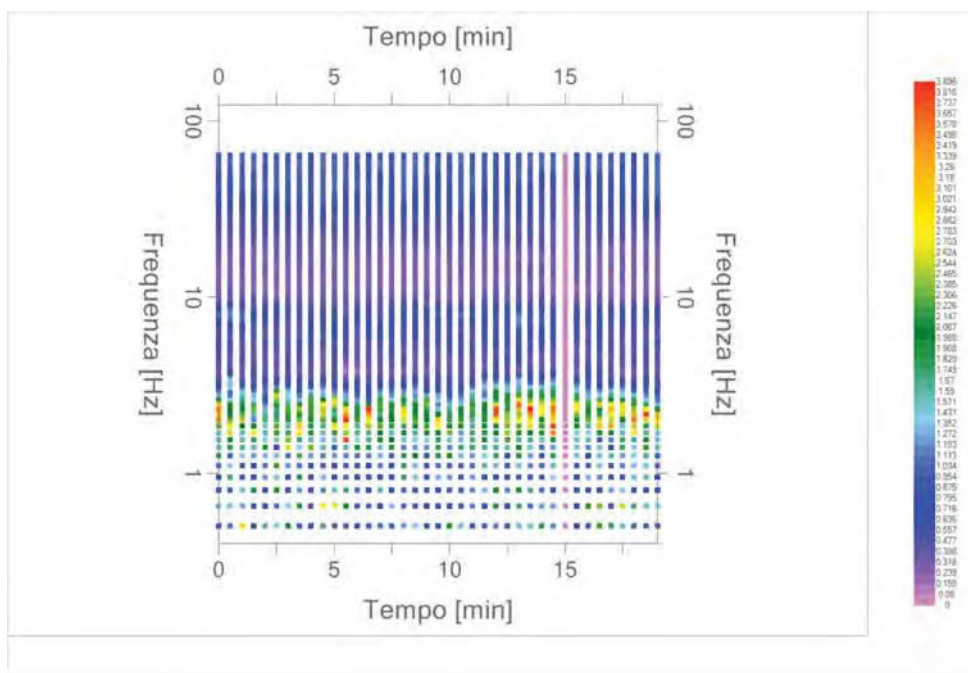


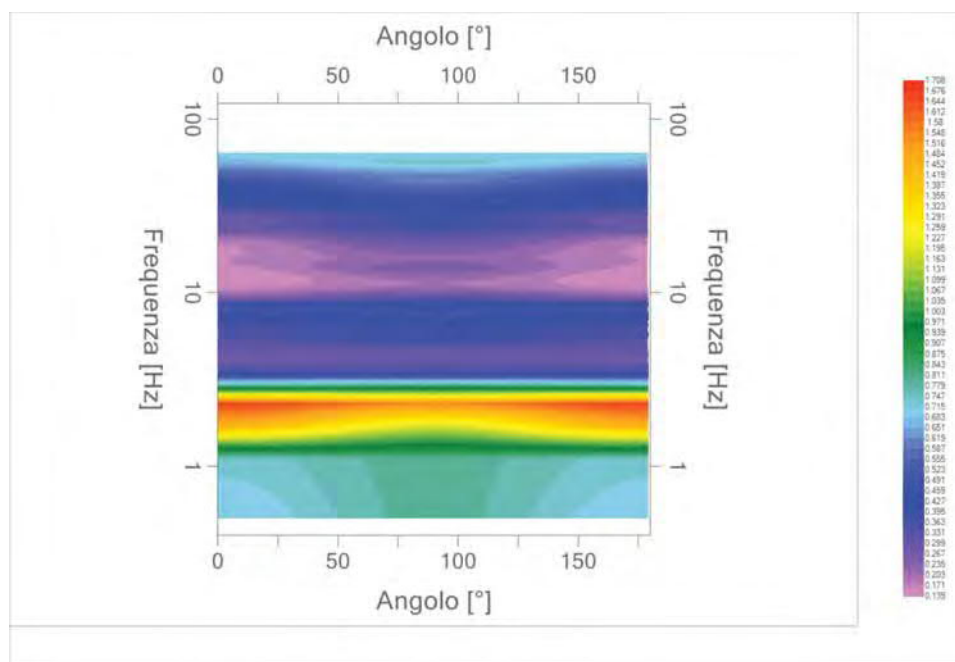
Grafico rapporto spettrale H/V naturale

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEODINAMICA	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	3 di 5


PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)



Mappa della stazionarietà degli spettri



Direzionalità H/V

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEODINAMICA</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	4 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

Verifica secondo le linee guida SESAME, 2005


Picco H/V a 2.30 ± 0.18 Hz (nell'intervallo 0.50 – 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]		
$f_0 > 10 / L_w$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]		
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	OK	
$A_0 > 2$	NO	
$f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	NO	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	NO	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	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
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

*I risultati relativi alle verifiche eseguite ai sensi delle linee guida SESAME, evidenziano che il segnale presenta un picco H/V “non chiaro”. Tale segnale tuttavia è comunque interpretabile, poiché, sempre ai sensi delle linee guida SESAME, corrisponde a un picco di origine stratigrafica.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	5 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

PROVA HVSR

Comune Parma	Località Parma	
Cantiere Chiesi	Data 19/06/2018	Ora 11:22
Codice lavoro POLI.75.1824		
Codice Prova HVSR3	File Pilotis 3	Durata (min) 20
Strumento Echo Tromo HVSR3	Freq.camp. 155 Hz	F. sensore 2.0 Hz
Operatore Dott. Geol. Matteo Baisi		

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input type="checkbox"/> assente	<input checked="" type="checkbox"/> debole (<5m/s)	<input type="checkbox"/> medio (5>v>30 m/s)	<input type="checkbox"/> forte (>30 m/s)
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> media	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input type="checkbox"/> argilloso-limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso-limoso duro	<input type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> roccia	
	<input type="checkbox"/> suolo asciutto	<input type="checkbox"/> suolo umido	<input type="checkbox"/> suolo saturo	
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input checked="" type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> ceramica
	<input type="checkbox"/> altro:			
Accoppiamento sensore	<input type="checkbox"/> piedini infissi	<input checked="" type="checkbox"/> piedini da pavimento	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> altro


STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input checked="" type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti	<input checked="" type="checkbox"/> assenti		<input type="checkbox"/> presenti	
Strutt. sotterranee	<input type="checkbox"/> assenti		<input checked="" type="checkbox"/> presenti: illuminazione e fognatura	
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte

SORGENTI RUMORE

Disturbo discontinuo		assente	raro	moderato	forte	molto forte	Distanza (m)
	auto		✓		✓		3-100
	camion		✓				100
	passanti		✓				1
	altro	✓					
Disturbo cont.	<input type="checkbox"/> assente		<input checked="" type="checkbox"/> presente: motori edificio Chiesi				

OSSERVAZIONI:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	1 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

Tracce in input

Dati riepilogativi:

