

**ECO GEO ENGINEERING s.r.l.**

Geologia ed Ingegneria ambientale

Via S. Angelo, 65

06032 Trevi (PG)

Tel. e fax 0742/381170

0742/780584

Trevi 11/04/2014

---

**COMUNE DI FOLIGNO**

**Provincia di Perugia**

---

**PIANO DI INIZIATIVA PRIVATA – LOTTIZZAZIONE IGN**

**VIA BIANCA – ZONA IND. S. ERACLIO**

---

**INTEGRAZIONE ALLA RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

---

Committenza : Sig. Antonio Galuppo, Isotermica s.r.l., Sig. Nanni Emanuele

Il geologo  
Dott. Claudio Bernetti

## **PREMESSA**

Su commissione e per conto del sig. Antonio Galuppo, del sig. Nanni Emanuele e della società Isotermica s.r.l., è stata eseguita un'indagine geologica a corredo della richiesta di piano attuativo che interessa una area sita nella zona industriale di S. Eraclio ove è in progetto la realizzazione di tre fabbricati ad uso industriale ed artigianale.

Il complesso si trova in loc. Z.I. Sant'Eraclio ed è censito nel NCT del Comune di Foligno al foglio n° 251 con le particelle 16 parte, 151 parte, 174, 222, 916.

L'area di studio è individuabile nella tavoletta IGM alla scala 1:25.000 FOLIGNO I° quadrante N.O. del F.° 131 della Carta d'Italia.

La presente integrazione ha lo scopo di approfondire gli studi sismici già effettuati e di fornire la microzonazione sismica di II livello del sito in oggetto, nonché la verifica a liquefazione delle terre in posto.

Trattandosi di un intervento di attuazione indiretta, si è tenuto conto dei dettami della D.G.R. n°226 del 14/03/2001 e s.m.i.

In allegato si presentano i seguenti elaborati:

- Verifica a Liquefazione;
- Stratigrafia del sondaggio eseguito in adiacenza al lotto;
- Granulometria dei terreni in posto;
- Carta delle indagini eseguite;
- Carta di microzonazione di II livello;
- Rapporto delle prove HVSR.

## **FINALITA' E METODOLOGIA DI STUDIO**

Il presente studio di microzonazione sismica ha la finalità di prevedere la distribuzione degli effetti di un terremoto nell'area oggetto di studio e di individuare criteri di gestione del territorio volti a mitigare, in futuro, i danni di un terremoto.

La microzonazione sismica implica quindi la stima sia della pericolosità che della vulnerabilità sismica dell'area di studio, vale a dire del modo in cui la

struttura geologica superficiale influisce sulla propagazione delle onde sismiche.

Effetti locali d'amplificazione dell'ampiezza e d'incremento della durata del moto sismico (effetti di sito) caratterizzano generalmente le coperture di terreni superficiali poggianti su un substrato roccioso.

Gli effetti di sito possono quindi giocare un ruolo cruciale sulla distribuzione del danneggiamento durante terremoti di forte intensità.

Lo studio degli effetti di sito avviene mediante l'analisi di registrazioni di terremoti e di rumore sismico ambientale (metodi sperimentali) e/o la simulazione della propagazione delle onde sismiche in modelli del sottosuolo (metodi numerici), e necessariamente si avvale di contributi di diversa estrazione di tipo sismologico, geofisico, geotecnico, ingegneristico.

La Pericolosità Sismica (Seismic Hazard) viene definita come il probabile livello di scuotimento del suolo associato al verificarsi di un terremoto; una sua quantificazione può essere ottenuta dagli elenchi e dalle carte recentemente realizzati dal Servizio Sismico Nazionale (SSN) e dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT).

La Microzonazione Sismica rappresenta quindi l'attività svolta ai fini di una più dettagliata suddivisione del territorio in aree in cui i valori di pericolosità sismica rispecchiano più rigorosamente le condizioni locali.

L'analisi della risposta di un suolo alle sollecitazioni sismiche (Risposta Sismica Locale), costituisce la parte fondamentale delle attività di Microzonazione Sismica; essa richiede un approccio di tipo multidisciplinare che integri i contributi provenienti dalla Sismologia, dalla Geofisica e dalla Geotecnica.

Della risposta sismica locale esistono vari tipi di rappresentazione.

Il modo più semplice ed intuitivo viene fornito dal calcolo dell'accelerogramma che simula quanto potrebbe essere registrato da un accelerometro posto in superficie nel caso di occorrenza di un terremoto simile a quello di riferimento; dalla variazione temporale dell'accelerazione è possibile calcolare anche le funzioni relative alla velocità ed allo spostamento in superficie.

In base alla importanza delle opere, in particolare si tratta di 3 fabbricati ad uso industriale e artigianale, si ritiene sufficiente la Microzonazione Sismica di II livello che viene eseguita in questa sede per questo sito, essendo gli studi di microzonazione regionali già effettuati, non estesi fino a tale sito.

Pertanto, sono state eseguite indagini specifiche allo scopo di produrre i dati necessari, consistite in:

- 2 indagini HVSR;
- Acquisizione di dati provenienti da un sondaggio eseguito nel lotto a valle del sito oggetto di studio.

Mentre erano già state eseguite in precedenza

- 3 indagini sismiche tipo MASW;
- 5 prove penetrometriche DPSH;

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Di seguito si riportano i riferimenti normativi per l'attività oggetto della presente relazione.

L.R. 11/2005 «Norme in materia di governo del territorio: pianificazione urbanistica comunale»;

D.G.R. 377/2010 criteri per l'esecuzione degli stutti di Microzonazione Sismica”

Legge 2 febbraio 1974, n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;

Legge 10 dicembre 1981, n. 741, Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 11 marzo 1988, 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;

Legge 24 febbraio 1992, n. 225, Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile;

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;

2001).

Decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112, Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59;

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia;

Legge 9 novembre 2001, n. 401, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, recante disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di protezione civile;

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;

Legge 27 luglio 2004, n. 186, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, “Disposizioni urgenti per garantire la funzionalità di taluni settori della pubblica amministrazione;

Disposizioni per la rideterminazione di deleghe legislative e altre disposizioni connesse”;

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni;

Decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008, Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni;

## **SISMICITA' DELL'AREA - NOTIZIE STORICHE**

Dall'esame della storia sismica dell'area Umbro Marchigiana, è risultato che il territorio di Foligno è stato interessato da fenomeni sismici, distribuiti lungo fasce (zone sismogenetiche) allungate in direzione appenninica.

Terremoti di media ed elevata intensità, fino all'X - XII grado della scala macrosismica MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), avvengono nell'area appenninica a ridosso dei rilievi montuosi più importanti.

Prima del 1983 la classificazione sismica non si basava su studi sismologici approfonditi, ma era definita posteriormente ad un evento sismico attraverso i rilevamenti macrosismici dei danni subiti dai manufatti nei comuni colpiti dai terremoti.

Il "modello sismogenetico" elaborato dal GNDT suddivide questa fascia appenninica in più zone sismogenetiche.

Secondo "NT4.1, catalogo dei terremoti di area italiana al di sopra della soglia di danno" del GNDT, le zone più attive risultano la 45, la 46 e la 47.

Gli epicentri dei terremoti del settembre/ottobre 1997 ricadono tutti nella zona 47; quelli del 26 settembre e molti dei successivi sono localizzati in un'area compresa tra Serravalle del Chienti, Foligno e Nocera, caratterizzata da un'attività sismica meno frequente, ad esempio, di quella dell'Alta Valnerina.

Limitando l'analisi ai maggiori terremoti storici che possono aver avuto origine nell'area maggiormente interessata dalla sequenza sismica del settembre-ottobre 1997, si osserva che il catalogo NT4.1 del GNDT (Camassi e Stucchi, 1996) elenca cinque eventi di magnitudo paragonabile alla sequenza del 1997 (tab. 1).

Tabella 1. Principali terremoti storici con origine nell'area maggiormente interessata dalla sequenza sismica del settembre-ottobre 1997 (da NT4.1).

Data	Ora	Area epicentrale	Io	Lat N	Lon E	M
1279 04 30	18	CAMERINO	100	43.100	12.900	67 Ms
1747 04 17		FIUMINATA	90	43.200	12.817	62 Ms
1751 07 27	03	GUALDO TADINO	100	43.250	12.750	67 Ms
1791 10 11		SCOPOLI	75	42.967	12.817	52 Ms
1838 02 14		VALNERINA	80	42.867	12.833	55 Ms

Di seguito viene presentata una sintesi delle informazioni disponibili per i terremoti ricordati in tabella.

Il 30 aprile 1279 l'Appennino umbro-marchigiano fu interessato da un forte terremoto che precedette di poche ore un secondo evento distruttivo

verificatosi nell'Appennino tosco-emiliano. L'area di danneggiamento del terremoto umbro-marchigiano fu ampia.

Fonti storiche attestano che due terzi degli edifici di Camerino furono distrutti mentre Cagli, Fabriano, Matelica, San Severino Marche, Cingoli, Nocera, Foligno e Spello rimasero "diroccate".

Tutti i castelli (insediamenti minori cinti da mura) tra Nocera e Camerino "patirono molti danni".

Non ci sono dati certi sul numero, comunque elevato, delle vittime, sull'estensione dell'area di risentimento (che comprese certamente Roma) e sulle repliche.

Secondo le cronache del tempo, il terremoto durò per 14 o 15 giorni; è però difficile valutare quanto questi dati siano attendibili.

