



PROVINCIA DI RAVENNA

SETTORE LAVORI PUBBLICI

Servizio Infrastrutture viarie e programmazione

RAZIONALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA CON ELIMINAZIONE PUNTI CRITICI LUNGO LA EX S.S. N. 302 BRISIGHELLESE - 2° Lotto CUP J74E05000010003

PROGETTO ESECUTIVO

Presidente: Sig. Michele De Pascale	Consigliere delegato Strade - Trasporti - Pianificazione Territoriale: Arch. Nicola Pasi
Dirigente responsabile del Settore: Ing. Paolo Nobile	Responsabile del Servizio: Ing. Chiara Bentini

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:	Ing. Chiara Bentini	_____
		<i>Documento firmato digitalmente</i>
PROGETTISTA ARCHITETTONICO E STRUTTURALE:	Ing. Gianfranco Marchi	_____
		<i>Firmato</i>
COORDINATORE SICUREZZA PROGETTAZIONE:	Ing. Giancarlo Guadagnini	_____
		<i>Firmato</i>

ELABORAZIONE GRAFICA DEL PROGETTO:



enser

ENSER SRL
C.F./P.IVA/Registro Imprese RA
02058800398

SEDE PRINCIPALE
Viale A. Baccarini, 29/2
48018 Faenza (RA)
Tel. (+39) 0546 663423

WEB: www.enser.it E-MAIL: ingegneria@enser.it
www.enser.fr P.E.C.: ensersrl-ra@legalmail.it

0	EMISSIONE	A. Boschi	L. Samori	G. Marchi	30/03/2020
Rev.	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato	Data

TITOLO ELABORATO:

INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DEL MURO

Relazione sulla modellazione sismica

Elaborato num:	Revisione:	Data:	Scala:	Nome file:
06a	000	30/03/2020	-	-



PROVINCIA DI RAVENNA
RAZIONALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA CON
ELIMINAZIONE PUNTI CRITICI LUNGO LA EX S.S. 302
BRISIGHELLESE (2° LOTTO)



Elaborato 6.A
INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DEL MURO
Relazione sulla modellazione sismica

Codice	S15070-PE-RE016-0
--------	-------------------

Rev.	Data	Redatto	Controllato
0	31-10-2019	G. Benedetti	A. Boschi/G.Marchi
1			
2			

Approvato
G. Marchi



Sede Principale:
Viale A. Baccharini,
29/2
48018 FAENZA (RA)
Tel. (+39) 0546
663423
Fax (+39) 0546
663428

Sede di Bologna:
Via E. Zacconi, 16
40127 BOLOGNA
(BO)
Tel. (+39) 051 245663
Fax (+39) 0546
663428

Sede di Santarcangelo:
Via Andrea Costa, 115
47822 SANTARCANGELO
DI ROMAGNA (RN)
Tel. (+39) 0546 663423

Succursale di Parigi:
1 Rue de Stockholm
75008 – PARIS
N° SIRET 82140581800021
TVA Intr. FR75821405818



INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. UBICAZIONE E TIPOLOGIA INDAGINI	4
4. PROVA MASW	5
4.1. MODALITÀ ESECUTIVE	6
4.2. ELABORAZIONE DATI	6
5. PROVA HVSR	9
5.1. METODO	9
5.2. MODALITÀ ESECUTIVE	11
5.3. ELABORAZIONE DATI	11
6. AZIONE SISMICA.....	16
6.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	16
6.2. SISMICITÀ STORICA	21
6.3. SORGENTI SISMOGENETICHE	23
6.4. MAGNITUDO DI RIFERIMENTO	25
6.5. PARAMETRI PER LA DETERMINAZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	27
6.5.1. <i>Categoria di sottosuolo e frequenza propria di sito.....</i>	<i>27</i>
6.5.2. <i>Condizioni topografiche.....</i>	<i>28</i>
6.6. DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA	29
7. ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE	33

1. PREMESSA

Il presente rapporto illustra le indagini simiche eseguite da ENSER srl e definisce l'azione sismica di riferimento ai sensi del D.M. 17/01/2018, "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", ai fini della progettazione degli interventi atti al consolidamento della Strada Provinciale n. 302 Brisighellese-Ravennate in località S. Eufemia, Comune di Brisighella (RA).

Il consolidamento del muro ubicato a circa 120 m dal passaggio a livello in direzione Faenza, si è reso necessario al fine di salvaguardare la sede stradale dal dissesto della scarpata fluviale sottostante.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- D.M. 17/01/2018, Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.
- O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n.3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Delibera di Giunta regionale n. 1435 del 21/07/2003 “Prime disposizioni di attuazione dell'Ordinanza del PCM n. 3274/2003 recante 'Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica’”;
- Delibera di Giunta regionale n. 1164 del 23/07/2018 – “Aggiornamento della classificazione sismica regionale di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna”.

3. UBICAZIONE E TIPOLOGIA INDAGINI

Ai fini della caratterizzazione sismica ai sensi del D.M. 17/01/2018, sono state eseguite n. 1 prove HVSR e n.1 prova MASW ubicate in Figura 1.

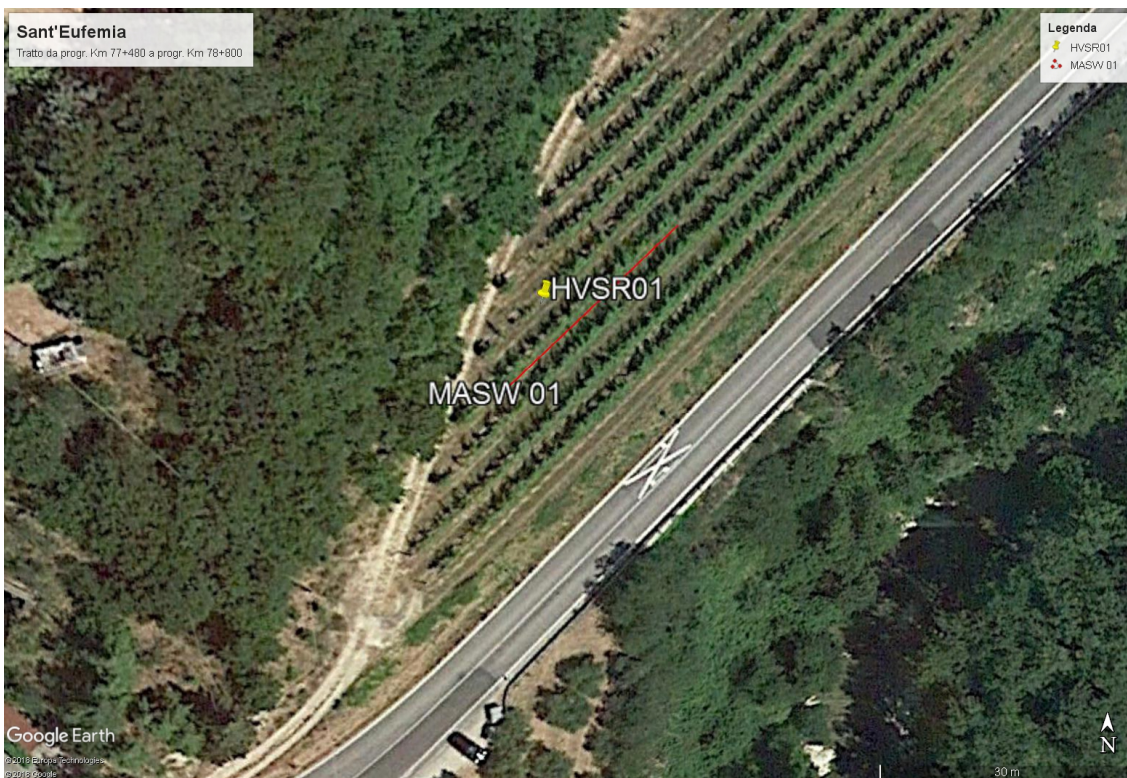


Figura 1. Planimetria ubicazione indagini sismiche.

4. PROVA MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

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

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

L'indagine MASW è un metodo attivo (Zywicki D.J. 1999), cioè le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori.

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 50m circa, in funzione della rigidità del suolo.

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

1. la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale;
2. la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase sintetica;
3. la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) sintetica corrispondente al modello di suolo assegnato.

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

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità V_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione sintetica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva sintetica. In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva sintetica è compresa tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di

taglio Vs e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

4.1. Modalità esecutive

L'acquisizione dei profili sismici di tipo "MASW" è stata eseguita mediante sistema digitale, portatile, multicanale SoilSpy prodotto da MOHO srl, connesso direttamente ad un PC via USB, impiegando geofoni verticali Geospace da 4.5Hz.

Sono state effettuate molteplici registrazioni energizzando agli estremi dello stendimento sismico (minimo n.3 energizzazioni per estremo), a distanze diverse dal geofono iniziale o finale.

4.2. Elaborazione dati

I dati delle prove MASW sono stati elaborati mediante software Grilla prodotto da MOHO srl.