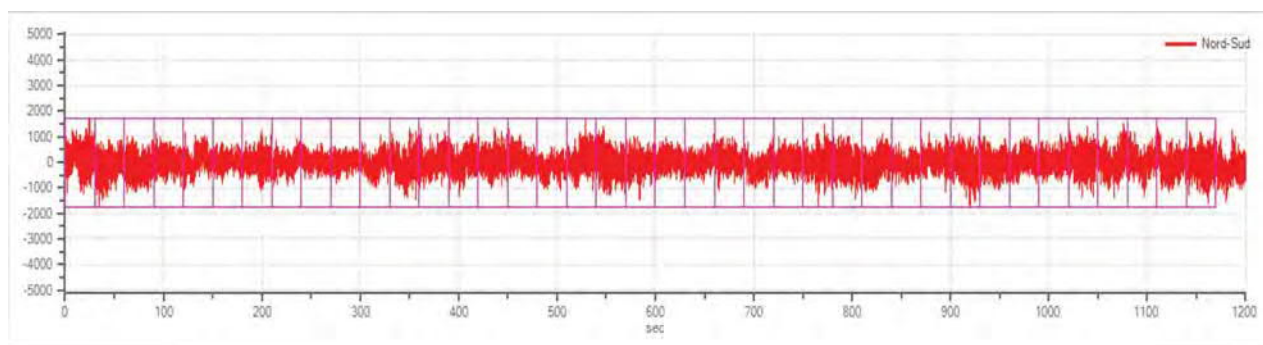
Numero tracce: 3
 Durata registrazione: 1200 s
 Frequenza di campionamento: 155.00Hz
 Numero campioni: 186000
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Finestre selezionate

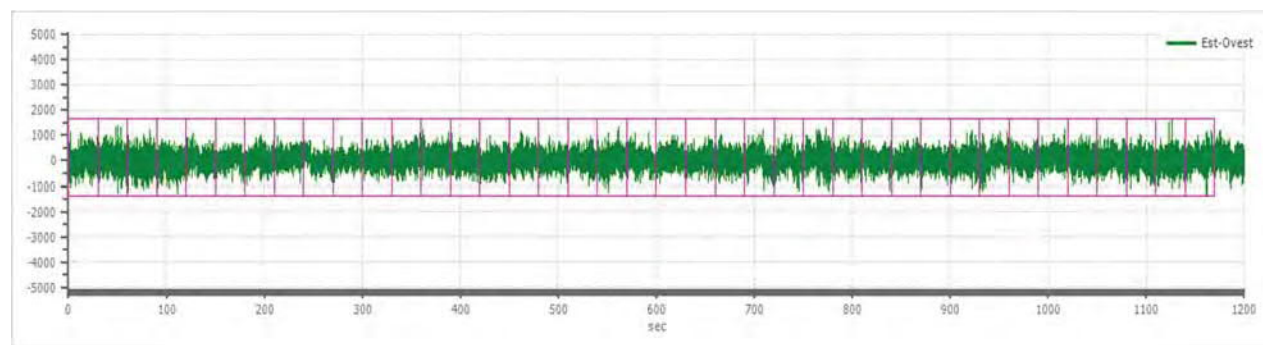
Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 39
 Numero finestre incluse nel calcolo: 37
 Dimensione temporale finestre: 30.000s
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Percentuale di lisciamento: 40.00

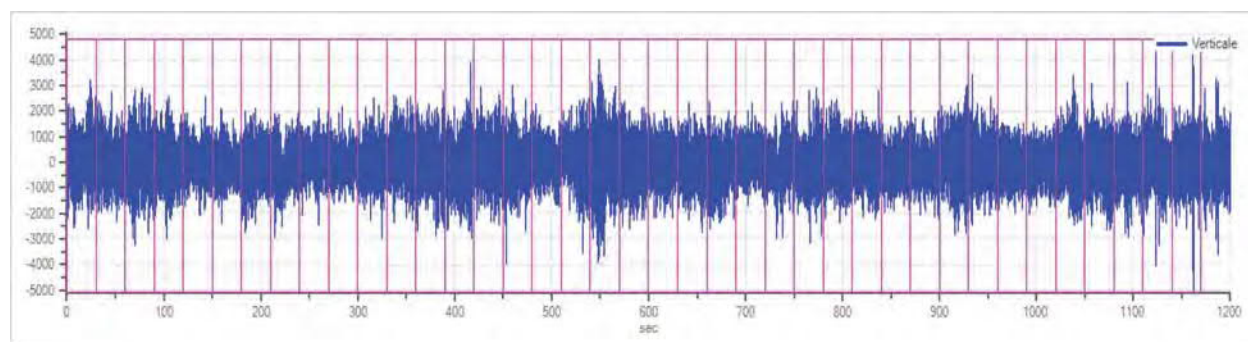
Grafici tracce con finestre selezionate:




Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

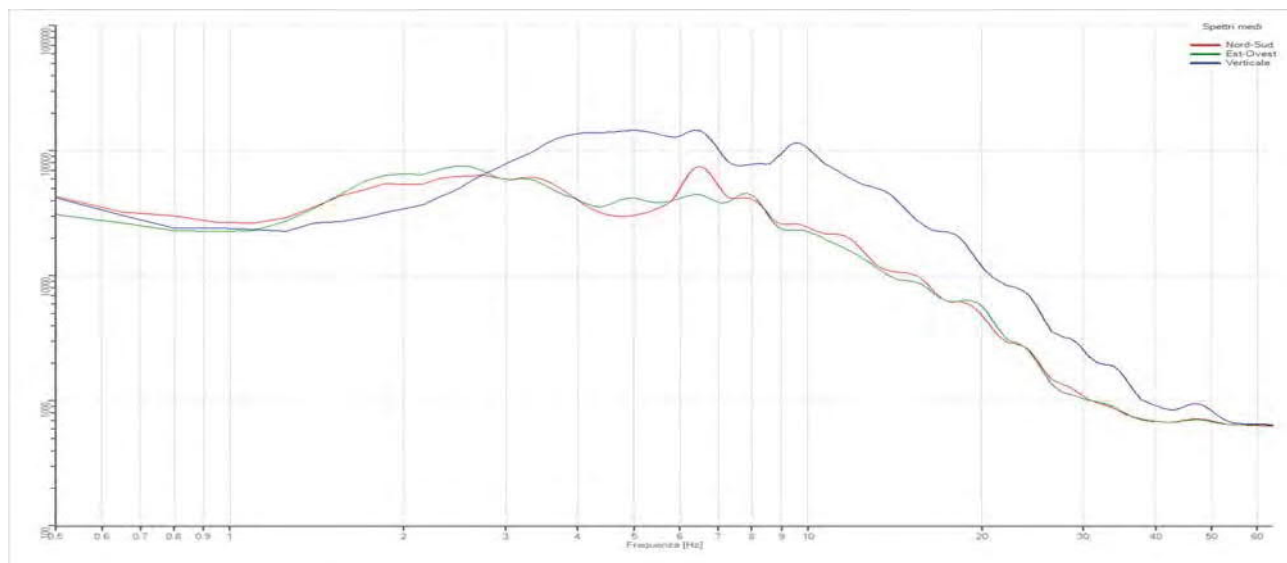


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING DESIGN</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	2 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 64.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Passo frequenze: 0.15 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Percentuale di lisciamento: 10.00 %

Tipo di somma direzionale: Media quadratica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: $1.85 \text{ Hz} \pm 0.23 \text{ Hz}$