Il terremoto del 1279, con tutte le incertezze legate alla relativa lacunosità dei dati storici, potrebbe essersi originato nella stessa area dei terremoti attuali.

A favore di questa chiave di lettura, gioca la considerazione sulla notevole estensione del campo macrosismico e sulla sua relativa 'somiglianza' a quello attuale (fatta eccezione per il settore meridionale di Sellano - Preci danneggiato a seguito della scossa del 14 ottobre 1997).

L'evento del 17 aprile 1747 potrebbe essere la scossa principale di una sequenza avvertita tra il 26 gennaio e il 20 dicembre 1747.

Causò crolli e danni abbastanza gravi nella diocesi di Nocera Umbra e nel Fabrianese.

Dopo repliche quotidiane durate un mese circa, l'attività si attenuò fino al 20 e 22 settembre 1747, quando nuove forti scosse danneggiarono il Fabrianese.

L'evento del 17 aprile fu avvertito ad Ancona, Fermo, Senigallia e Roma e causò almeno una vittima a Belvedere.

Gli eventi del 27 luglio 1751 sono le scosse principali di una sequenza avvertita dal marzo 1751 forse fino al luglio 1752 in una vasta area dell'Umbria e delle Marche.

Essi causarono danni in un'ampio territorio. Il massimo livello di danneggiamento fu raggiunto in alcuni villaggi a ovest e a sud di Gualdo

Tadino (Margnano, Broccaro, Busche, Caprara, Piagge e Voltole), le cui case risultarono o "tutte atterrate" o in gran parte atterrate e per il resto inabitabili.

I terremoti del 1747 e del 1751 presentano una certa affinità con i terremoti attuali per quanto riguarda la complessità delle sequenze sismiche, caratterizzate da più scosse apportatrici di danni.

I campi macrosismici di questi eventi si 'sovrappongono' a quello dei terremoti attuali solo nelle zone di Nocera Umbra e Gualdo Tadino.

I danni più gravi causati dal terremoto dell'11 ottobre 1791 si concentrarono nell'area montuosa ad est di Foligno, sul versante umbro della strada per Colfiorito.

Le frazioni di "Scopoli, Leggiana, Case Nuove, Volperino, Serrone, Pale, Morro, Casale, ed altri prossimi luoghi" furono particolarmente colpiti.

Nel gennaio-febbraio 1838 parte del territorio umbro fu interessata da scosse quasi quotidiane, tra cui due forti, avvertite a Spoleto il 5 gennaio. Il 14 febbraio 1838 una scossa più forte avrebbe causato crolli di edifici nell'area di Sellano, Acera, Cerreto di Spoleto e Postignano e in due località situate sui monti ad est di Foligno (Verchiano e Val Lupo).

Questo terremoto per severità e distribuzione degli effetti massimi può essere confrontato con la scossa del 14 ottobre 1997.

In sintesi, i terremoti del 1997 hanno avuto origine in una zona che, fatta forse eccezione per il terremoto del 1279, non sembra aver generato eventi altrettanto forti.

Pertanto la struttura sismogenetica responsabile dei terremoti attuali potrebbe essere la stessa che ha generato il terremoto del 1279.

Se ciò trovasse conferma nei risultati delle ricerche in corso, il tempo di riattivazione della struttura sismogenetica in questione potrebbe essere maggiore di 500 anni.

Lo studio dei casi settecenteschi evidenzia come caratteristica ricorrente dei terremoti dell'area sia quella di distribuirsi in una sequenza sismica (anche di molti mesi), con due o più scosse di intensità elevata.

Questa caratteristica consente all'energia sismica di essere rilasciata in modo "frazionato" anziché in pochi episodi che avrebbero delle magnitudo maggiori e delle conseguenze più devastanti.

Tadino (Margnano, Broccaro, Busche, Caprara, Piagge e Voltole), le cui case risultarono o "tutte atterrate" o in gran parte atterrate e per il resto inabitabili.

I terremoti del 1747 e del 1751 presentano una certa affinità con i terremoti attuali per quanto riguarda la complessità delle sequenze sismiche, caratterizzate da più scosse apportatrici di danni.

I campi macrosismici di questi eventi si 'sovrappongono' a quello dei terremoti attuali solo nelle zone di Nocera Umbra e Gualdo Tadino.

I danni più gravi causati dal terremoto dell'11 ottobre 1791 si concentrarono nell'area montuosa ad est di Foligno, sul versante umbro della strada per Colfiorito.

Le frazioni di "Scopoli, Leggiana, Case Nuove, Volperino, Serrone, Pale, Morro, Casale, ed altri prossimi luoghi" furono particolarmente colpiti.

Nel gennaio-febbraio 1838 parte del territorio umbro fu interessata da scosse quasi quotidiane, tra cui due forti, avvertite a Spoleto il 5 gennaio. Il 14 febbraio 1838 una scossa più forte avrebbe causato crolli di edifici nell'area di Sellano, Acera, Cerreto di Spoleto e Postignano e in due località situate sui monti ad est di Foligno (Verchiano e Val Lupo).

Questo terremoto per severità e distribuzione degli effetti massimi può essere confrontato con la scossa del 14 ottobre 1997.

In sintesi, i terremoti del 1997 hanno avuto origine in una zona che, fatta forse eccezione per il terremoto del 1279, non sembra aver generato eventi altrettanto forti.

Pertanto la struttura sismogenetica responsabile dei terremoti attuali potrebbe essere la stessa che ha generato il terremoto del 1279.

Se ciò trovasse conferma nei risultati delle ricerche in corso, il tempo di riattivazione della struttura sismogenetica in questione potrebbe essere maggiore di 500 anni.

Lo studio dei casi settecenteschi evidenzia come caratteristica ricorrente dei terremoti dell'area sia quella di distribuirsi in una sequenza sismica (anche di molti mesi), con due o più scosse di intensità elevata.

Questa caratteristica consente all'energia sismica di essere rilasciata in modo "frazionato" anziché in pochi episodi che avrebbero delle magnitudo maggiori e delle conseguenze più devastanti.

## DATI E PARAMETRI DI RIFERIMENTO

Il territorio del Comune di Foligno, dal punto di vista della classificazione sismica, ricade in “Zona 1”, con grado di sismicità S = 12, con un coefficiente d'intensità sismica C = 0,1 e con accelerazione orizzontale massima attribuita come  $ag = 0.225\text{ g}$ .

Poiché le condizioni geomorfologiche locali potrebbero causare una amplificazione degli effetti dell'onda sismica, è stata verificata la sussistenza delle condizioni predisponenti, in particolare è stata verificata l'assenza di :

- coltri detritiche su versante con substrato roccioso;
- pendii instabili se sollecitati da onde sismiche;
- terreni soggetti a liquefazione;
- situazioni morfologiche tali da costituire motivo di amplificazione sismica.

Per quanto riguarda il primo punto in particolare, si rileva che la coltre detritica presente nel sito ha spessori accertati superiori ai 70 m e stimabili attorno ai 100-150 m.

Per il secondo punto l'analisi geomorfologica del sito non evidenzia caratteristiche tali da far ritenere possibile l'innesto di fenomeni franosi in fase sismica.

Per quanto attiene il rischio di liquefazione è stata eseguita una verifica, tenendo conto sia della quota della falda, 9-12 m dal p.c., sia della granulometria dei terreni in situ estrapolata da un sondaggio eseguito nel lotto a valle del sito oggetto di studio.

La morfologia del sito, infine, evidenzia una debolissima pendenza dell'area verso ovest-sud ovest e tale debole pendenza in realtà non farebbe pensare ad una condizione di possibile amplificazione.

Il seguente stralcio di dettaglio regionale della mappa di pericolosità sismica, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), riporta per il territorio in esame delle celle contraddistinte da valori di ag di riferimento compresi tra 0.200 – 0.225



## ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

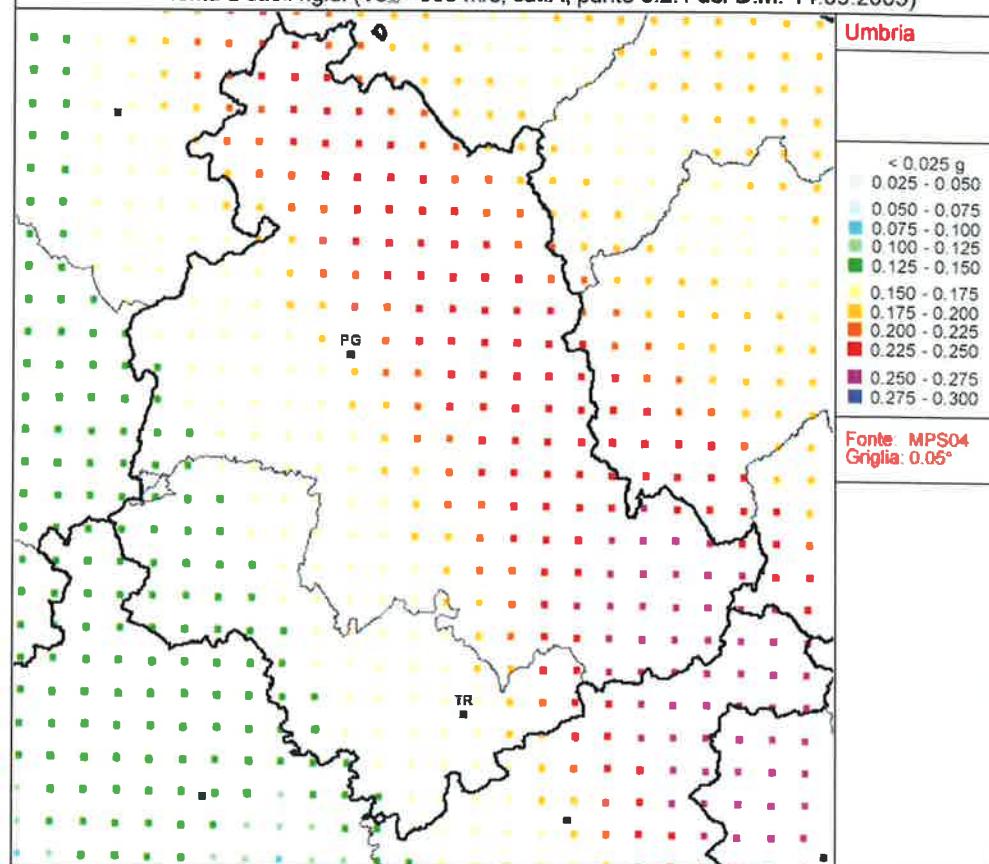
### Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressi in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ( $V_{s,30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)



Mappa di pericolosità sismica  
parametro dello scuotimento ag; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50

## RISULTATI DELLE INDAGINI INTEGRATIVE

Le indagini HVSR eseguite all'interno dell'area di indagine, hanno fornito i seguenti risultati.