I passi fondamentali per la ricostruzione di un profilo di Vs sono:

1. analisi spettrale di più sismogrammi al fine di selezionare un'immagine della distribuzione media del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono;
2. Elaborazione della curva di dispersione caratteristica al fine di ricostruire la stratigrafia sismica in termini di velocità delle onde di taglio (Vs).

I risultati sono riportati nel seguito.

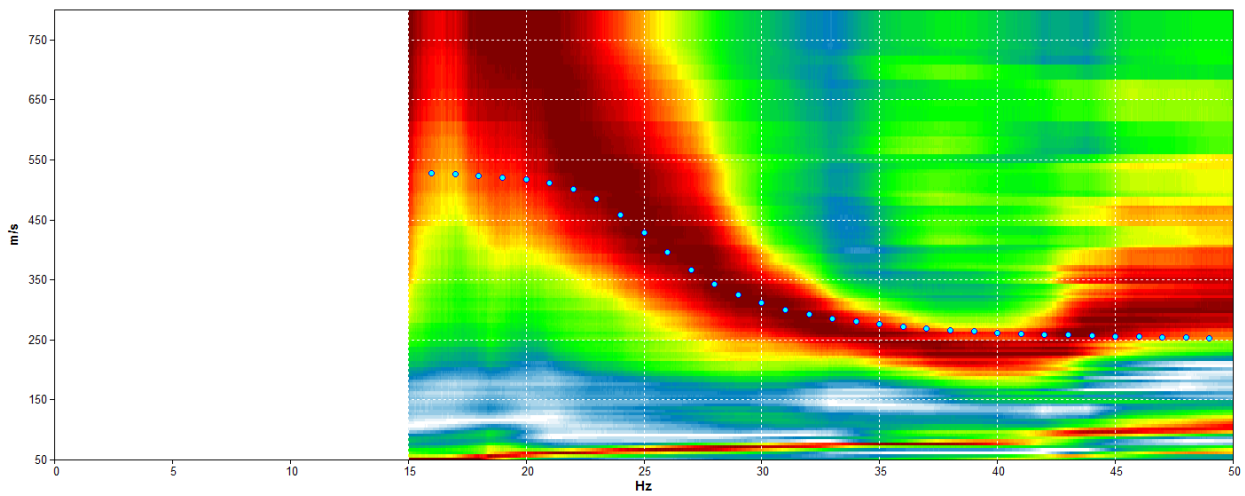
**Tratto da progr. Km 77+480 a progr. Km 78+800
MASW 01**

Start recording: 18/10/18 12:02:43 End recording: 18/10/18 12:03:43
Trace length: 0h00'20".
Sampling rate: 512 Hz

Channel labels: TR1+ TR1- ; TR2+ TR2- ; TR3+ TR3- ; TR4+ TR4- ; TR5+ TR5- ; TR6+ TR6- ; TR7+ TR7- ; TR8+ TR8- ; TR9+ TR9-

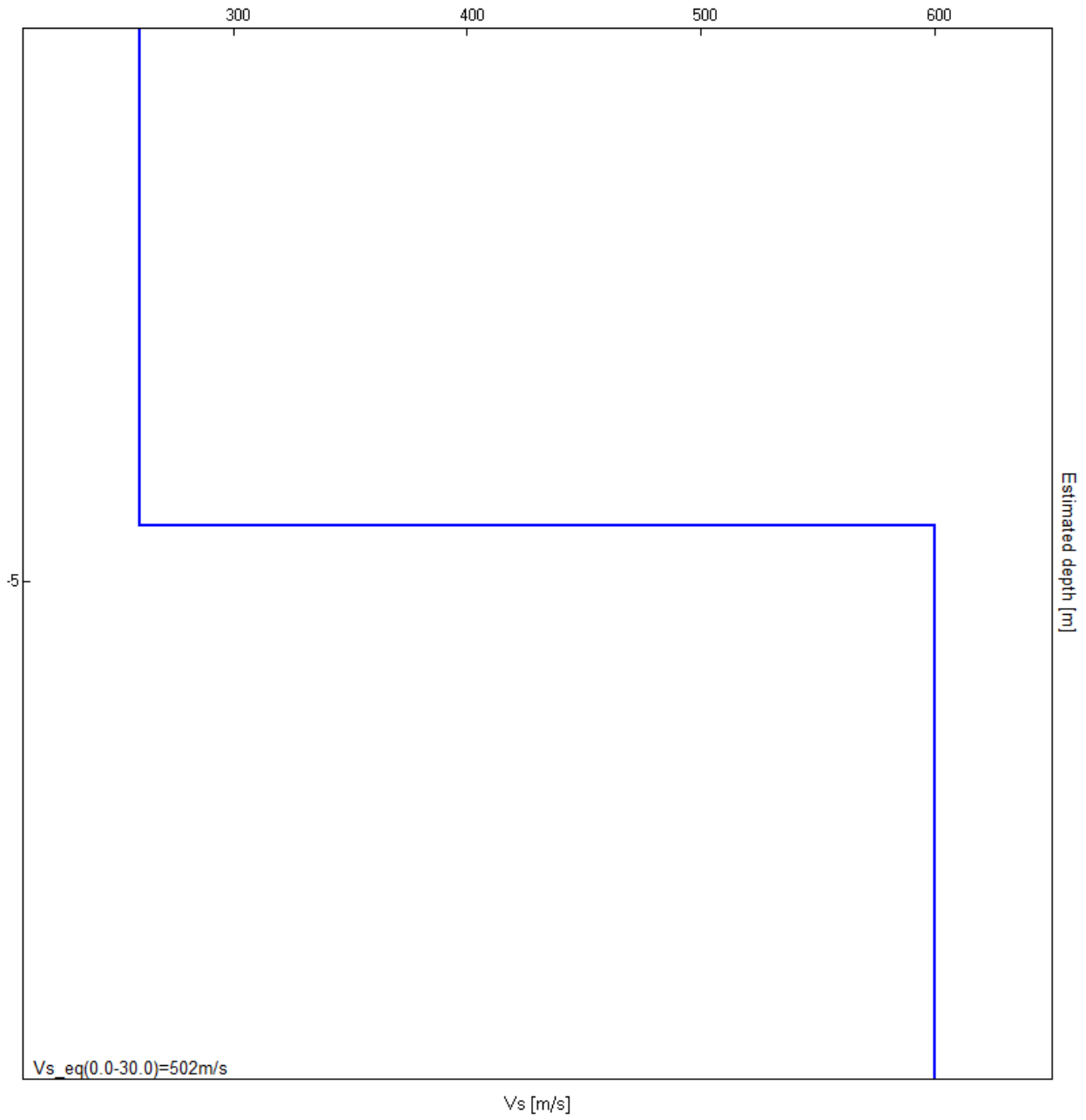
Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.50	4.50	260	0.45
inf.	inf.	600	0.45

$Vs_{eq}(0.0-30.0)=502m/s$



5. PROVA HVSR

La superficie terrestre è costantemente percorsa da onde di varia natura, generate da sorgenti naturali (prevalentemente perturbazioni atmosferiche e oceaniche che eccitano le basse frequenze, < 1 Hz, (Gutenberg 1931; 1936) ed antropiche (che eccitano per lo più le medio-alte frequenze, > 1 Hz). Questo insieme di onde, che prende il nome di microtremore sismico ambientale, può essere registrato ovunque sulla superficie terrestre con un sismometro sufficientemente sensibile posato sul terreno.

Un'opportuna analisi sarà in grado di fornire importanti informazioni sul sottosuolo attraversato dalle onde.

Nel microtremore sono presenti onde di tutti i tipi (di volume, P e S, e di superficie, Rayleigh e Love), tuttavia poiché le onde di superficie si attenuano meno velocemente con la distanza rispetto alle onde di volume, il campo del microtremore sismico è costituito principalmente da onde di superficie. Queste ultime hanno velocità molto prossime a quelle delle onde di taglio S (circa 10% inferiori) e sono usate come stimatori di queste ultime da molte tecniche geofisiche di ultima generazione.

In un sistema geologico costituito da copertura su substrato, alla frequenza di risonanza dello strato di copertura si assiste ad un annullamento dello spettro della componente verticale dell'onda di Rayleigh (V), pertanto sarebbe sufficiente analizzare i rapporti 1/V per far emergere i 'picchi di risonanza' del sottosuolo.

Nella pratica, poiché i valori spettrali assoluti variano in funzione del livello di rumore che cambia naturalmente con le condizioni atmosferiche ed antropiche, è prassi usare il rapporto H/V (dove H è la media delle componenti spettrali orizzontali) che agisce da efficace normalizzatore. Tale rapporto si mantiene infatti sufficientemente stabile nel tempo.

Dalla formula della risonanza

$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad (n = 1, 3, 5, \dots)$$

si comprende come la tecnica H/V abbia una prima applicazione stratigrafica pratica perché a partire da una misura di microtremore ambientale, nota la V_s delle coperture, si può stimare la profondità dei principali riflettori sismici e viceversa.