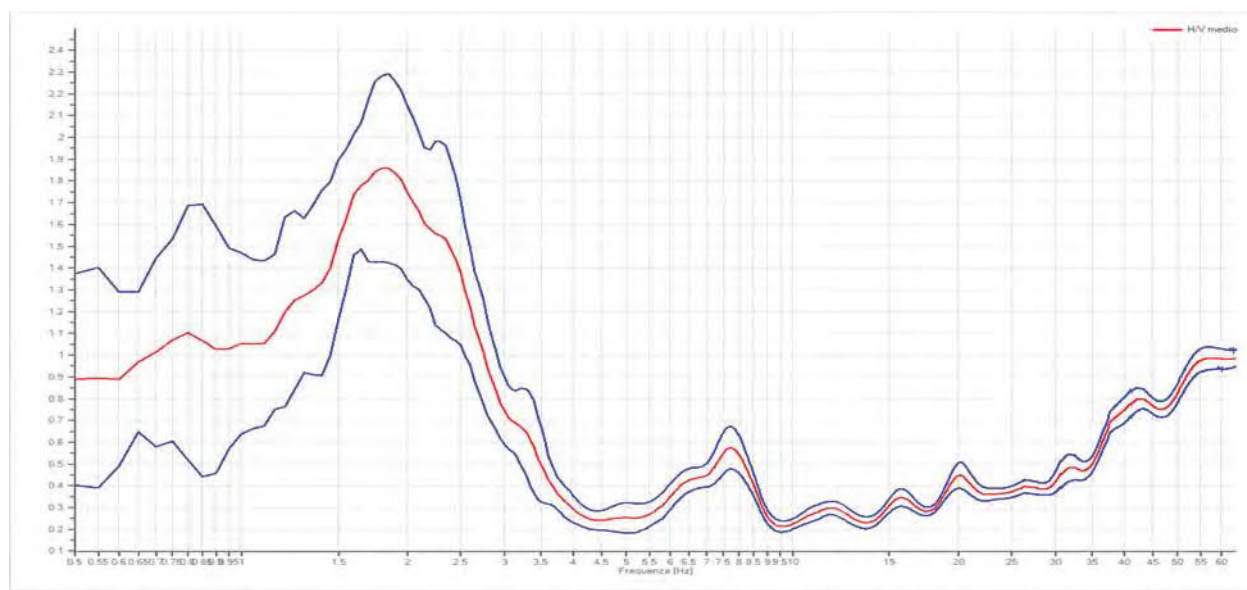

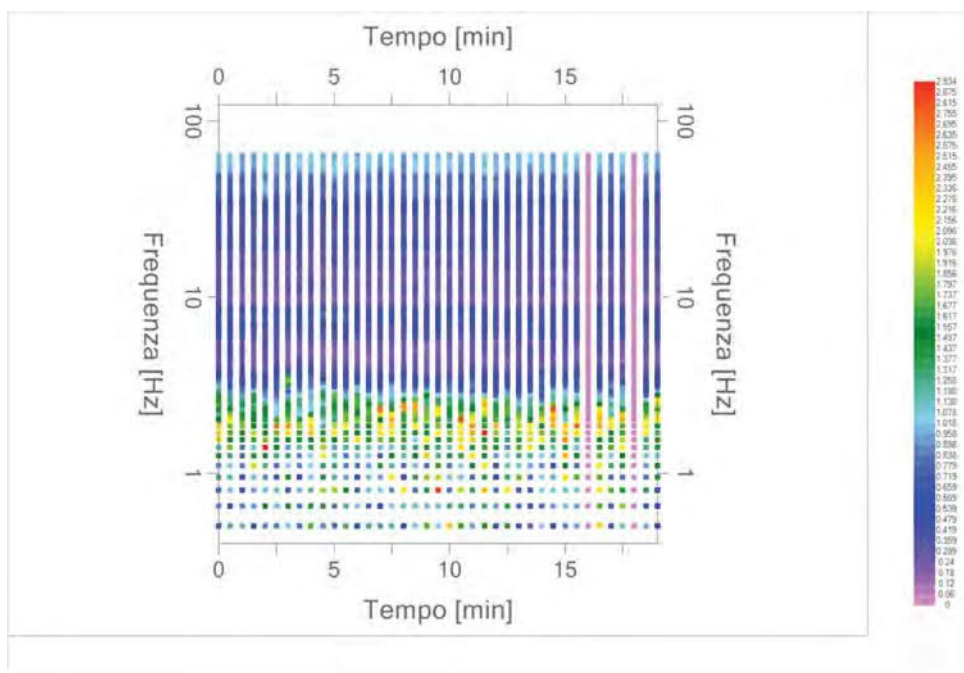


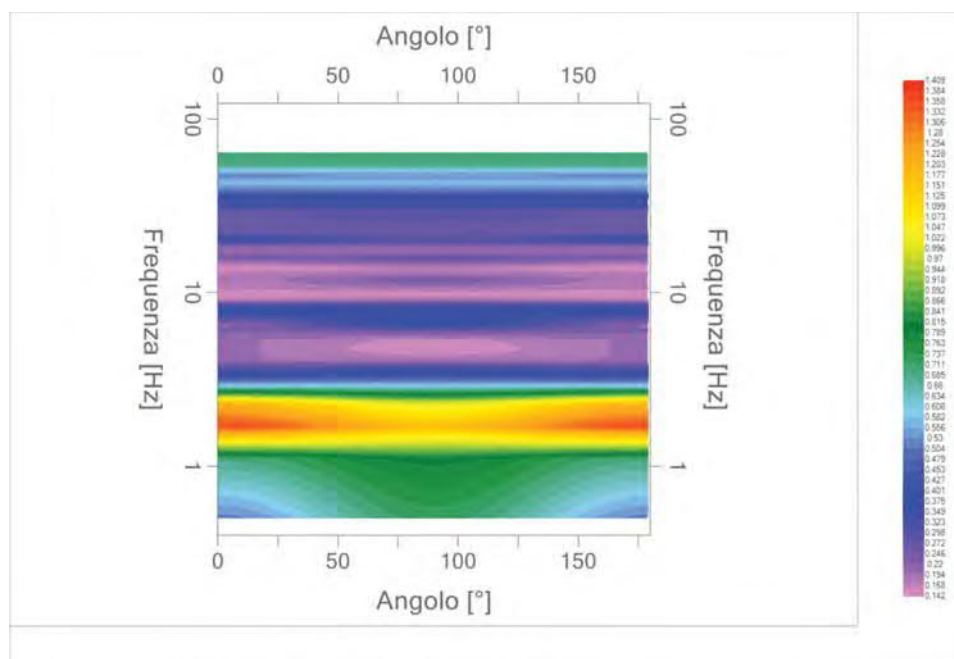
Grafico rapporto spettrale H/V naturale

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	3 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)



Mapa della stazionarietà degli spettri



Direzionalità H/V

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

Verifica secondo le linee guida SESAME, 2005

Picco H/V a 1.85 ± 0.23 Hz (nell'intervallo 0.50 – 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]		
$f_0 > 10 / L_w$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	OK	
$A_0 > 2$	NO	
$f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	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
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

*I risultati relativi alle verifiche eseguite ai sensi delle linee guida SESAME, evidenziano che il segnale presenta un picco H/V “non chiaro”. Tale segnale tuttavia è comunque interpretabile, poiché, sempre ai sensi delle linee guida SESAME, corrisponde a un picco di origine stratigrafica.