Dai risultati delle indagini HVRS e dai valori di Vs ricavati dalle MASW, si desume una profondità del tetto dell'unico rifrattore rilevato, che oscilla tra le quote di 10.6 – 14.5 m p.c.

Le indagini MASW, eseguite precedentemente, non hanno mai evidenziato un substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) né uno strato Like ( $V_s > 700$  m/s).

Dai dati ottenuti, pertanto, si ritiene che, in fase di progetto definitivo, sarà necessario eseguire uno studio sismico specifico, che permetta di individuare l'approccio più idoneo ai fini dello studio della RSL secondo quanto previsto dall'NTC 08.

## RISULTATI DELLA MICROZONAZIONE SPECIFICA DEL SITO

Dai dati in nostro possesso, è stato possibile eseguire una microzonazione di secondo livello, alla scala del sito.

In particolare, considerando i litotipi presenti superficialmente e le loro caratteristiche sismiche, e consultando gli abachi degli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”, si può desumere per il sito oggetto di studio, un Fa compreso tra 1.20 – 1.31 ed un Fv compreso tra 1.43 – 1.52.

## VERIFICA A LIQUEFAZIONE

I dati in nostro possesso sono stati integrati con i risultati di un'indagine geognostica eseguita nel lotto a valle a quello in oggetto.

Si è potuto ricavare il livello della falda, che è stata rilevata alla quota di 9 m p.c. con lieve grado di artesianesimo che la porta ad attingere la quota di 7,6 m dal p.c. a foro libero.

E' stato possibile appurare che i terreni granulari in situ, hanno uno spessore minimo di almeno 20 m dal p.c. (profondità raggiunta dal sondaggio geognostico).

E' stata eseguita una granulometria su tali materiali che ha permesso di individuare tale composizione:

Ghiaia = 23%

Sabbia = 43%

Limo = 34%

In base a tali risultati si è deciso di procedere alla verifica a liquefazione di tali materiali.

Tale verifica è fornita in allegato e consente di definire tali materiali non liquefacibili.

## CONCLUSIONI

Dalle indagini integrative condotte, sotto il profilo sismico, è stato individuato un rifrattore il cui tetto è variabile tra le quote 10.6 – 14.5 m p.c..

Le indagini MASW, eseguite precedentemente, non hanno mai evidenziato un substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) né uno strato Like ( $V_s > 700$  m/s).

Dai dati ottenuti, pertanto, si ritiene che, in fase di progetto definitivo, sarà necessario eseguire uno studio sismico specifico, che permetta di individuare l'approccio più idoneo ai fini dello studio della RSL secondo quanto previsto dall'NTC 08.

Sotto il profilo del rischio sismico la microzonazione di secondo livello, eseguita alla scala del sito, ha evidenziato un  $1.20 < F_a < 1.31$  ed un  $1.43 < F_v < 1.52$ , come desunto dagli abachi degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica".

Dal punto di vista della liquefabilità dei terreni in situ, si conferma la presenza di falda acquifera, rilevata alla quota di 9 m p.c. con lieve grado di artesianesimo che la porta ad attingere la quota di 7,6 m dal p.c. a foro libero.

Pertanto, anche alla luce dei dati stratigrafici provenienti da un sondaggio eseguito in adiacenza al sito, e ai risultati di una prova granulometrica effettuata su tali materiali, si è proceduto ad eseguire una verifica a liquefazione dei terreni oggetto di studio, che viene fornita in allegato e per la quale, i terreni risultano non liquefacibili.

Si resta a disposizione per ulteriori ed eventuali chiarimenti.

## VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

La natura dei terreni locali e la presenza nel sottosuolo alla profondità di circa 6 m della falda acquifera hanno consigliato di procedere alla verifica della liquefazione delle terre in condizioni sismiche.

Premesso che le terre locali sono di natura granulare e che anche le terre sotto falda sono di natura granulare, per tale verifica si è adottato il metodo di Andrus e Stokoe (1997).

Il metodo proposto si basa sui risultati da un'indagine di sismica a rifrazione, valutata all'interno di un deposito sabbioso.

$$R = 0.03 * (Vsl / 100)^2 + 0.9 / (VsIc - Vsl) - 0.9 / Vsl$$

Dove

Vsl : rappresenta la velocità delle onde S nelle litologie sabbiose e corretta nella seguente formula:

$$Vsl = Vs * (1 / \sigma'_{vo})^{0.25}$$

Vs = velocità onde S in m/s e  $\sigma'_{vo}$  tensione verticale efficace a metà strato in kg/cm<sup>2</sup>.

Mentre VsIc rappresenta la velocità critica delle onde S nel deposito considerato.

$Vslc = 220 \text{ m/s}$  → percentuale di fine FC < 5%

$Vslc = 210 \text{ m/s}$  → percentuale di fine FC < 20%

$Vslc = 200 \text{ m/s}$  → percentuale di fine FC > 35%

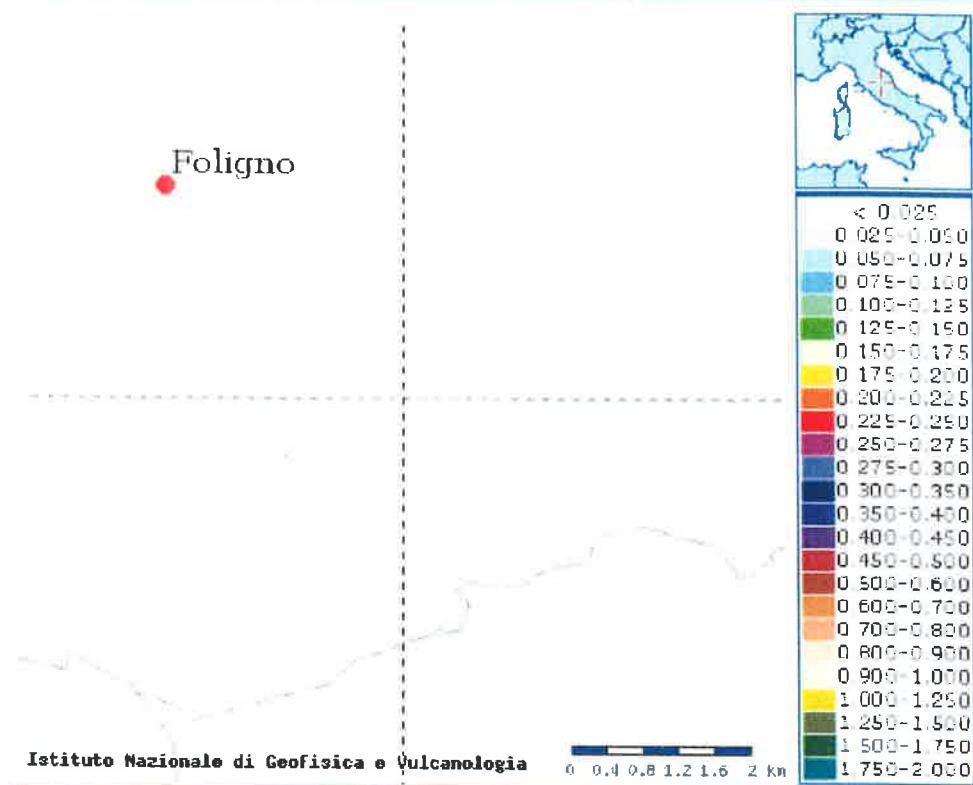
Si considera non liquefacibile un deposito in cui sia  $F_s > 1$ .

Questa procedura è raccomandata dal Nation Center for Earthquake Research (NCEER).

$$Vsk = Vs * (1 - 1.645 * 0.15)$$

Dove: Vsk = velocità onde S caratteristica.