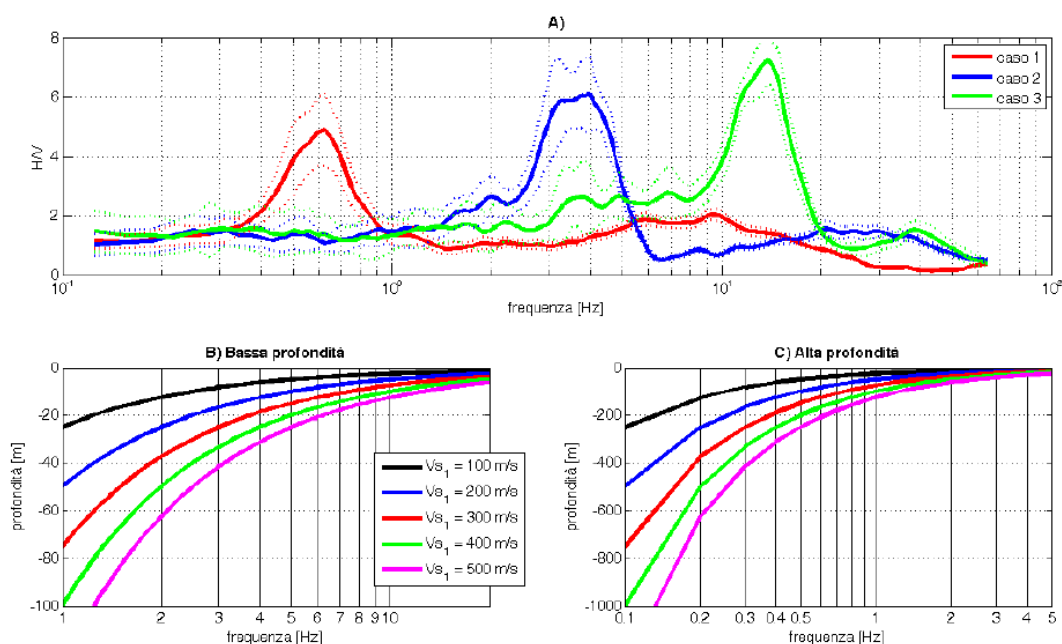
5.1. Metodo

Nella pratica una misura di microtremore deve avere una durata commisurata alla frequenza di indagine di interesse.

Nelle misure di interesse ingegneristico, ovvero nell'intervallo 1-20 Hz (frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle strutture), un campionamento adeguato deve durare 10-15 min, in modo da poter analizzare il segnale su finestre di almeno 30 s di lunghezza e da avere almeno 20-30 finestre su cui effettuare una media, considerando anche che qualcuna potrà dover essere rimossa per la presenza di disturbi che alterano lo spettro medio.

Le serie temporali registrate nelle tre componenti del moto vengono analizzate secondo procedure spettrali classiche (FFT o wavelet) fino alla produzione delle curve H/V, dove H è la media di due componenti spettrali orizzontali ortogonali (SESAME, 2005).

Un esempio di come appaiono i picchi di risonanza in una curva H/V è visibile nel riquadro A della successiva immagine (tratta da Castellaro S., 2010).

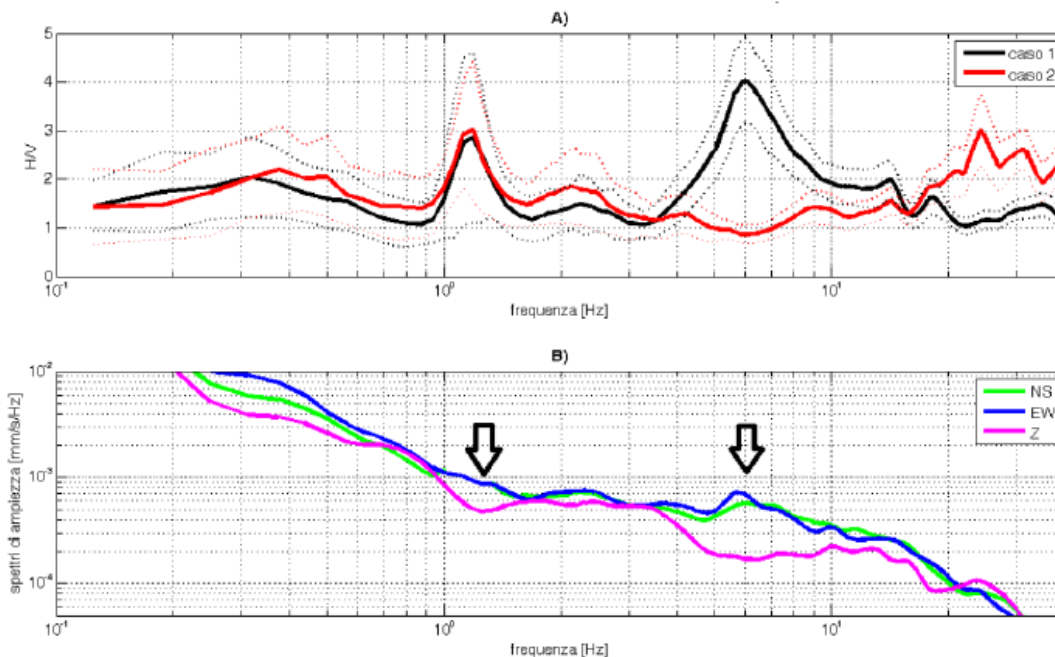


Nel riquadro A, il bedrock sismico a diverse profondità genera risonanza a diverse frequenze. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità, caso 2: bedrock a 20 m di profondità, caso 3: bedrock entro i primi 5 m di profondità.

Nei riquadri B e C sono invece illustrati i rapporti f-H-Vs alle medie ed alle alte frequenze.

La tecnica H/V permette di rilevare anche variabilità spaziali laterali. Nella figura riportata di seguito (tratta da Castellaro S., 2010) è illustrato il caso di due misure effettuate a 40 m di distanza reciproca, una delle quali effettuata su terreno coesivo (caso 2), l'altra effettuata sullo stesso terreno ma che presenta – a circa 12 m di profondità – un paleo alveo di ghiaie (caso 1).

È evidente come nel primo caso si generi a 6 Hz una risonanza dei limi sopra le ghiaie, del tutto assente nel secondo sito. Nonostante la vicinanza dei luoghi, il sito 1 è più sfavorevole dal punto di vista degli effetti sismici di sito rispetto al sito 2 per strutture con modi propri attorno a 6-8 Hz.



Questi esempi mostrano come la tecnica H/V sia molto sensibile alle variazioni stratigrafiche laterali, permettendo pertanto di discriminare geometrie 1D da geometrie 2D, ovviamente entro i limiti di visibilità imposti dalla nota legge $\lambda f = V$ (lunghezza d'onda x frequenza = velocità).

Le curve H/V non vanno mai osservate da sole ma sempre congiuntamente agli spettri delle singole componenti da cui derivano. Questo permette di discernere agevolmente i picchi di natura stratigrafica da quelli di natura antropica. In condizioni normali le componenti spettrali NS, EW e Z (verticale) hanno ampiezze simili. Alla frequenza di risonanza, si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma "a ogiva" come quella indicata dalle frecce nella figura soprastante. Questa forma è distintiva di risonanze stratigrafiche (si veda. Castellaro e Mulargia, 2009).

5.2. Modalità esecutive

Le misure sono state effettuate con tromografo Tromino® 3G+ prodotto da MOHO srl, con frequenza di campionamento di 256 Hz e tempo di acquisizione da 13 a 30 minuti, così da poter effettuare eventuali pulizie del segnale ed avere comunque sufficienti finestre utili per l'elaborazione.

5.3. Elaborazione dati

I dati registrati sono stati elaborati mediante il software Grilla® prodotto da MOHO srl.

Il codice per la creazione di curve H/V sintetiche introdotto in Grilla si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli, secondo la teoria descritta in Aki e Richards (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Le risultanze sono riportate nel seguito.