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

PROVA HVSR

Comune Parma	Località Parma	
Cantiere Chiesi	Data 19/06/2018	Ora 11:51
Codice lavoro POLI.75.1824		
Codice Prova HVSR4	File Pilotis rugby	Durata (min) 20
Strumento Echo Tromo HVSR3	Freq.camp. 155 Hz	F. sensore 2.0 Hz
Operatore Dott. Geol. Matteo Baisi		

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole (<5m/s)	<input type="checkbox"/> medio (5>v>30 m/s)	<input type="checkbox"/> forte (>30 m/s)
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> media	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input type="checkbox"/> argilloso-limoso soffice	<input checked="" type="checkbox"/> argilloso-limoso duro	<input checked="" type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> roccia	
	<input checked="" type="checkbox"/> suolo asciutto	<input type="checkbox"/> suolo umido	<input type="checkbox"/> suolo saturo	
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> ceramica
	<input type="checkbox"/> altro:			
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> altro


STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti	<input checked="" type="checkbox"/> assenti		<input type="checkbox"/> presenti	
Strutt. sotterranee	<input checked="" type="checkbox"/> assenti		<input type="checkbox"/> presenti:	
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input checked="" type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte

SORGENTI RUMORE

Disturbo discontinuo		assente	raro	moderato	forte	molto forte	Distanza (m)
	auto			✓	✓		7-80
	camion		✓				80
	passanti		✓				5
	altro	✓					
Disturbo cont.	<input checked="" type="checkbox"/> assente		<input type="checkbox"/> presente:				

OSSERVAZIONI:

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	1 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

Tracce in input

Dati riepilogativi:

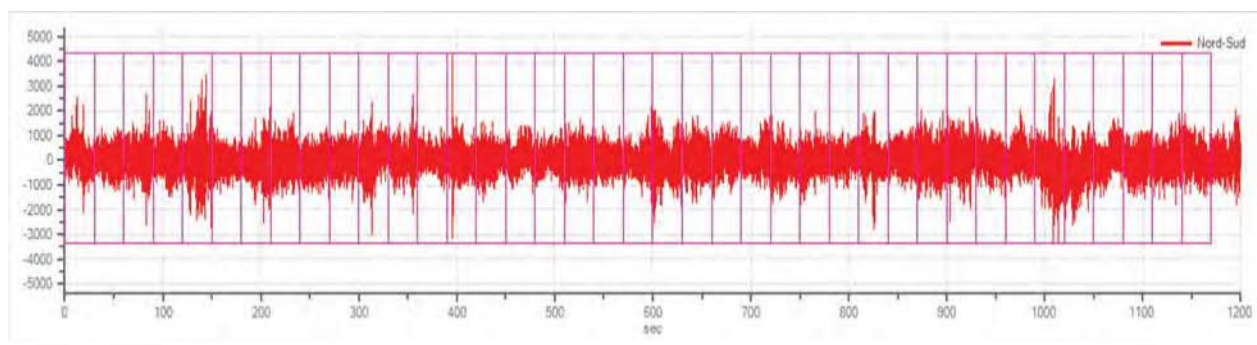
Numero tracce: 3
 Durata registrazione: 1200 s
 Frequenza di campionamento: 155.00Hz
 Numero campioni: 186000
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Finestre selezionate

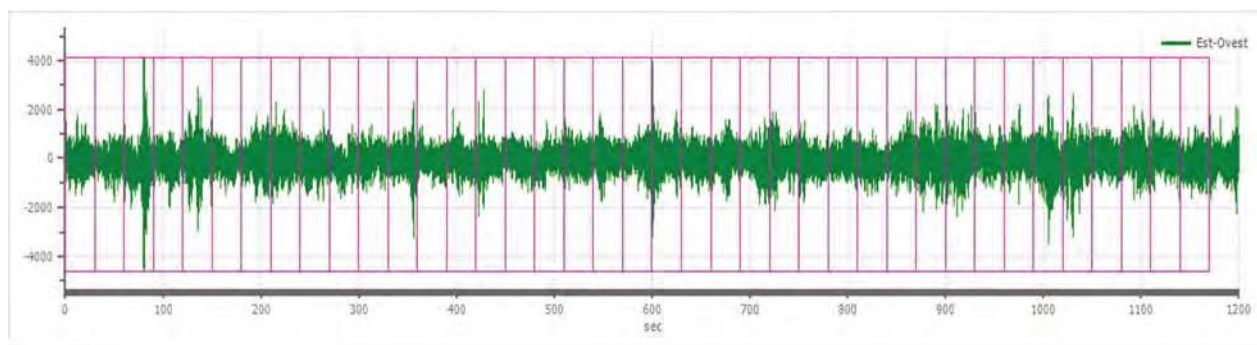
Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 39
 Numero finestre incluse nel calcolo: 38
 Dimensione temporale finestre: 30.000s
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Percentuale di lisciamento: 40.00

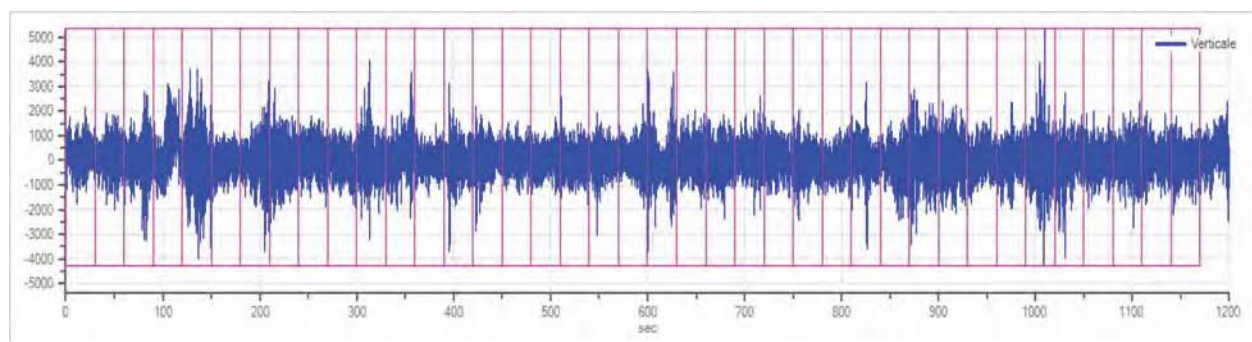
Grafici tracce con finestre selezionate:




Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

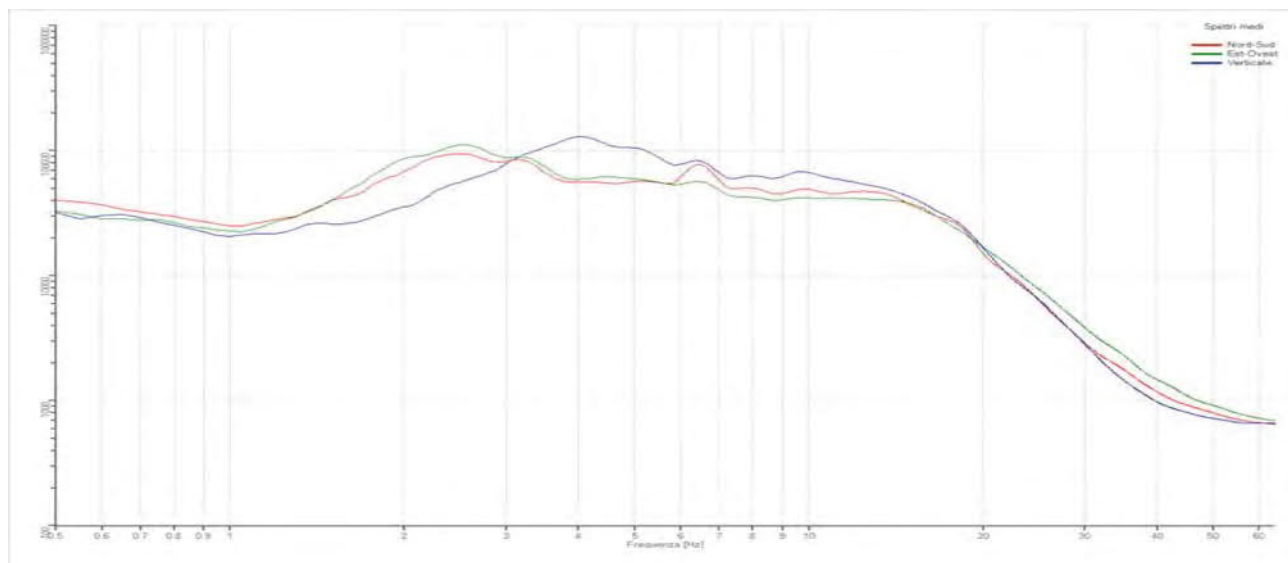


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING DESIGN</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSr	Luglio 2018	0	2 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 64.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Passo frequenze: 0.15 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Percentuale di lisciamento: 10.00 %