## Mappe interattive di pericolosità



### Selezione mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a:

Parametro dello scuotimento:

Probabilità in 50 anni:

Percentile:

Periodo spettrale (sec):

Ridisegna mappa

a(g)

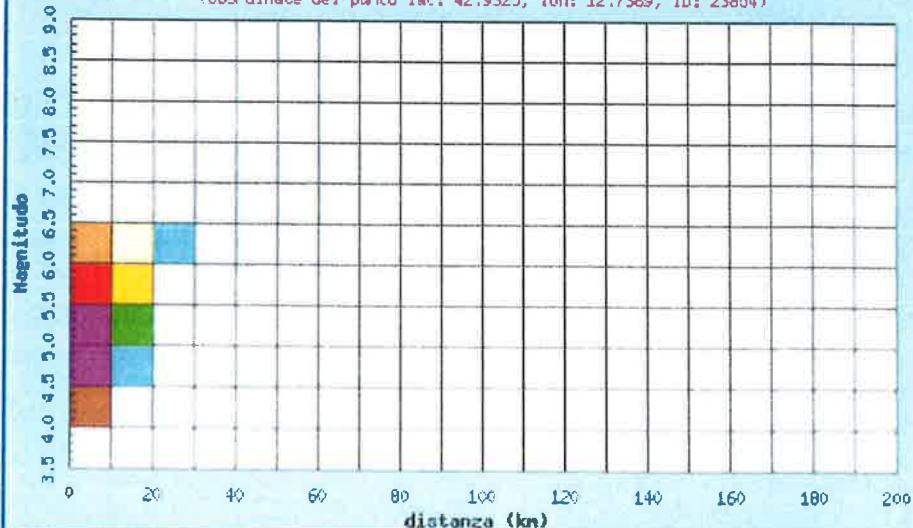
10%

50

0.50

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

(Coordinate del punto lat: 42.9325, lon: 12.7369, ID: 23854)



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.9325, lon: 12.7389, ID: 23854)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	9.720	24.900	21.800	15.800	8.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.143	1.610	3.830	5.220	4.330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.075	0.649	1.160	0.659	0.496	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.273	0.387	0.364	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.109	0.138	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.054	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.019	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.310	7.060	1.100

#### **VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE**

## METODO DI ANDRUS E STOKOE (1997)

### **Sismica a rifrazione**

Zona 1	$a_{\max}$	0,35
	M	6
	MSF	2,0883

Falda	9,00	[m]
-------	------	-----

$\gamma$  Peso di volume terreno

### FC Percentuale di fine

T sforzo tagliante indotto dal sisma

R resistenza al taglio mobilitabile nello strato

M Magnitudo del sisma

MSF Coefficiente correttivo

$\sigma_v$  Tensione verticale

$\sigma'$  vo Tensione verticale

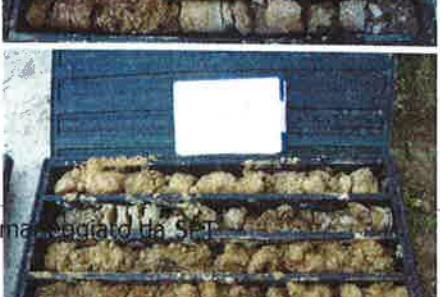
vsre vsic Fallon correlli

Eco Geo Engineering S.r.l.

Via S. Angelo, 63

TREVI (PG) -

Tel e Fax 0742 381170

Committente Luigi Metelli S.p.a.- Realizzazione capannone industriale Indagine Sondaggio a carotaggio continuo Sondaggio S1				Profondità raggiunta 20,0 m dal p.c. Data 22/07/2011 Pagina 1/1			
Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Spessore	Nspt	Campioni	Doc. Fotografica	Falda
-1	Ripporto antropico granulare		0.40				
-2	Ghiaietto in matrice limo sabbiosa chiara, con aumento della matrice in profondità			24-21-19 -2.40 PC			
-3				15-17-18 -4.40 PC			
-4				15-23-22 -6.50 PC			
-5							
-6							
-7							
-8	Ghiaietto in matrice limo sabbiosa nocciola/marrone, a tratti prevalente (presenza di umidità)		2.50		-8.50 -8.70		
-9							
-10	Ghiaietto in matrice limo sabbiosa nocciola, con livelli a maggiore partecipazione fine		3.70				
-11							
-12							
-13							
-14	Ghiaietto fine minuto, in matrice abbondante e prevalente, di limi sabbiosi marroni		2.20				
-15							
-16							
-17	Ghiaietto e ghiaia subordinata, in matrice limo sabbiosa nocciola, con livelli a maggiore partecipazione fine		3.60				
-18							
-19							

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT  
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

# ANALISI GRANULOMETRICA

**GEO ECO TEST S.p.A.**

Geologia e Ingegneria Ambientale

Via S. Angelo, 65  
06032 Trevi (PG)  
Tel./Fax. 0742/381178  
0742/780584  
e-mail: [g eco test@libero.it](mailto:g eco test@libero.it)

N. d'Ordine : 71/11

N. Certificato : 626/11

Indagine : Edificio danneggiato dal terremoto

Committente : Luigi Metelli S.p.a.

Località : S.Eraclio di Foligno (PG)

Sondaggio n° : 1

Campione n° : 1

Profondità di prelievo (m) : 8,5-8,7

Ricevimento campione: 22-07-2011

Data apertura campione: 22-07-2011

Data esecuzione prova: 25-07-2011

Descrizione del campione : Ghiaietto in matrice limo sabbiosa nocciola

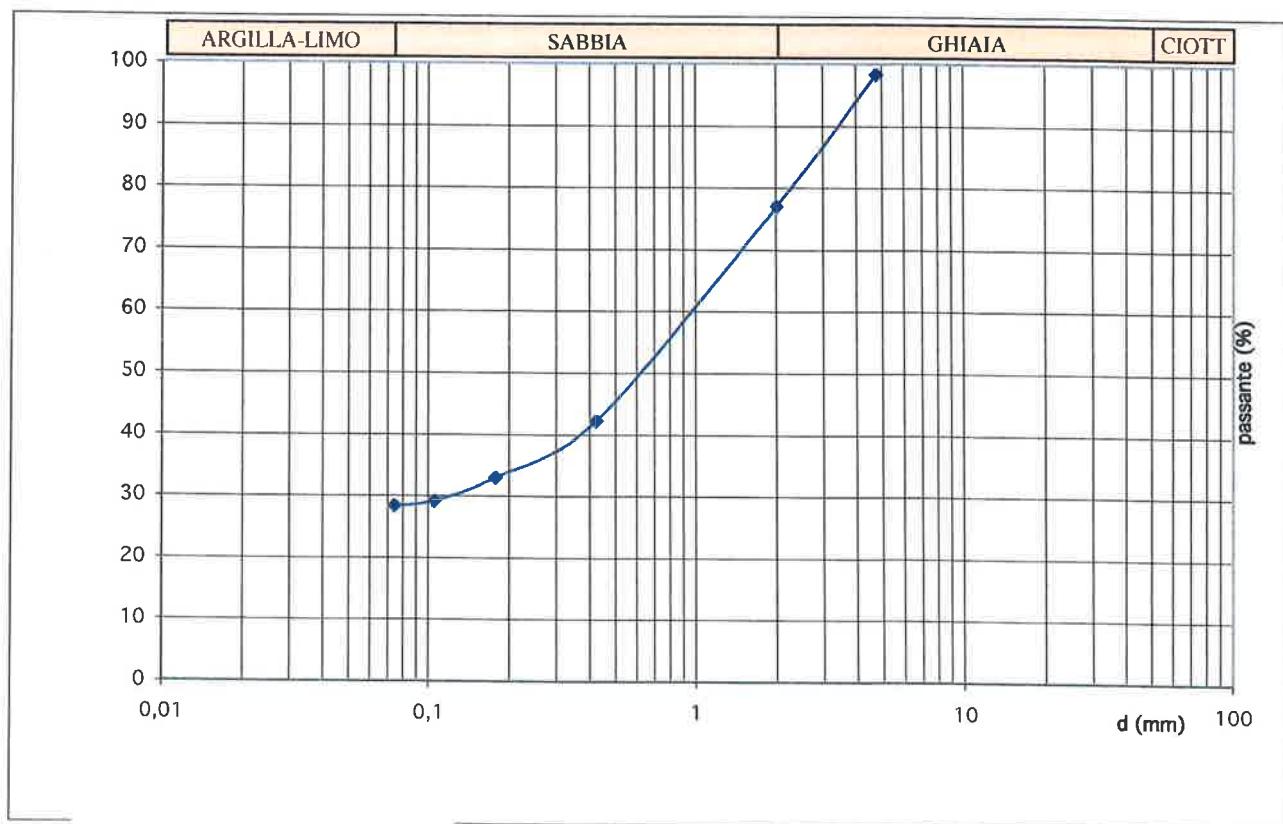
Tipo di prova: per via umida

Umidità (%): 11,4

Peso totale del campione (g): 821

Peso secco (g): 737

Setacci (Serie ASTM)	Apertura d (mm)	Peso netto trattenuto (g)	Trattenuto (%)	Passante (%)
N4	4,76	12,4	1,69	98,31
N10	2,00	169,4	23,00	77,00
N40	0,42	425,4	57,75	42,25
N80	0,177	493,4	66,98	33,02
N140	0,105	521,4	70,78	29,22
N200	0,074	527,4	71,59	28,41