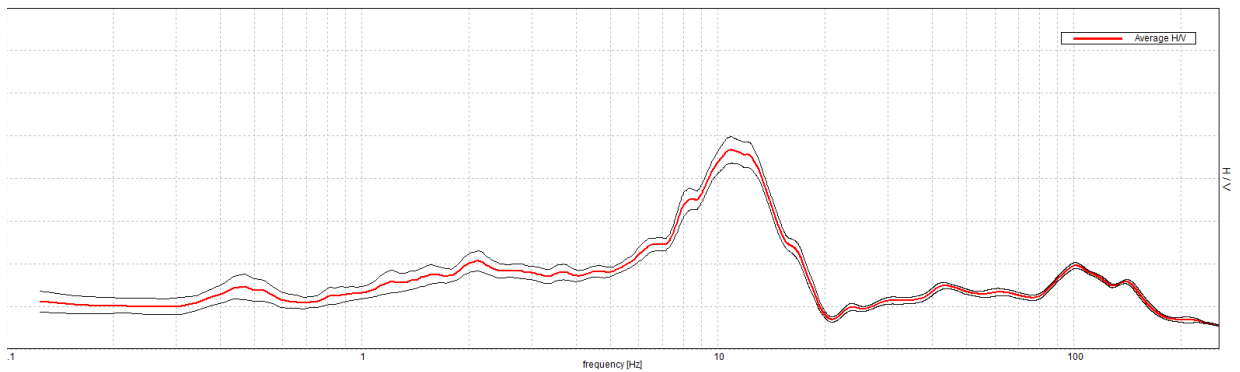
Tratto da progr. Km 77+480 a progr. Km 78+800

Instrument: TEP-0100/01-10
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 13/11/18 13:29:06 End recording: 13/11/18 13:49:06
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 GPS data not available

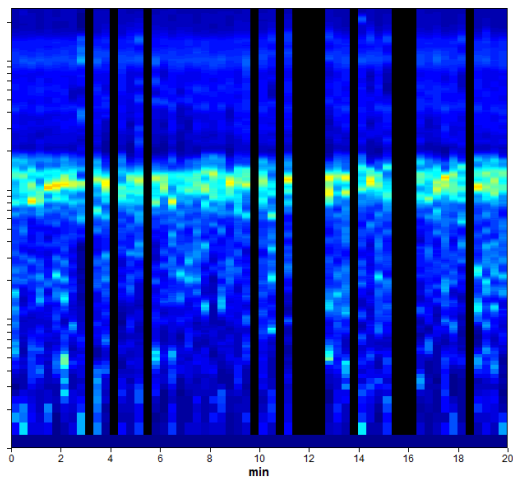
Trace length: 0h20'00". Analyzed 77% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 512 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

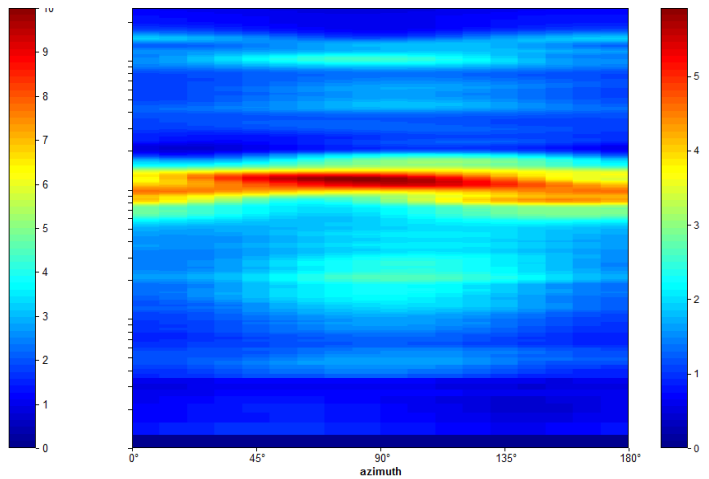
Max. H/V at 10.94 ± 0.76 Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).



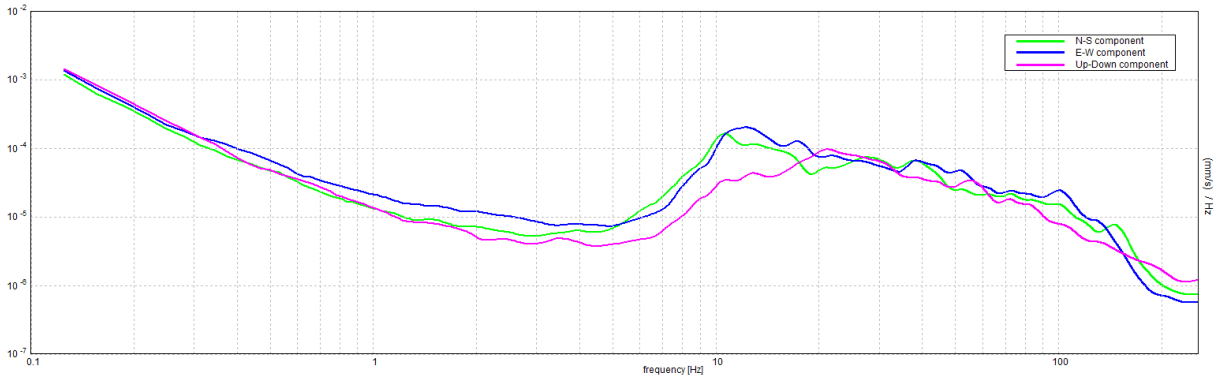
H/V TIME HISTORY



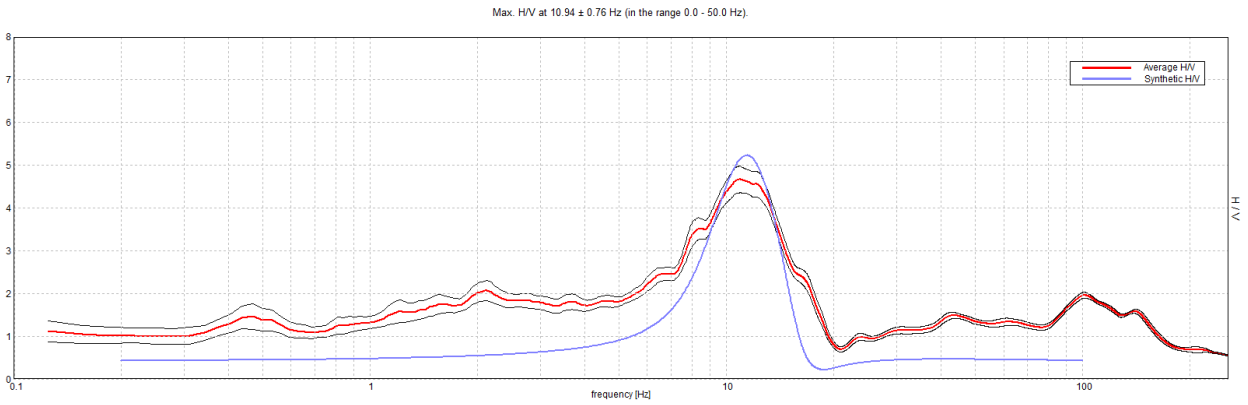
DIRECTIONAL H/V



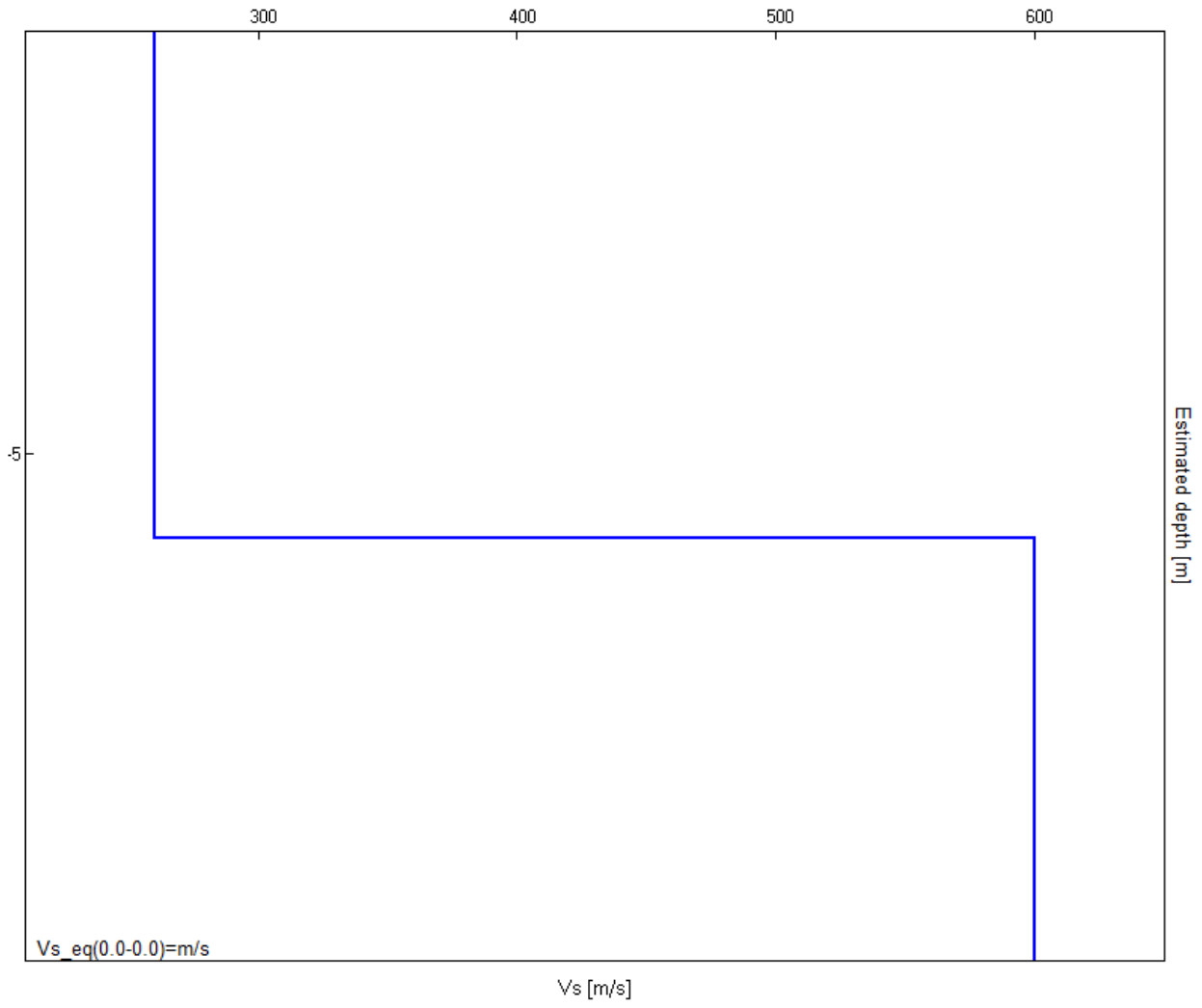
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
6.00	6.00	260	0.42
inf.	inf.	600	0.42