Tipo di somma direzionale: Media quadratica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: $2.05 \text{ Hz} \pm 0.18 \text{ Hz}$

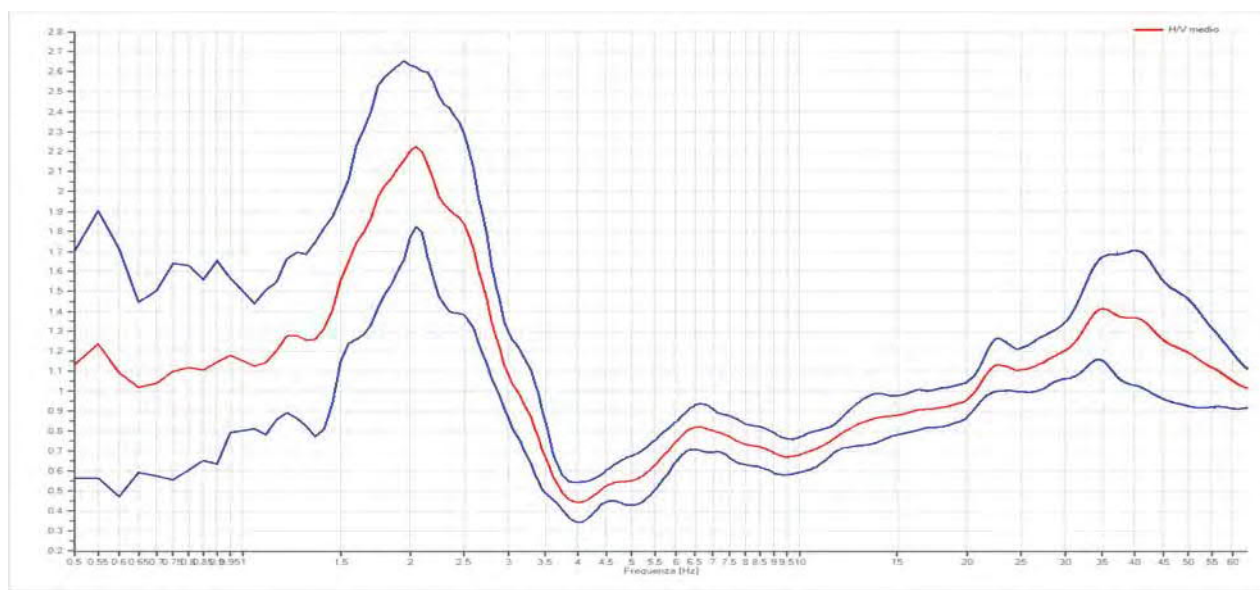

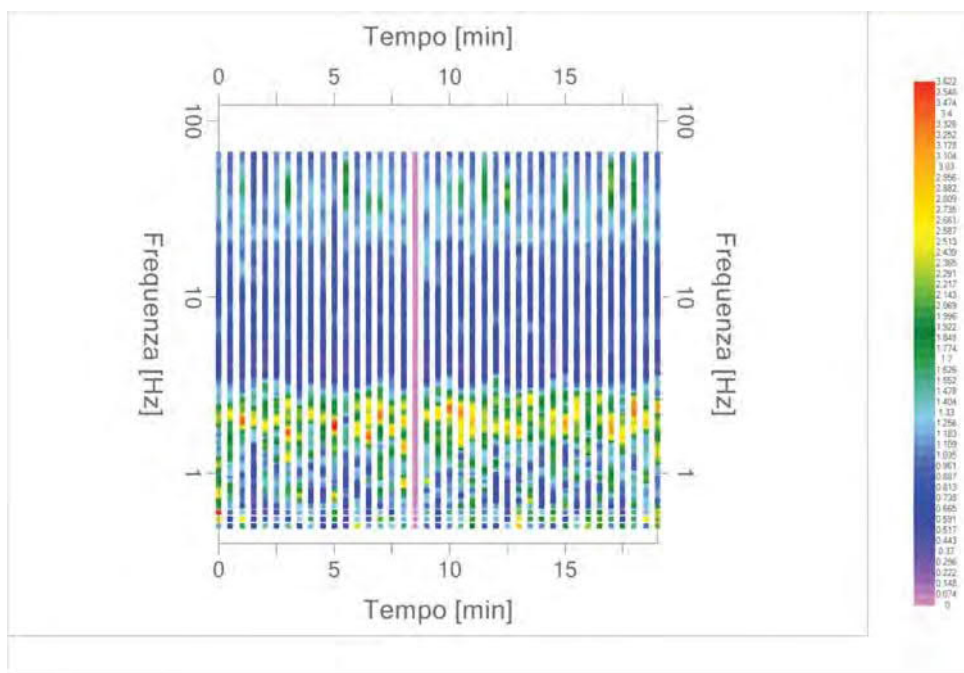


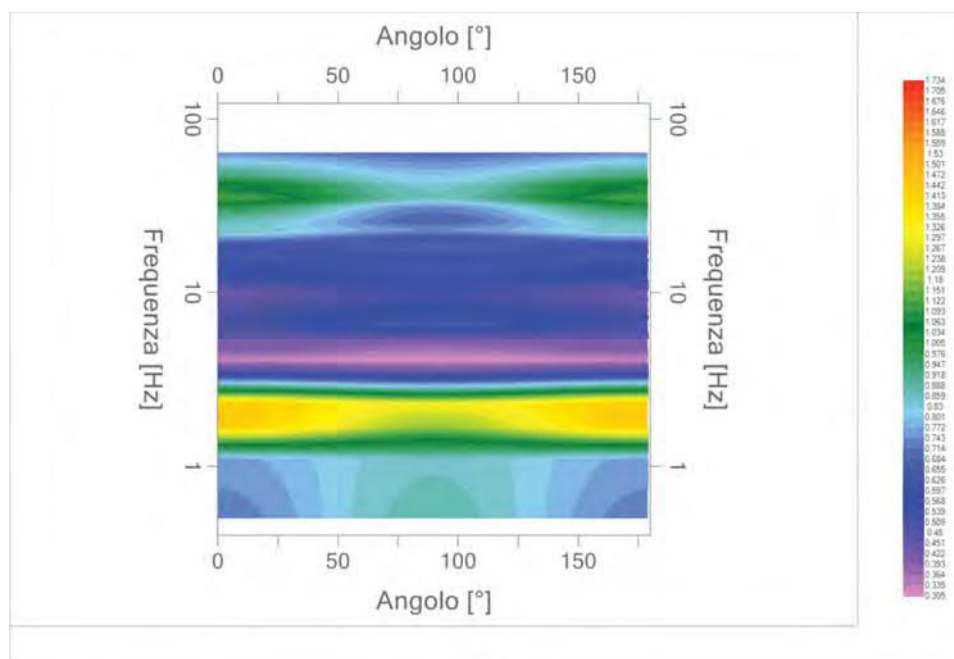
Grafico rapporto spettrale H/V naturale

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	3 di 5


PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)