Lo sperimenta

Davide Seveini



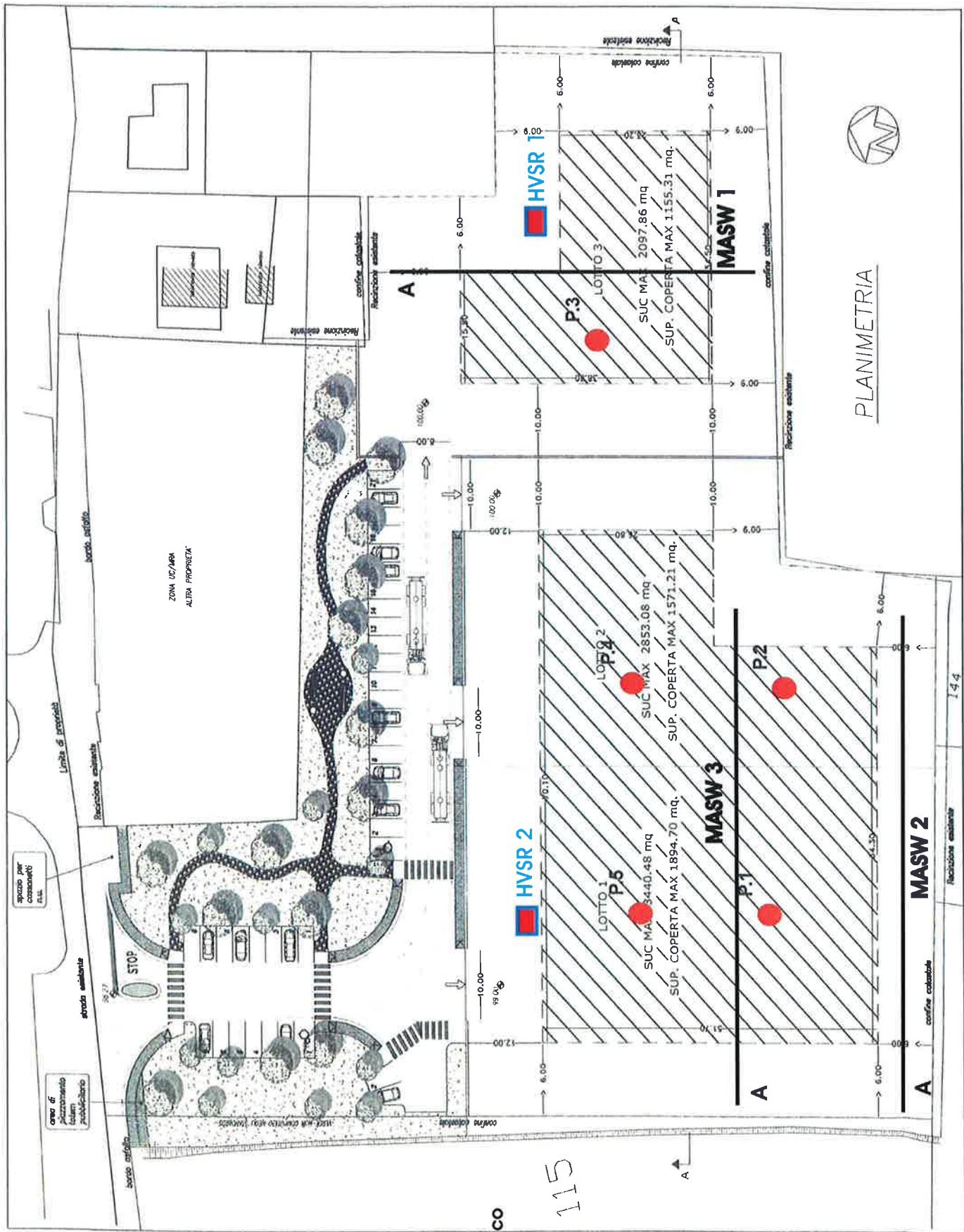
Laboratorio con aut. Min. conc. n°54918 del 29/05/2006

Procedura CNR-UNI n°23/71

Pagina 1/1

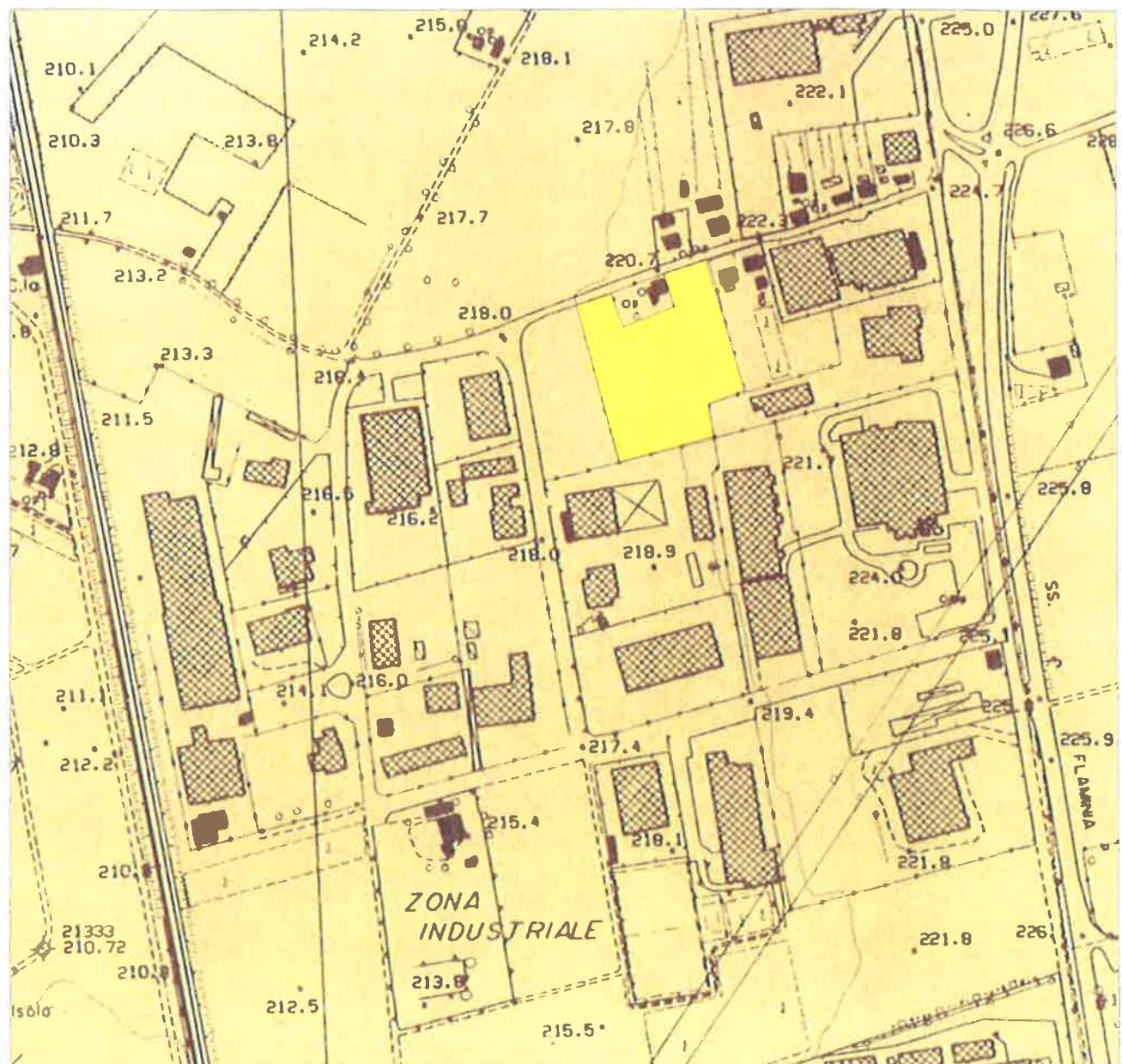
Mod.0901-06a

## **PLANIMETRIA DELL'AREA DI INTERVENTO CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI (Fuori scala)**



## CARTA DI MICROZONAZIONE DI SECONDO LIVELLO

SCALA 1: 5.000



Carta Tecnica Regionale - Sant'Eraclio - Sezione 324 050

Area di lottizzazione -  **$1.20 < FA < 1.31$**      **$1.43 < FV < 1.52$**

PROVINCIA DI PERUGIA

COMUNE DI FOLIGNO

**RELAZIONE TECNICA DI SINTESI  
DETERMINAZIONE DELLA FREQUENZA CARATTERISTICA DI SITO  
PROVA HVSR - METODO NAKAMURA**

LOCALITA': *S. ERACLIO*

RIF. CATASTALE : Foglio 251 (Foligno) part 16p-151p – 174 – 222 - 916

COMMITTENTE: *NANNI - BERNETTI*

DATA: Montefalco 31/03/2014

STUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO  
Dott. Geol. Giorgio Leoni  
Vicolo delle Conservette n. 12  
06036 MONTEFALCO (PG)  
Tel/fax 0742/378657 – 347/3561957

Dott. Geol. Giorgio Leoni



## INDICE

<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI .....</b>	<b>6</b>
<b>CONSIDERAZIONI SULLA FREQUENZA DI SITO.....</b>	<b>12</b>

## Premessa

Su incarico del Dott. Geol. Bernetti Claudio è stata eseguita un'indagine geofisica con metodologia sismica HVSR., al fine di caratterizzare la frequenza di risonanza del sito sul quale è in progetto la lottizzazione di un area.

Il rumore sismico ambientale viene prodotto da cause naturali come onde oceaniche, perturbazioni atmosferiche, venti, o da vibrazioni di origine antropica che possono essere rappresentate principalmente da traffico veicolare o da attività industriale. I microtremori che sono prodotti da fenomeni naturali a grande distanza, sono in genere caratterizzati da frequenze molto basse (<0.5 Hz) e stabili che si compongono principalmente in onde superficiali.

Alle frequenze comprese tra 0.5 e 1 Hz appartengono le vibrazioni indotte da cause naturali a più breve distanza o da alcuni tipi di attività umane; la stabilità è molto minore rispetto alle precedenti ed il contenuto in onde superficiali estremamente variabile.