Vs_eq(0.0-0.0)=m/s

Vs [m/s]

Estimated depth [m]

Max. H/V at 10.94 ± 0.76 Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	10.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	10062.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 526 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	16.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.67 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0695 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.76021 < 0.54688		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3094 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [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
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

6. AZIONE SISMICA

6.1. Classificazione sismica e pericolosità sismica di base

La classificazione sismica del territorio nazionale è stata elaborata e rivista in seguito ai principali terremoti; tra questi, in particolare, quelli verificatisi in Irpinia nel 1980 ed in Molise nel 2002.

Fino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione; la sismicità era definita attraverso il grado di sismicità S.

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio in esame, come indicato nella Delibera di Giunta Regionale n.1677/2005, a decorrere dal 23/10/2005 trova attuazione la classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia Romagna, stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale ha introdotto una nuova classificazione sismica, suddividendo il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona 1, a media sismicità la zona 2 e a bassa sismicità la zona 3, mentre nella zona 4 viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa.

Come stabilito dall'allegato B della D.G.R. n.1677/2005, il Comune di Brisighella risulta classificato in zona "2", come riportato in Figura 2.

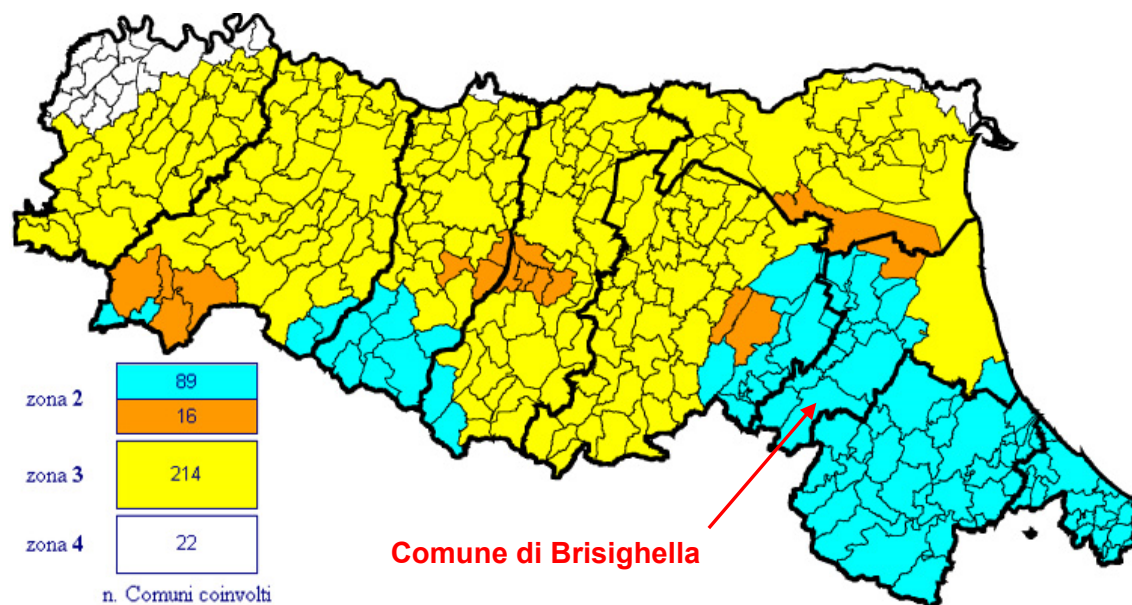


Figura 2. Classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia-Romagna

Rispetto alla classificazione sismica del comune di Brisighella ed in base alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 28/04/2006 n.3519), il range di accelerazione massima del suolo, con probabile eccedenza del 10% in 50 anni, nell'area in studio è compresa tra 0.15 e 0.25 g (Tabella 1).

Tabella 1. Valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s

Zona	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (A_G/G)	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE DI ANCORAGGIO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (NORME TECNICHE, A_G/G)
1	>0.25	0.35
2	0.15 ÷ 0.25	0.25
3	0.05 ÷ 0.15	0.15
4	<0.05	0.05



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)

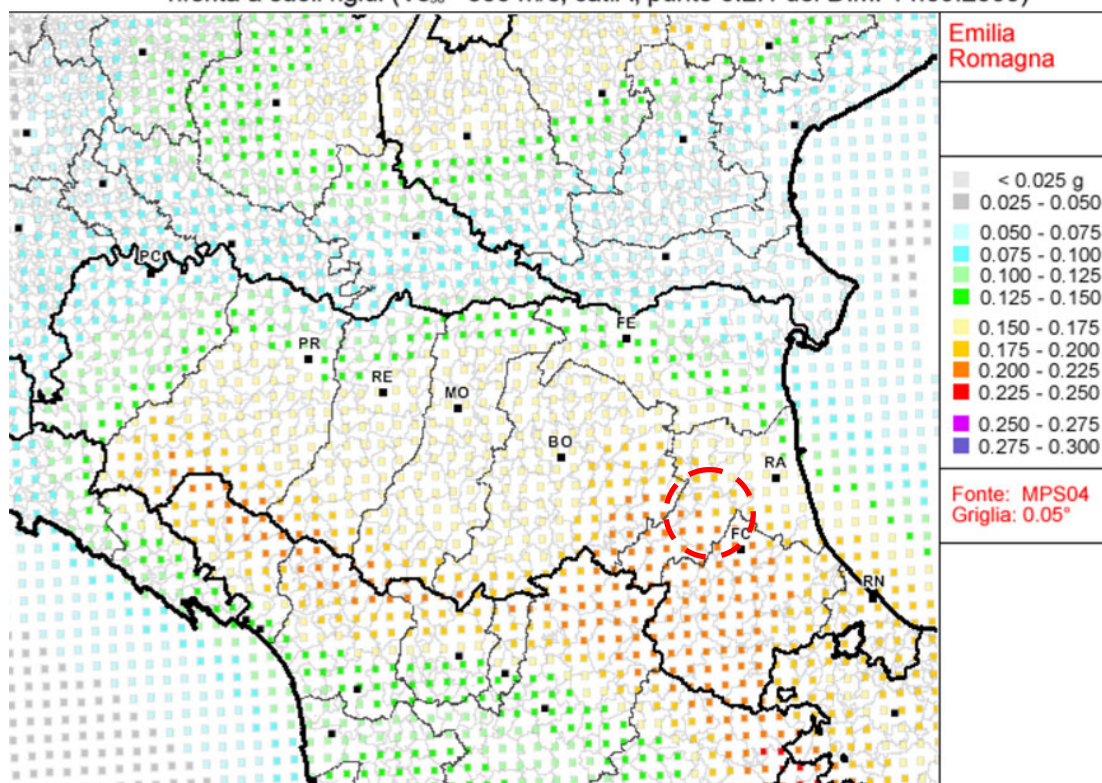


Figura 3. Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_{s,30} > 800$ m/s) – da INGV

In Tabella 2 vengono forniti, per periodi di ritorno T_R di 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni, i valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* da utilizzare per definire l'azione sismica nei diversi stati limite considerati.