Mappa della stazionarietà degli spettri



Direzionalità H/V

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEODINAMICA</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	4 di 5

PROGETTO:	Nuovo building servizi per Chiesi SpA
LOCALITA':	Via San Leonardo, Parma (PR)

Verifica secondo le linee guida SESAME, 2005


Picco H/V a 2.05 ± 0.18 Hz (nell'intervallo 0.50 – 64.0 Hz).
--

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]		
$f_0 > 10 / L_w$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]		
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	OK	
$A_0 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	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
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

*I risultati relativi alle verifiche eseguite ai sensi delle linee guida SESAME, evidenziano che il segnale presenta un picco H/V “non chiaro”. Tale segnale tuttavia è comunque interpretabile, poiché, sempre ai sensi delle linee guida SESAME, corrisponde a un picco di origine stratigrafica.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Report indagine HVSR	Luglio 2018	0	5 di 5

Progetto

K773 Aseptic Manufacturing Facility

Parma (PR)

All. 5 - Verifica a liquefazione

Committente:

Jacobs Italia S.p.A.

I Geologi:

Dott. Carlo Caleffi

Dott. Francesco Cerutti

Collaboratore:

Dott.ssa Ing. Giulia Mainardi

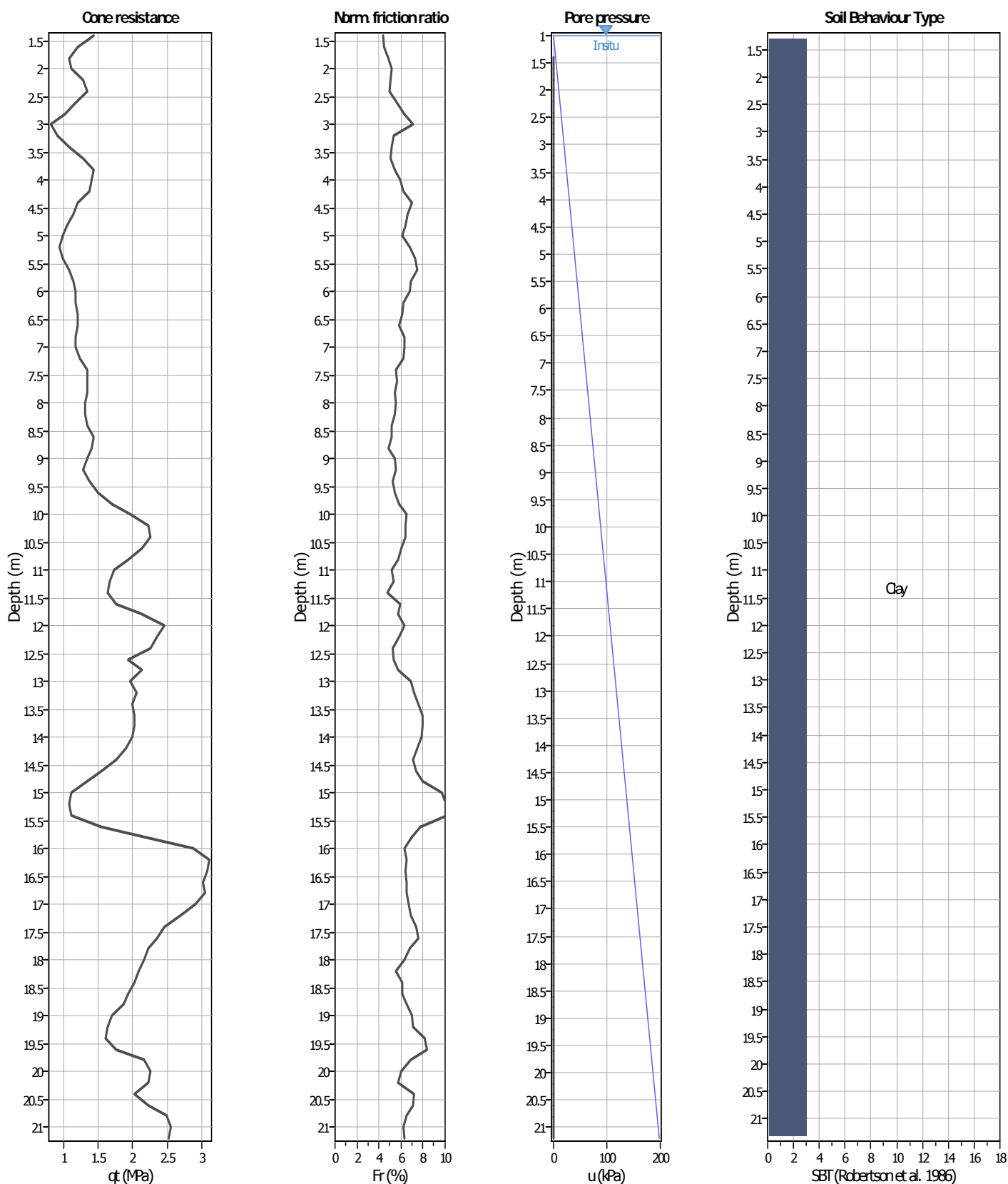


EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY
www.engeo.it

Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma
Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181
Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN
Tel-Fax 0376 467967
email info@engeo.it - www.engeo.it

Project: Aseptic Manufacturing
Location: Chiesi - San Leonardo

CPT: CPT2
Total depth: 21.20 m



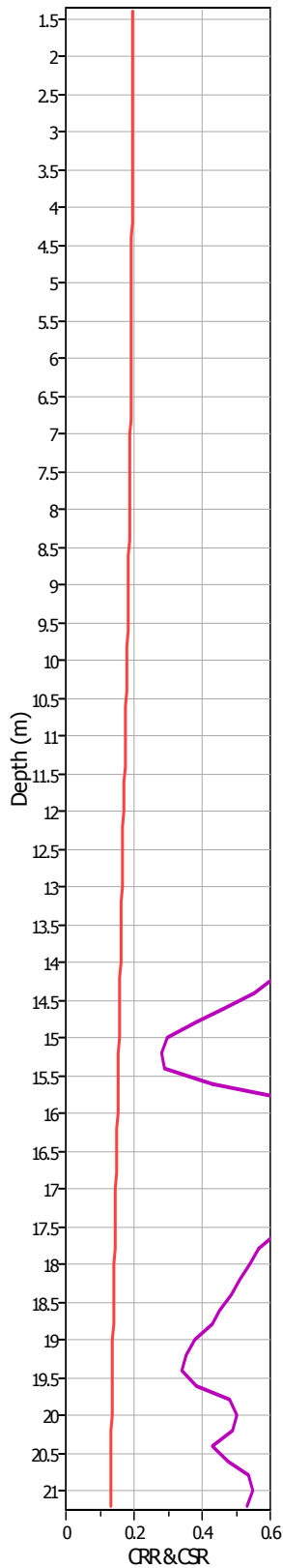
Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	0.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