Le vibrazioni generate localmente a frequenza maggiore di 1 Hz, sono prodotte localmente e sono fortemente instabili in ampiezza e in termini di rapporto di energia tra onde di volume e onde superficiali.

Il rumore ha in generale una struttura complessa, con valori di ampiezza costanti nell'ambito delle decine di minuti, che possono però cambiare sensibilmente al passare delle ore. Ai periodi più bassi gli spettri di ampiezza mostrano una certa variabilità giorno-notte mentre per i periodi superiori, cui appartengono i microsismi, si mantengono piuttosto costanti mostrando una certa variabilità in funzione della geometria e struttura locale del substrato.

Il rumore sismico ambientale possiede una struttura composta da molteplici fasi sismiche, in cui però il contributo relativo alle onde superficiali, possiede statisticamente maggiore coerenza e persistenza e viene perciò utilizzato nelle principali metodologie sperimentali.

Le onde superficiali contenute nei microtremori ambientali sono costituite da onde di Love e di Rayleigh, le cui velocità dipendono esclusivamente dalle proprietà sismiche del sottosuolo, al contrario della proporzione tra i due diversi modi di vibrazione che sono invece legate alla struttura del sottosuolo ed alla tipologia della sorgente.

Nel caso in cui non sussistano sorgenti di rumore controllate, il rumore sismico può essere ragionevolmente considerato casuale e richiede perciò opportune procedure di analisi sia teoriche che sperimentali.

Il primo elemento importante durante l'acquisizione dei dati è dato certamente dalla durata, che necessariamente deve essere abbastanza lungo per poter trattare statisticamente il fenomeno indagato, che, come abbiamo già visto, può comprendere anche frequenze inferiori ad 1 Hz.

La natura essenzialmente stocastica dei microtremori, permette d'altra parte di assumere che essi siano generati da una distribuzione di sorgenti casuali e non coordinate tra loro, consentendo quindi di ipotizzarne la dipendenza prevalentemente dalla struttura del sottosuolo.

(D. Albarello – “*Metodi sismici per la determinazione del profilo di velocità delle Onde S*” in “*La risposta sismica locale per la progettazione strutturale*” - A cura di Roberto W. Romeo – CISM 2007)

### **Descrizione del metodo HVSR**

La metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), detta anche Metodo di Nakamura si basa sulla misura dei rapporti fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale dei microtremori ambientali e sull'individuazione di massimi in frequenza della funzione H/V così ottenuta.

Il principio teorico alla base del metodo prevede che il rapporto H/V consente di eliminare il contributo della sorgente locale, che dovrebbe essere confrontabile nelle sue componenti orizzontali e verticale.

L'ampiezza dei massimi della funzione H/V è proporzionale, anche se non linearmente, all'entità del contrasto di impedenza sismica tra lo strato di base, ad elevata velocità sismica (generalmente con  $V_s > 800$  m/s) e la sovrastante copertura a velocità sismica più bassa.

L'esistenza di tale contrasto infatti può generare l'instaurarsi di frequenze proprie negli strati geologici sedimentari, che giocano un ruolo assai importante negli studi di microzonazione sismica, in particolar modo per i problemi di interazione terreno/struttura.

La tecnica si basa su misure del rumore sismico, eseguite in superficie, in un intervallo di tempo opportunamente lungo (dell'ordine di circa 20 minuti), in modo da registrare le proprietà medie di un campo di onde sismiche generato da una molteplicità di sorgenti differenti, sia naturali che superficiali, distribuite

casualmente attorno ad un punto di misura. In tal modo il campo d'onda generato, generalmente composto dalla combinazione delle diverse tipologie di onde sismiche di volume, P ed S, e di superficie, Rayleigh e Love, tende ad avere un andamento che non dipende dalle singole sorgenti ma dalle caratteristiche fisiche del mezzo attraversato.

L'esistenza di un forte contrasto di impedenza sismica tra due mezzi fa sì che il rapporto tra le componenti spettrali delle onde orizzontali e di quelle verticali, delle onde di volume e di quelle superficiali, abbia dei massimi in funzione delle frequenze di risonanza delle onde S, dato che le componenti verticali tendono ad annullarsi. Al contrario, in assenza di contrasti di impedenza sismica alla base della copertura sedimentaria, la curva H/V non presenta dei massimi evidenti.

Se il rapporto spettrale presenta invece dei massimi, si può dimostrare teoricamente che, in caso di basamento sismico orizzontale, la frequenza di risonanza individuata è pari al rapporto tra la media delle Vs nella copertura e il quadruplo dello spessore della stessa.

Il segnale registrato nelle tre componenti viene processato dividendolo in finestre temporali di uguale grandezza. Su tali finestre temporali vengono calcolati gli spettri di risposta e successivamente la componente H viene ricavata dalla media tra le due componenti NS ed EW.

Vengono ricavati i rapporti spettrali H/V per ciascuna finestra ed infine, dopo un confronto tra le varie finestre per verificare la continuità nel tempo del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e la verticale, si ottiene per media la curva H/V del sito. Attraverso un confronto tra i singoli spettri di risposta, sia tra quelli delle componenti orizzontali che tra questi e quello della componente verticale, e attraverso il confronto tra il rapporto spettrale H/V e quello della componente verticale, vengono escluse quelle frequenze dipendenti da cause non correlabili alle caratteristiche fisiche del mezzo, come ad esempio quelle provenienti da cause artificiali attive, vicine e monodirezionali o passive (trasmissione dinamica delle frequenze modali di un edificio), oppure quelle causate da rumore elettromagnetico.

Per verificare l'attendibilità delle frequenze rilevate viene infine ricavata la funzione di coerenza della cross-correlazione tra i segnali provenienti dalle due componenti orizzontali.

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati avviene secondo quanto previsto dal protocollo del progetto SESAME (SESAME European project, 2005), secondo il quale si ricavano i valori del rapporto H/V in funzione della frequenza, la stazionarietà del segnale, cioè la valutazione della stabilità nel tempo della curva H/V, e la sua variazione in funzione della frequenza e della direzione di provenienza.

Le frequenze di interesse ingegneristico sono ampiamente contenute nell'intervallo 0.5÷20 Hz.

### Acquisizione ed elaborazione dati

Per le misure è stata impiegata una terna di sensori velocimetrici ad alta sensibilità della SARA Electronics Instruments S.r.l. (<http://www.sara.pg.it>), con frequenza naturale pari a 4,5 Hz, contenuti in scatola di alluminio livellabile.

I sensori utilizzano elementi di alta stabilità, con tecnica di assemblaggio che garantisce una ortogonalità assoluta degli elementi e un livellamento perfetto, essenziale specialmente per i sensori da 4,5Hz.

Di seguito si riporta la scheda tecnica con le specifiche del sensore:

Numero canali: 3

Configurazione: Z,X,Y (Z verticale, X nord-sud, Y est-ovest)

Non ortogonalità: < 0.01%

Livellamento: manuale tramite manopole con serraggio

Frequenza naturale: 4,5 Hz (+/-5%)

Banda utilizzabile\*: 0.1-250Hz

Dumping: 0.65

Massa inerziale: 25 g

Sensibilità nominale: 60 V/m/s

Tilt massimo: Verticale: 7°

Orizzontale: 0.5°

Movimento massa: 0.5mm

Dimensioni: 190x180x90mm

Peso: 2500g

Lunghezza cavo: standard 3 metri

Connettore: Cannon JC series 10 poli

Certificazioni: CE (EN55022, EN55011)

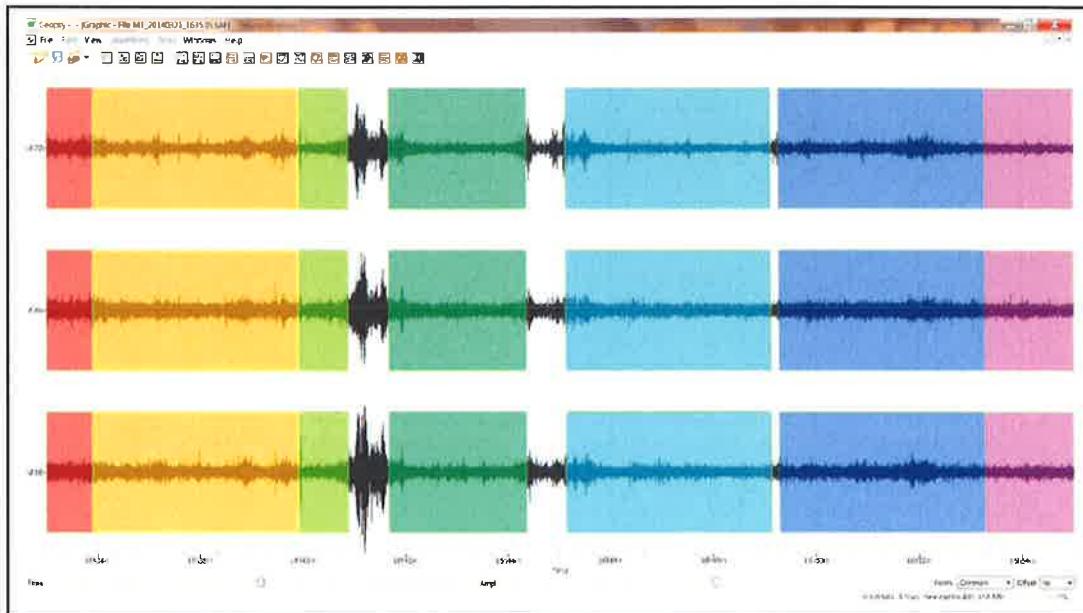
Per l'acquisizione ed il trattamento dei dati sono stati utilizzati i software Seismolog e Seismo-Survey, del pacchetto Seismowin prodotto dalla SARA Electronics, la successiva interpretazione è stata condotta con il programma Geopsy e con WinMASW (Eliosoft).