Nel dettaglio:

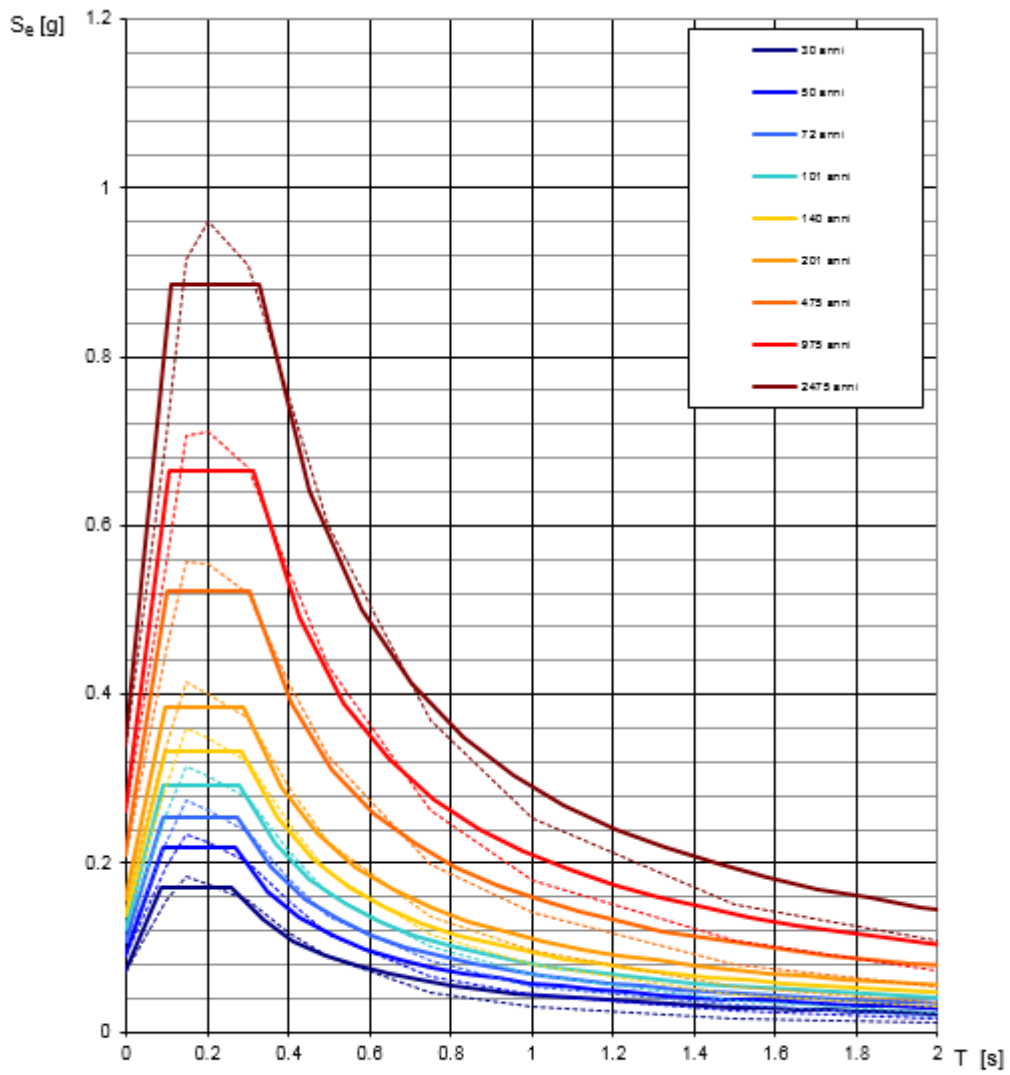
a_g = accelerazione orizzontale massima al sito su suolo tipo A;

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.

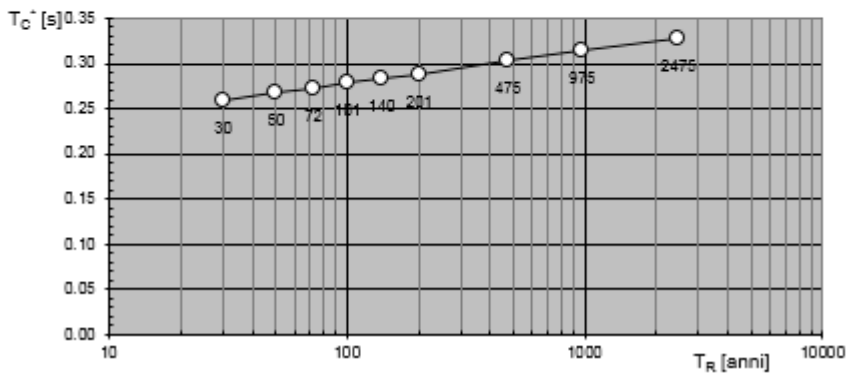
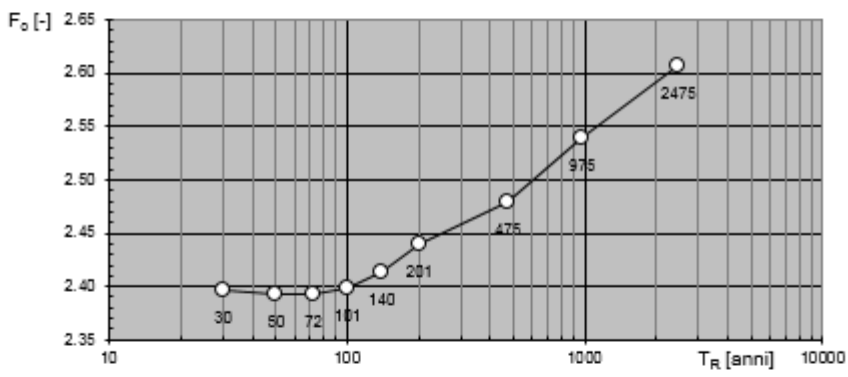
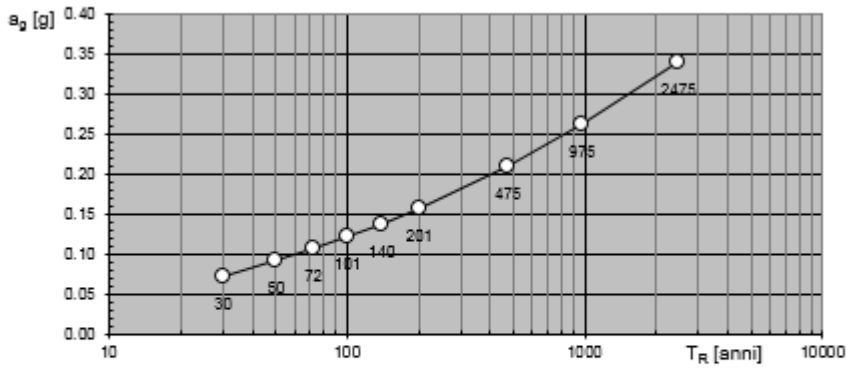
Tabella 2. Valori dei parametri di a_g , F_0 , T_{C^*} per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_{C^*} [s]
30	0.072	2.396	0.259
50	0.091	2.392	0.268
72	0.106	2.393	0.273
101	0.122	2.398	0.280
140	0.138	2.414	0.284
201	0.158	2.440	0.288
475	0.210	2.478	0.304
975	0.262	2.540	0.315
2475	0.340	2.606	0.328



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



6.2. Sismicità storica

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Brisighella (RA).

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15 (Locati et al., 2016), il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (Rovida et al., 2016, consultabile on-line al sito <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>).

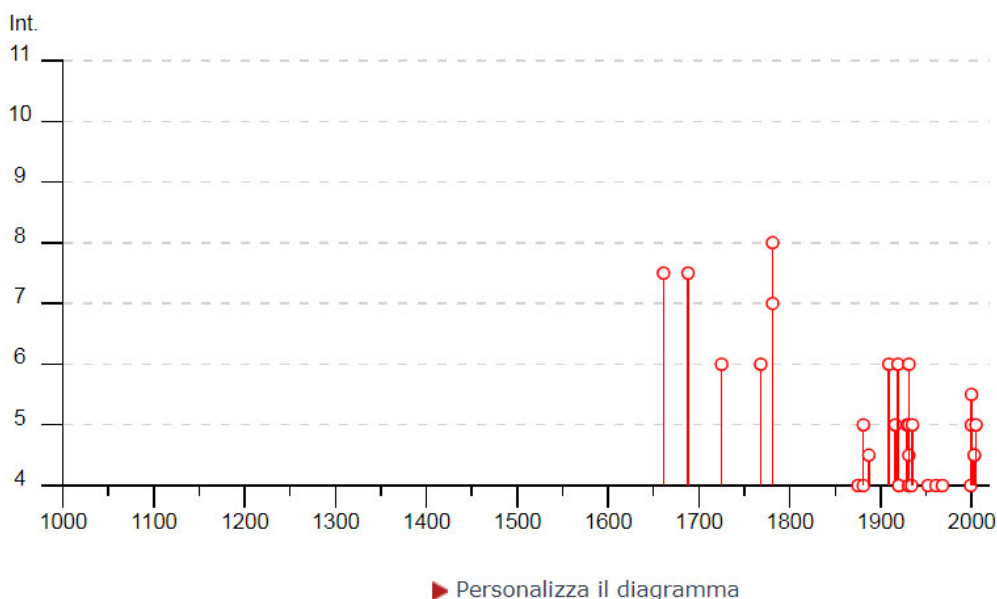


Figura 4. Storia sismica del Comune di Cattolica [43.963, 12.740]

Nella successiva tabella sono indicati con i seguenti simboli:

Is = intensità in sito (MCS);

Anno = anno Me = mese Gi = giorno Or = ora Mi = minuto Se = secondo;

nP = numero di osservazioni macrosismiche del terremoto;

Io = intensità massima (MCS);

Mw = magnitudo momento.