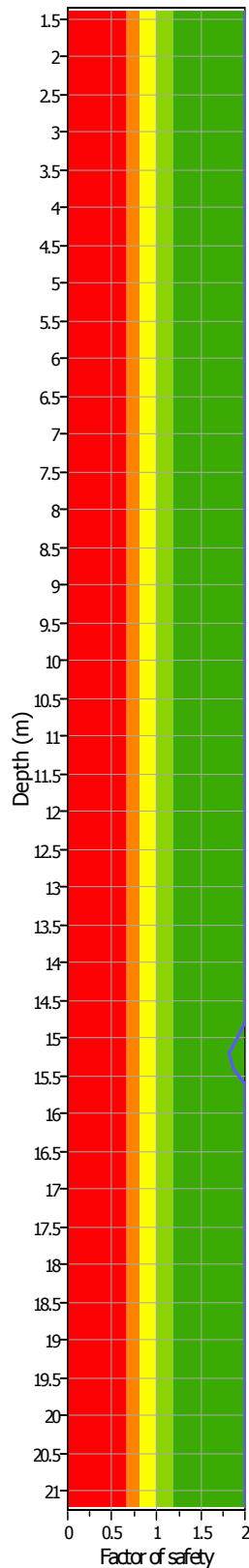
Project: Aseptic Manufacturing
Location: Chiesi - San Leonardo

CPT: CPT2
Total depth: 21.20 m

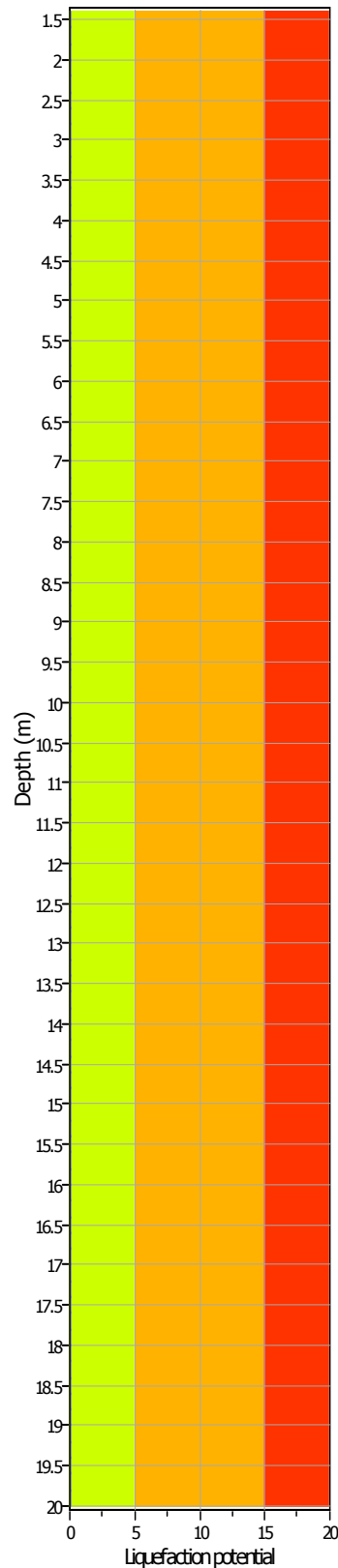
CRRplot



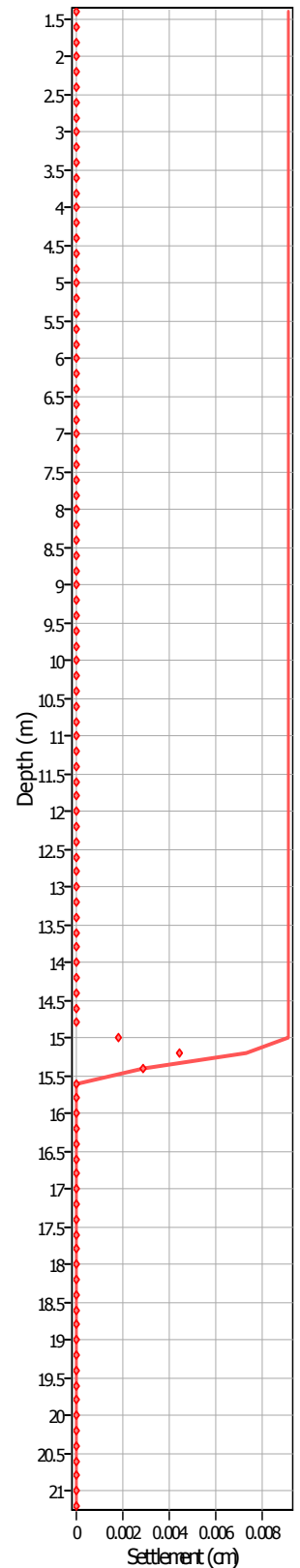
FSPlot



LPI



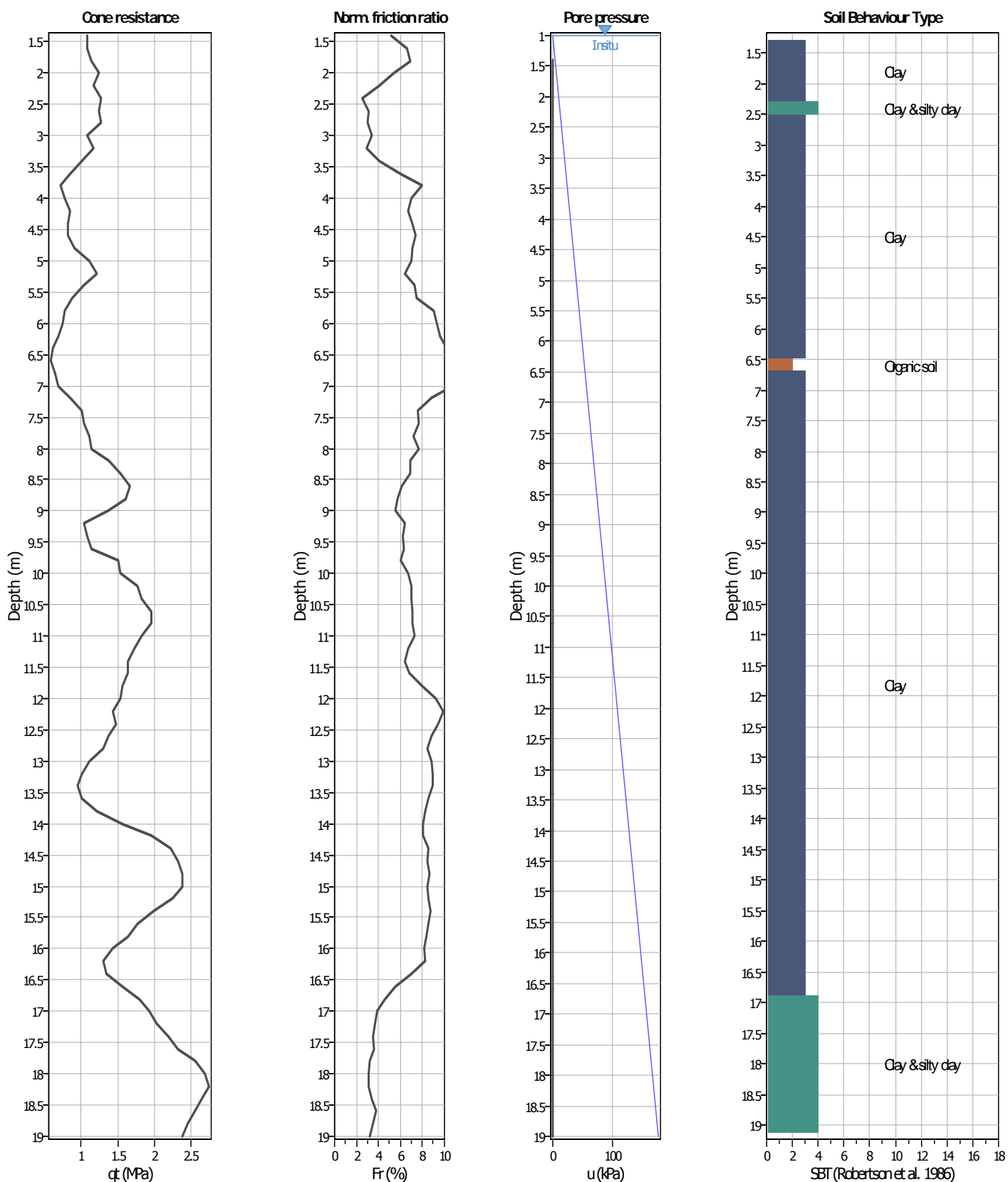
Vertical settlements



Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	0.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based