### **Risultati delle misure di HVSR**

L'elaborazione del dato tramite la tecnica Nakamura permette di stima del rapporto fra lo spettro di ampiezza delle componenti orizzontali e quello della componente verticale dei microtremori sismici ambientali registrati da una singola stazione.

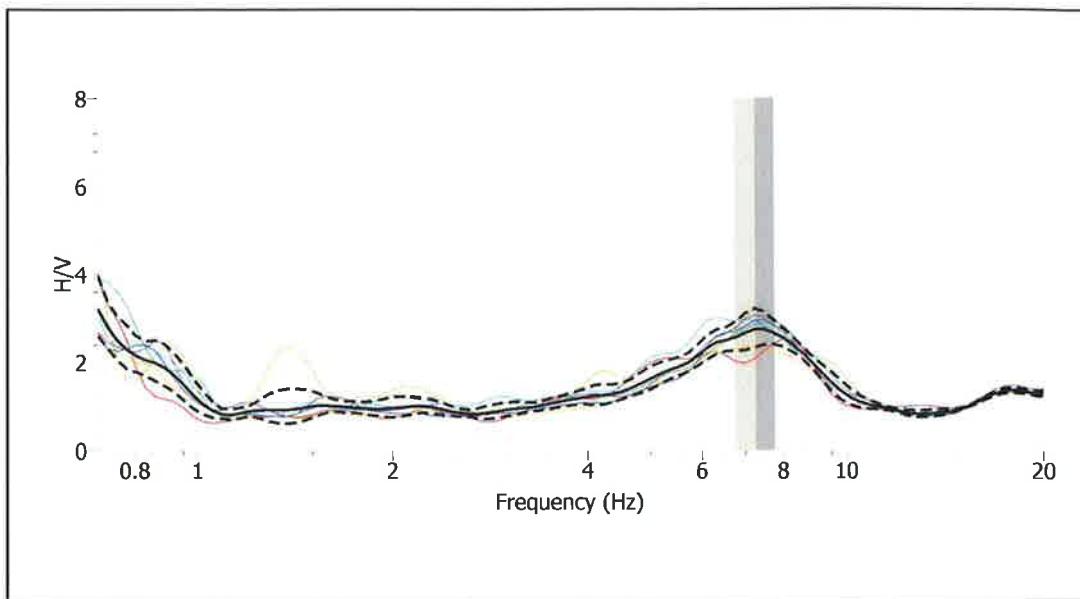
### **Stazione di Misura N. 1 - Grafico della curva H/V**

#### **MISURA N. 1 - Elaborazione della curva H/V**

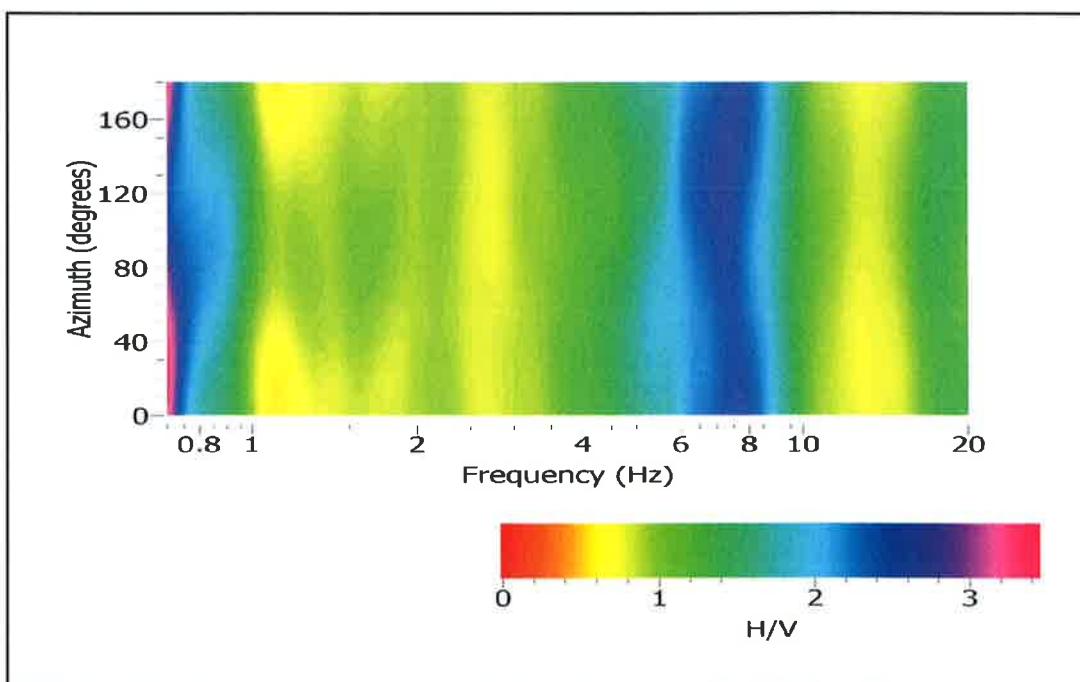


### **Dati di Modellazione della curva di frequenza**

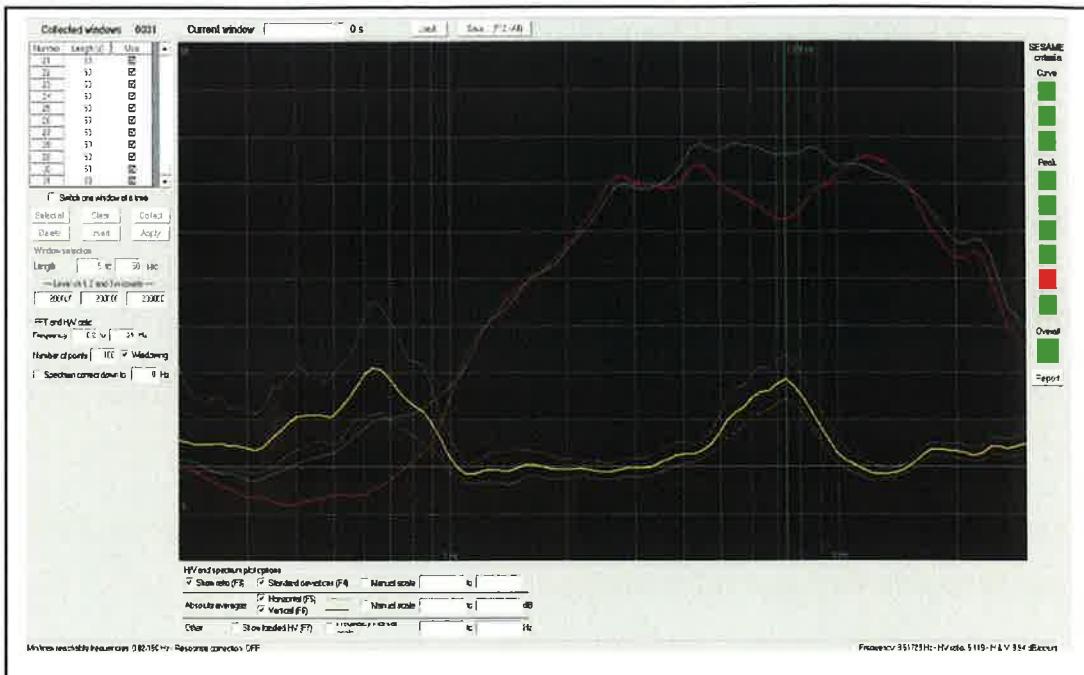
```
# GEOPSY output version 1.1
# Number of windows = 7
# f0 from average      7.24167
# Number of windows for f0 = 7
# f0 from windows      7.35805      6.73814      7.77796
# Peak amplitude2.75055
```