Intensità	Anno Mese Giorno Ora Min Sec	Area Epicentrale	NMDP	Io	Mw
7-8	1661 03 22 12 50	Appennino forlivese	79	9	6.05
7-8	1688 04 11 12 20	Romagna	39	8-9	5.84
6	1725 10 29 17 40	Appennino tosco-emiliano	28	8	5.67
6	1768 10 19 23	Appennino forlivese	45	9	5.99
8	1781 04 04 21 20	Faentino	96	9-10	6.12
7	1781 07 17 09 40	Faentino	46	8	5.61
4	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5.74
3-4	1880 07 23 01 50	Imola	3	5	4.16
4	1881 01 24 16 14	Bolognese	38	7	5.22
3	1881 01 25 07 06	Bolognese	18	5	4.59
5	1881 02 12	Russi	13	5-6	4.69
4-5	1887 09 30 15 55	Faenza	10	5	4.12
NF	1887 11 14 05 48 05.00	Fiorentino	101	6	4.47
2	1892 12 29 13 47 48.00	Castel del Rio	36	5-6	4.37
3	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5.37
NF	1898 03 09 11 43	Romagna settentrionale	68	6	4.59
3	1899 06 26 23 17 22.00	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
3	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5.1
6	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
NF	1911 09 13 22 29 02.00	Chianti	115	7	5.08
5	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82
6	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6.38
4	1920 06 08 16 13	Appennino forlivese	19	5-6	4.54
4	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6.53
3	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5.13
3-4	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5.36
5	1929 07 18 21 02	Mugello	56	6-7	4.96
NF	1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10	6.67
4	1931 04 01 06 01	Faentino	12	5	4.14
6	1931 04 05 13 34	Faentino	14	6	4.4
4-5	1931 09 05 01 25 53.00	Mugello	28	6	4.88
5	1931 12 15 03 23	Mugello	35	6	4.62
4	1934 05 28 21 09	Faentino	10	4	3.94
5	1935 06 05 11 48	Faentino	27	6	5.23
4	1952 07 04 20 35 12.00	Appennino forlivese	64	7	4.94
F	1952 12 02 06 13 22.00	Appennino forlivese	53	5	4.42
2	1953 12 14 07 11 06.00	Appennino forlivese	48	5-6	4.7
3	1956 04 26 03 00 03.00	Appennino bolognese	89	6	4.74
3	1956 05 26 18 40	Appennino forlivese	76	7	4.99
4	1961 05 08 22 45 51.00	Forlivese	40	5	4.37

F	1964 09 05 21 09	Appennino tosco-emiliano	22	5	4.35
F	1965 12 18 09 22 25.00	Pianura romagnola	11	5	4.54
4	1968 01 11 17 08 09.00	Pianura romagnola	4	4	4.44
3	1969 01 10 16 17 32.00	Pianura Ravennate	22	5	4.38
3	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	228	8	5.51
NF	1971 10 04 16 43 32.60	Valnerina	43	5-6	4.51
NF	1972 11 30 11 25 27.45	Costa pesarese	30		4.52
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4.43
3-4	1995 12 27 23 44 27.69	Forlivese	37	5	3.97
4	1999 01 25 22 45 58.08	Appennino forlivese	97	5	4.36
5	2000 05 06 22 07 03.78	Faentino	85	5	4.08
5	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4.67
5-6	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4.82
2	2002 11 02 10 57 44.89	Ferrarese	79	4	4.21
4-5	2003 01 26 19 57 03.21	Appennino forlivese	35	6	4.66
3-4	2003 01 26 20 15 03.07	Appennino forlivese	63	5-6	4.5
3-4	2003 01 29 23 50 16.38	Appennino forlivese	71	4-5	4.06
4-5	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5.24
NF	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4.18
5	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4.29

Tabella 3. Storia sismica del Comune di Brisighella [lat. 44.223, lon. 11.775]

6.3. Sorgenti sismogenetiche

Recentemente è stata presentata la nuova versione (vers. 3.2) del database “A compilation of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas”, inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio 2000 come versione 1.0 e quindi pubblicato nel 2001 come versione 2.0 (Valensise & Pantosti, 2001).

Il Database contiene sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti. La nuova versione del Database contiene oltre 100 sorgenti sismogenetiche identificate attraverso studi geologico-geofisici (70% in più rispetto alla precedente versione). Tali sorgenti ricadono sull'intero territorio italiano e su alcune regioni confinanti.

L'assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull'andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo in alcuni casi di individuare aree di potenziale gap sismico.

Obiettivo del Database è quello di rendere quanto più possibile completa l'informazione sulle sorgenti sismogenetiche potenziali del territorio nazionale; per questa ragione, oltre ad un numero maggiore di sorgenti individuali, viene proposta una forma di rappresentazione e caratterizzazione di tutte le aree che, pur essendo certamente in grado di generare forti terremoti, sono ancora poco comprese. È stata pertanto istituita una nuova categoria di aree sismogenetiche per le quali, in analogia con quanto proposto dalla nuova zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti & Valensise, 2004), viene fornita la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa.

Dall’esame del Database, il tratto di intervento si trova tra due sorgenti sismogenetiche composita: la ITCS001 Castel San Pietro - Meldola, la ITCS027 Bore – Montefeltro – Fabriano – Laga. Le principali informazioni di riferimento della sorgente sono riportate in Figura 6 e Figura 7.

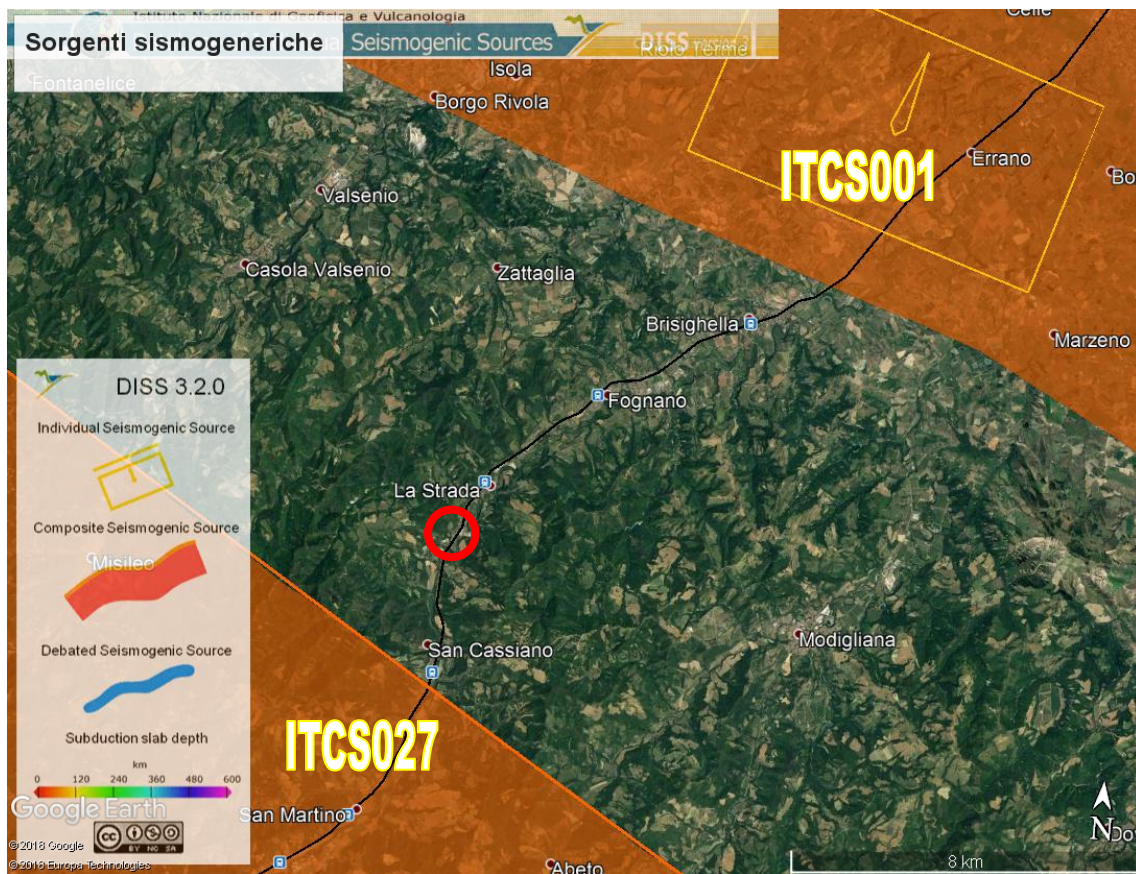


Figura 5. Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del “Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy” per l’area in oggetto

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	8.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	110... 140	LD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	30...40	LD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80... 100	LD	Based on geological data from various authors.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.24...0.63	EJ	Inferred from geological data on adjacent structures.
Max Magnitude [Mw]	5.8	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Figura 6. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS0001

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	12.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max depth [km]	22.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike [deg] min... max	90... 160	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Dip [deg] min... max	20...55	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Rake [deg] min... max	70... 110	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1... 0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Figura 7. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS027

6.4. Magnitudo di riferimento

Sulla base delle originali elaborazioni relative alla definizione delle sorgenti sismogenetiche (DISS2.0-2001) è stato elaborato un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere ed i rates di sismicità attesa zona per zona. Questo modello, che

si pone come base per la redazione della carta di pericolosità sismica (Figura 8) è rappresentato dalla mappa delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti & Valensise, 2004).