Project: Aseptic Manufacturing
Location: Chiesi - San Leonardo

CPT: CPT5
Total depth: 19.00 m



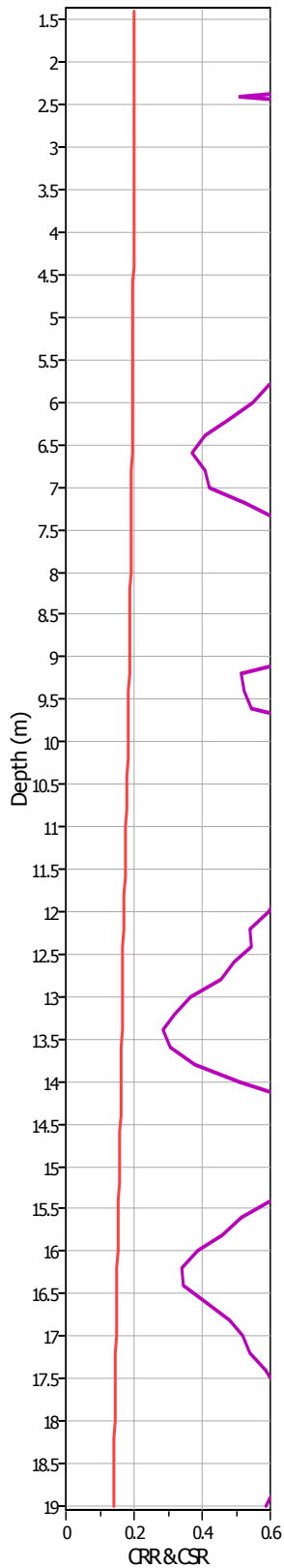
Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	0.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



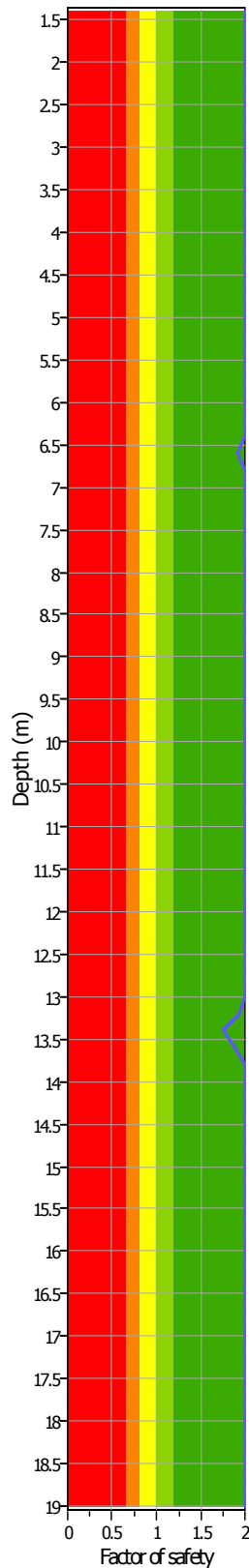
Project: Aseptic Manufacturing
Location: Chiesi - San Leonardo

CPT: CPT5
Total depth: 19.00 m

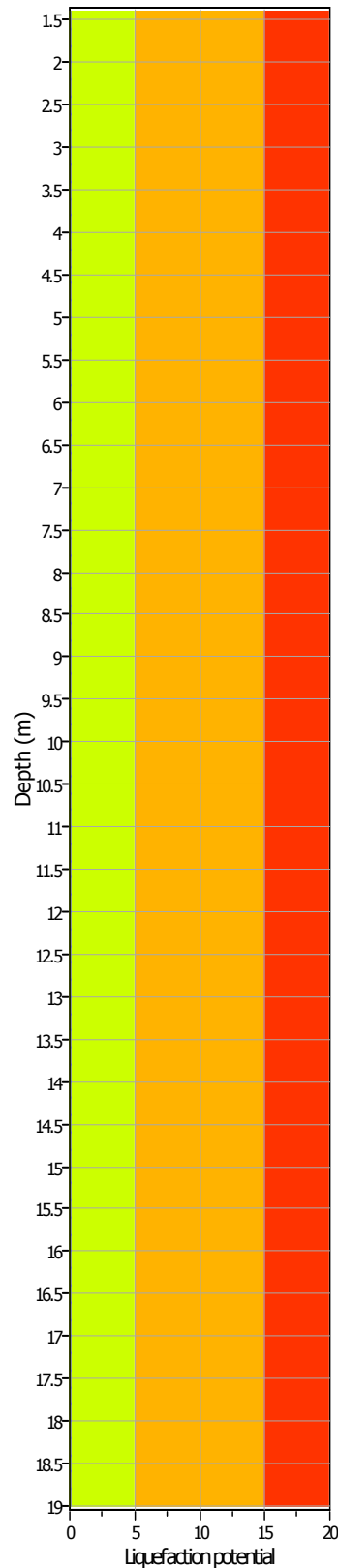
CRRplot



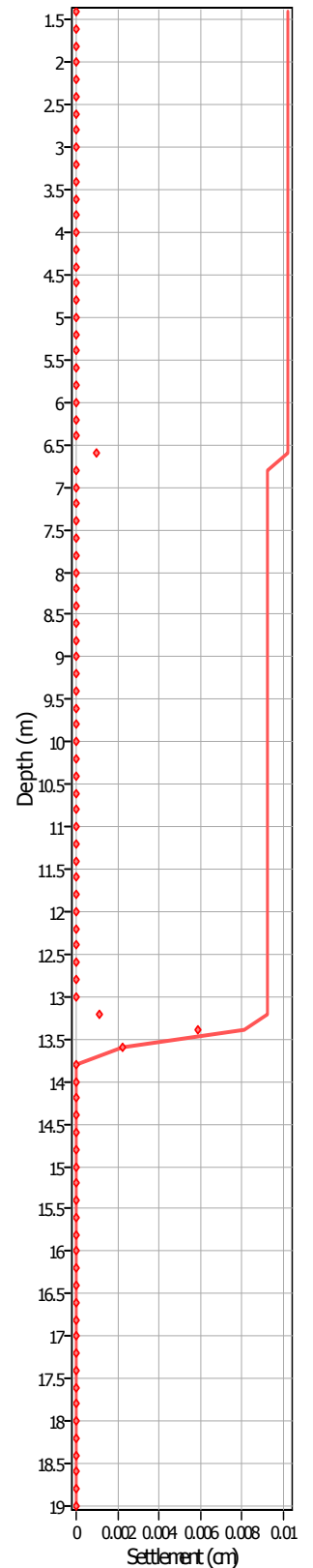
FSPlot



LPI



Vertical settlements



Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	0.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based