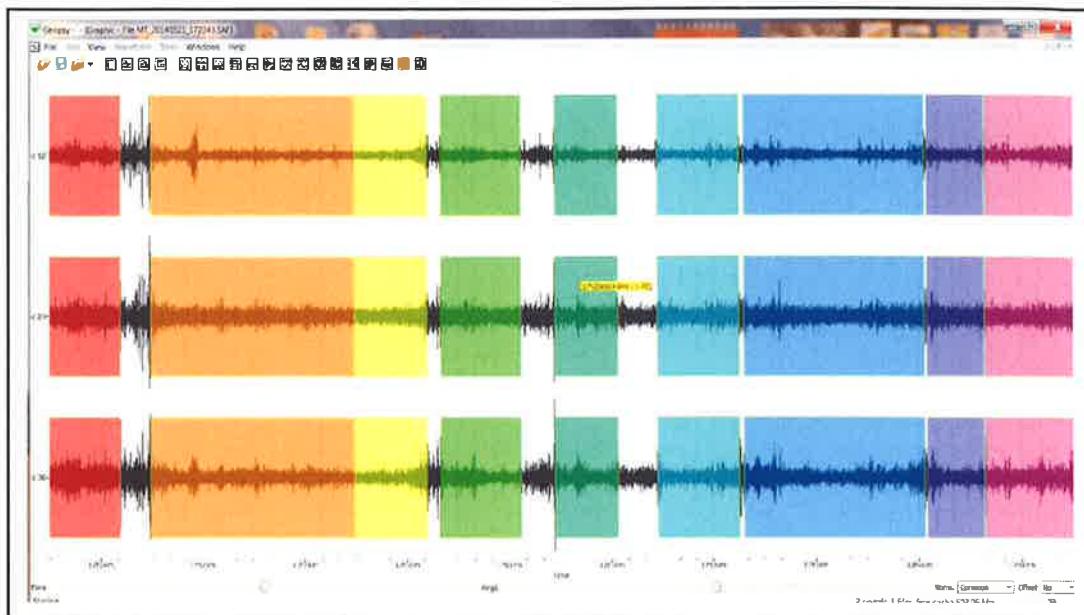


#### Valutazione della Stazionarietà e della Direzionalità del rapporto HVSR

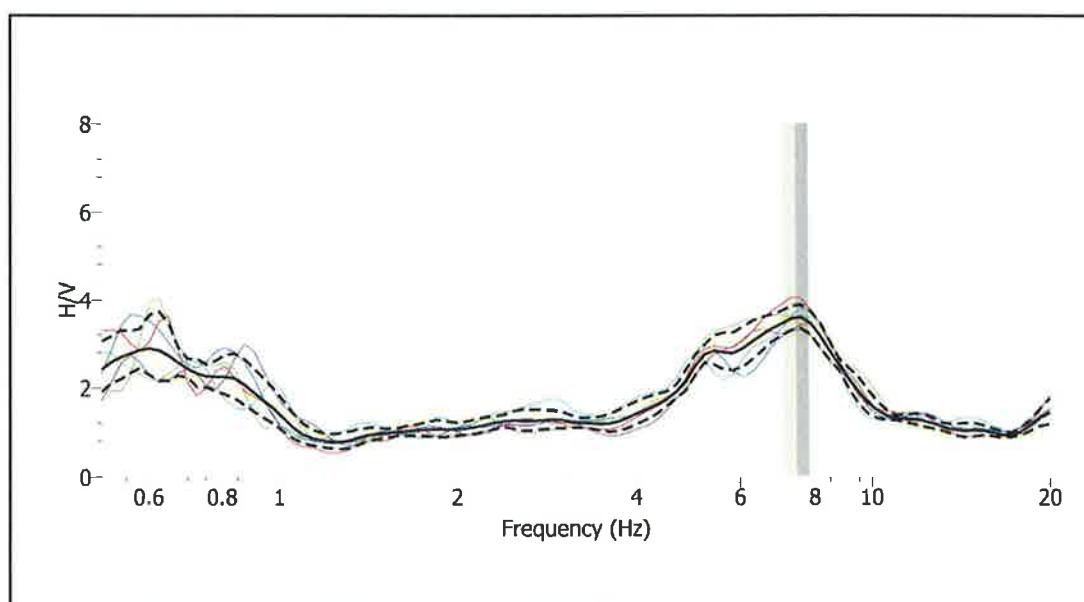


## Verifica dei Criteri Sesame

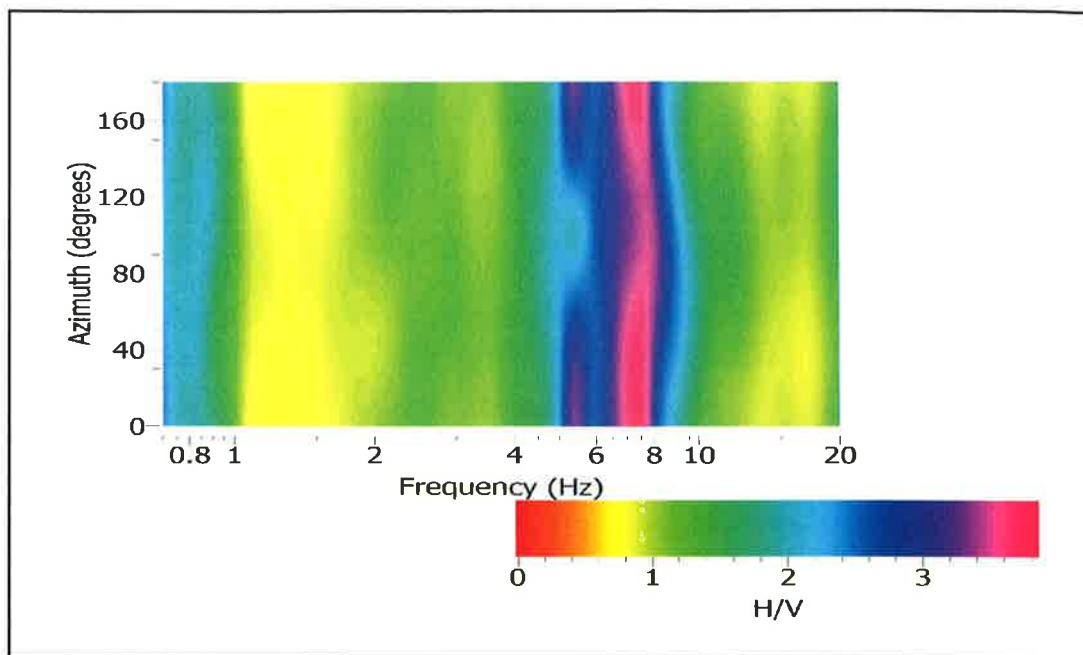


**Stazione di Misura N. 2 - Grafico della curva H/V****MISURA N. 2 - Elaborazione della curva H/V****Dati di Modellazione della curva di frequenza**

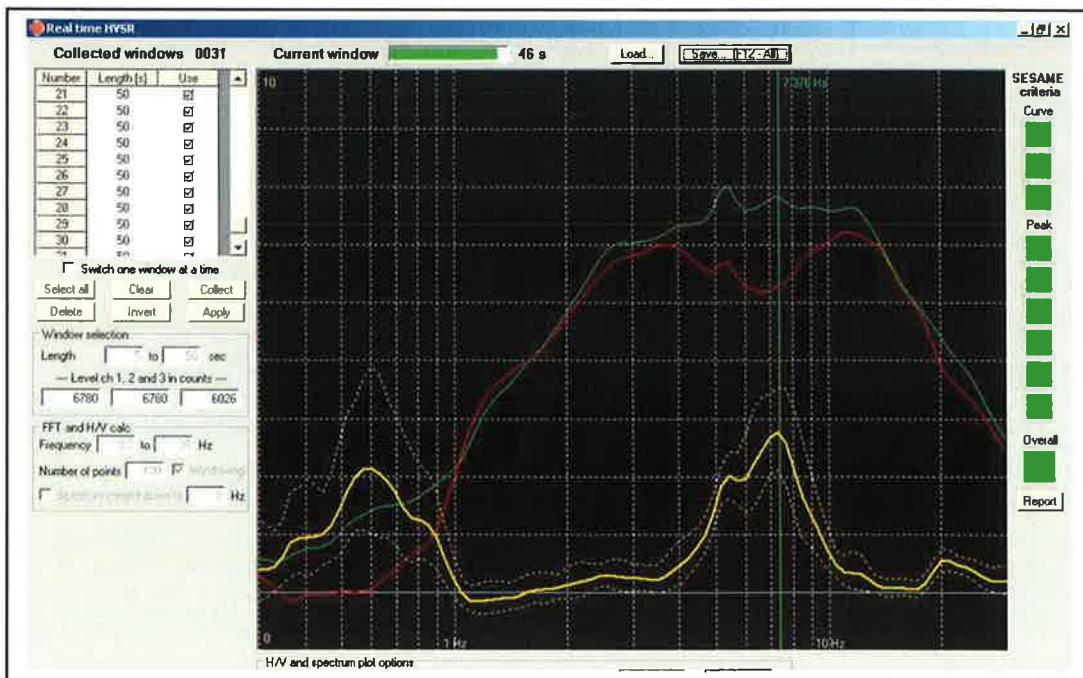
```
# GEOPSY output version 1.1
# Number of windows = 6
# f0 from average    7.59079
# Number of windows for f0 = 6
# f0 from windows    7.37674    7.08457    7.73292
# Peak amplitude      3.58549
```



### Valutazione della Stazionarietà e della Direzionalità del rapporto HVSR



### Verifica dei Criteri Sesame



### Considerazioni sulla frequenza di sito

In tabella sono elencate le misure HVSR e i valori delle frequenze caratteristiche. Tra HVSR 1 e HVSR 2 mostrano una significativa omogeneità elastica dei terreni superficiali e non sono state riscontrate differenze significative tra i valori delle velocità dei terreni superficiali dei due punti di misura.

HVSR Nanni-Bernetti S. Eraclio – Foligno (PG)	FREQUENZA (f 0 )
HVSR 1	7.358 Hz
HVSR 2	7.376 Hz

Le curva HSR si presentano inizialmente “piatte” (non ci sono massimi significativi) fino intorno alle frequenze di 7 Hz dove si rinviene, in entrambi i punti di misura, un picco che denota un contrasto di impedenza sismica significativo.

Utilizzando l'analisi spettrale dei rapporti tra le componenti orizzontali e verticali delle onde superficiali (HVSR) è possibile stimare, conoscendo la frequenza di risonanza fondamentale, gli spessori della coltre superficiale permettendo un'identificazione preliminare delle interfacce risonanti.

Nel sito oggetto di studio lo strato che determina una variazione dell'impedenza sismica può essere stimato alla profondità di circa 10,6-14,5 m dal piano di esecuzione della misura.

Montefalco, 31 marzo 2014

Dott. Geol. Giorgio Leoni  
  
Della REGIONE UMBRIA