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale, la sismicità in Italia può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, espressa in termini di magnitudo momento Mw.

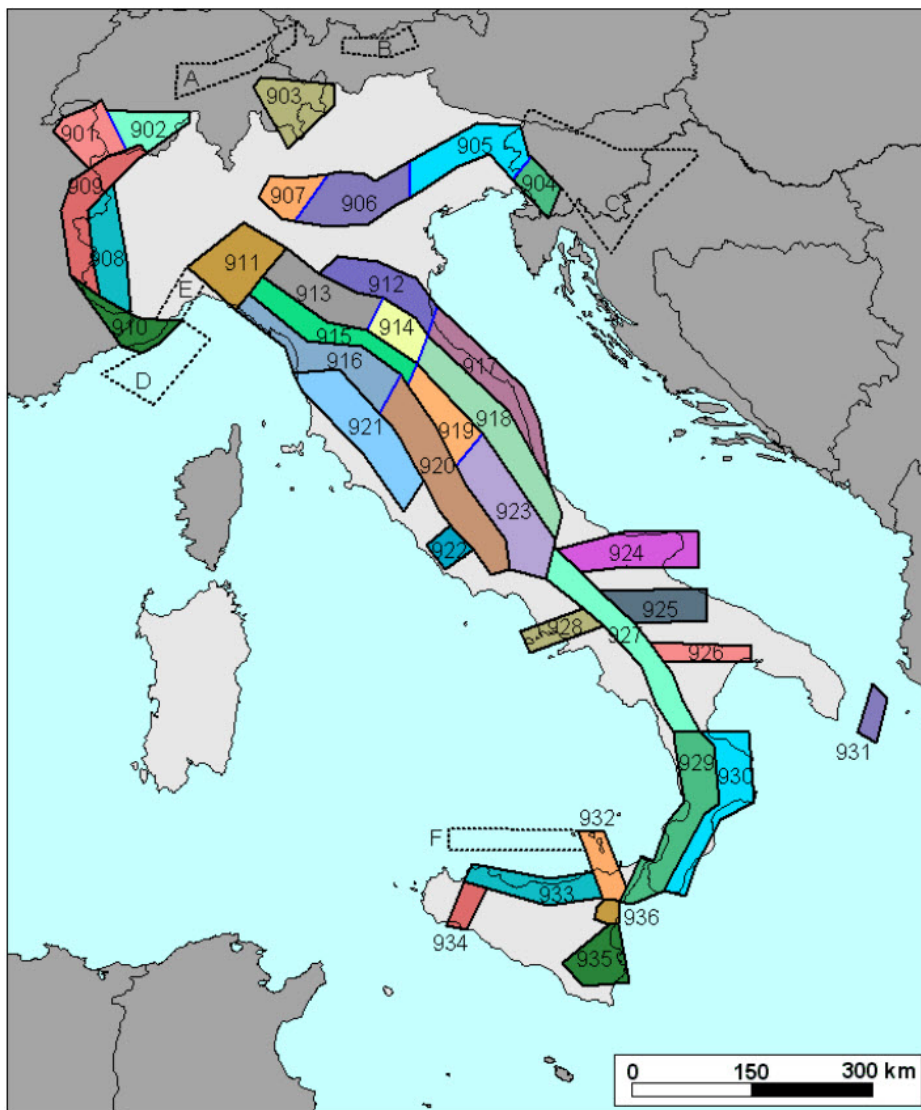


Figura 8. Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento

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

Figura 9. Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9

L'area di intervento ricade interamente entro la zona sismogenetica 914, alla quale è associato un valore di Magnitudo massima attesa M_{wmax}=6.14 (Figura 9).

6.5. Parametri per la determinazione dell'azione sismica di riferimento

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di sottosuolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse.

6.5.1. Categoria di sottosuolo e frequenza propria di sito

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del D.M. 17/01/2018 (riportata sotto), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{S,eq} (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

V_{S,i} velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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_{S,30}, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale

profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

Nell'area di studio, facendo riferimento alle indagini sismiche appositamente eseguite nel novembre 2018, nonché ai risultati delle indagini geognostiche, indipendentemente dall'approfondimento della struttura fondale in progetto, è possibile classificare i terreni in sito come suolo di tipo "E".

6.5.2. Condizioni topografiche

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, l'area in oggetto è localizzata in ambito di media collina con morfologia che può essere ricondotta ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.III.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

L'area in oggetto può essere classificata in categoria T2, caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,2$.

6.6. DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto ai sensi del D.M. 17/01/2018, in base alle quali valutare il rispetto degli stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nel DM 17/01/2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

In allegato alla norma NTC-DM 14/01/2008, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_o e T^*_c necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Il sito in oggetto è contraddistinto dalle coordinate:

- WGS84 - latitudine: 44.171330, longitudine: 11.691373;
- ED50 - latitudine: 44.172274, longitudine: 11.692352.

Ai sensi del D.M. 17.01.2018 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi.

Nel caso in esame per la definizione dell'azione sismica si fa riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e delle caratteristiche della superficie topografica (vedi paragrafo 6.5).

Un utile strumento operativo per determinare l'azione sismica di progetto è rappresentato dal foglio elettronico di calcolo “Spettri-NTC ver.1.0.3.xls” realizzato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e liberamente scaricabile dal sito www.cslp.it; tale strumento operativo è stato impiegato nel presente lavoro.

I parametri di input per la definizione dell'azione sismica sono i seguenti:

- Vita nominale: $V_N = 50$ anni,
- Classe d'uso: IV (coefficiente d'uso $C_U = 2.0$);
- Categoria di sottosuolo: E;
- Categoria topografica: T2.

Si ottiene pertanto:

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

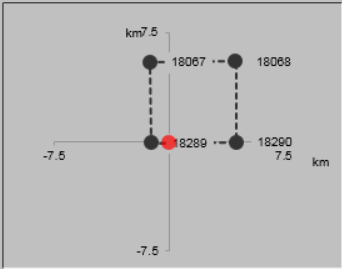
Grafici spettri di risposta ▶▶

Variabilità dei parametri ▶▶

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri ▶▶

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento


Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="60"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="101"/>

Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="949"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1950"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo info

Categoria topografica info

$S_S = 1.274$ $C_C = 1.827$ info

$h/H = 1.000$ $S_T = 1.200$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE) $\xi = 5\%$ $\eta = 1.000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU) $q_0 = 3$ $\eta = 1.000$ info

Compon. verticale

Spettro di progetto $q = 1.5$ $\eta = 0.667$ info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.260 g
F_0	2.538
T_C^*	0.314 s
S_S	1.274
C_C	1.827
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.529
η	1.000
T_B	0.191 s
T_C	0.574 s
T_D	2.640 s

Da cui deriva la seguente accelerazione massima:

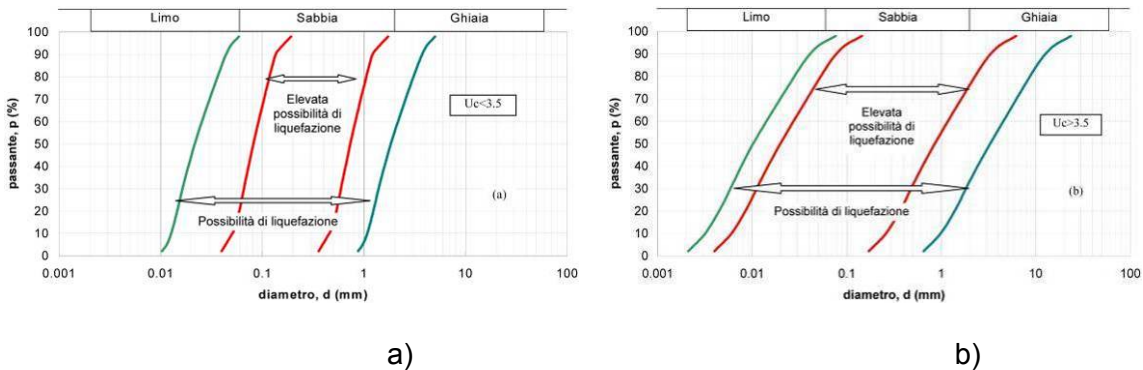
$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 0.398 \text{ g}$$

7. ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

In terreni saturi sabbiosi sollecitati, in condizioni non drenate, da azioni cicliche dinamiche, il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

In base ad D.M. 17/01/2018, la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanza:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite, con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{c1N} è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche statiche (CPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



Sulla base di quanto sopra esposto, viste le risultanze del modello geologico di riferimento, per il tratto di intervento si può omettere la possibilità di liquefazione.