

**DOTT. GEOL. STEFANO LITI**

Studio Tecnico Via Roma 5/m - 05021 Acquasparta (Terni)

Tel.0744 - 933047 - C.F. LTISFN68R19AO45B

Iscritto Ordine Geologi Umbria al n° 288

P.I. 00747960557

email: [stefanoliti@interfree.it](mailto:stefanoliti@interfree.it)

pec: [geol.stefanoliti@pec.it](mailto:geol.stefanoliti@pec.it)

In merito alla richiesta di integrazione, pervenute dalla Regione Umbria Servizio Rischio Idrogeologico idraulico e sismico e difesa del Suolo, sull'istanza prot. 29988 del 11-03-2021 lo scrivente precisa quanto segue;

- è stata realizzata una verifica di stabilità del pendio, tramite il programma SLOPE della GEOSTRU.

Le verifiche di stabilità sono state elaborate con il Metodo di Jambu e in base alla normativa NTC 2018, tenendo in considerazione le componenti sismiche del sito.

Per quanto riguarda la verifica a breve termine, visto il comportamento prettamente granulare dei terreni è stato considerato un valore minimo di coesione non drenata pari a  $0.10 \text{ Kg/cm}^2$ .

Si riportano i risultati riassuntivi dei valori di  $F_s$  delle varie verifiche, per i risultati di dettaglio vedasi relazione di calcolo allegata.

ANTEOPERA Condizioni Drenate  $F_s = 2.36 > 1.1$  da normativa

ANTEOPERA Condizioni non Drenate  $F_s = 1.37 > 1.1$  da normativa

Dalle verifiche di stabilità e dalle indagini geognostiche e geofisiche eseguite il sito risulta stabile.

È stata redatta inoltre una risposta sismica locale del sito in esame.

Per la stesura della stessa è stata eseguita una misura del rumore sismico ambientale con il metodo HVSR.

La profondità del bedrock sismico è stata dedotta dalla misura HVSR e da un pozzo limitrofo all'area in studio.

Le velocità dei sismostrati considerati è stata dedotta dalle indagini sismiche pregresse realizzate nel sito in studio e zone limitrofe allo stesso.

Per quanto riguarda gli accelerogrammi quest'ultimi sono stati prelevati dal sito istituzionale della Regione Umbria, in classe d'uso II e Vn 50 anni (SLV 475 anni).

I risultati dello spettro di risposta sono i seguenti:

**Parametri spettro normalizzato**

Ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s <sup>2</sup> ]	Se(TB) [m/s <sup>2</sup> ]	S
2.317	2.470277	--	0.155	0.465	2.545	2.317	5.724	1.458

**Fattori di amplificazione su intensità spettrale**

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.054	0.088	0.200	1.631
0.400	0.800	0.073	0.139	0.500	1.904
0.700	1.100	0.077	0.167	0.636	2.177

Per i dettagli vedi relazione di calcolo allegata alla presente integrazione.

**Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)**

Lat./Long.	42,705601/12,531915
Normativa	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0,43 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-18,48 m
Ascissa vertice destro superiore xs	87,52 m
Ordinata vertice destro superiore ys	29,11 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,55	2,52	0,27
S.L.D.	50,0	0,68	2,51	0,28
S.L.V.	475,0	1,59	2,46	0,31
S.L.C.	975,0	1,98	2,48	0,32

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,825	0,2	0,0168	0,0084
S.L.D.	1,02	0,2	0,0208	0,0104
S.L.V.	2,3225	0,24	0,0568	0,0284
S.L.C.	2,7711	0,28	0,0791	0,0396

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0568
Coefficiente azione sismica verticale	0,0284

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	23,91	2,1
3	49,39	5,0
4	67,29	7,3
5	89,15	10,3

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,9
2	23,91	1,2
3	49,39	4,1
4	67,29	6,4
5	89,15	9,4

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-5,8
2	23,91	-2,5
3	49,39	0,9
4	67,29	3,5
5	89,15	5,2

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0	0.10	21	1700	1800	Terreno rimaneggiato	
2	0	0.10	23	1800	1900	Sabbie limose travertinose	
3	0	2.00	28	1900	2000	Argille	

**Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]**

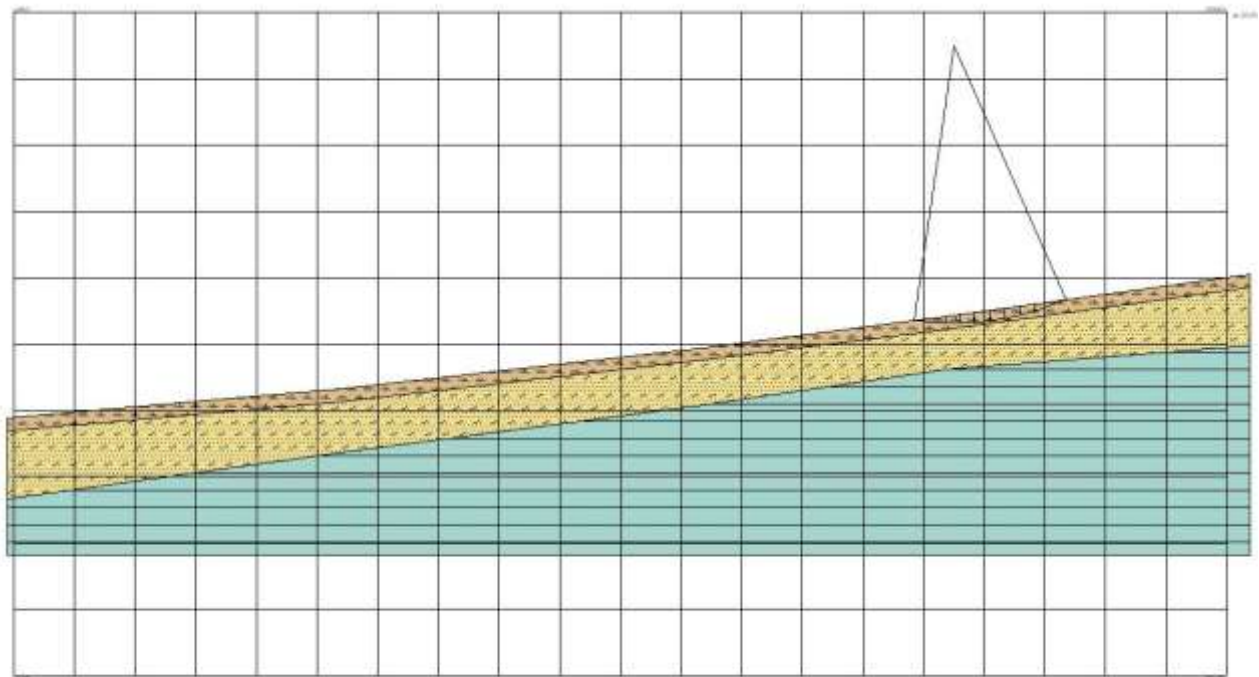
Fs minimo individuato	2,36
Ascissa centro superficie	67,93 m
Ordinata centro superficie	26,73 m
Raggio superficie	19,93 m

B: Larghezza del conchio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del conchio; Li: Lunghezza della base del conchio; Wi: Peso del conchio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$x_c = 67,926 \quad y_c = 26,731 \quad R_c = 19,932 \quad F_s = 2,356$$

SLOPE

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,09	-6,8	1,1	264,84	15,04	7,52	0,0	21,0	0,0	273,0	53,8
2	1,16	-3,5	1,17	769,19	43,69	21,85	0,0	21,0	0,0	780,0	152,8
3	1,02	-0,4	1,02	990,62	56,27	28,13	0,0	21,0	0,0	991,9	193,9
4	1,09	2,7	1,09	1289,27	73,23	36,62	0,0	21,0	0,0	1279,0	250,3
5	1,09	5,8	1,1	1416,78	80,47	40,24	0,0	21,0	0,0	1396,3	274,4
6	1,09	9,0	1,11	1431,24	81,29	40,65	0,0	21,0	0,0	1405,6	278,2
7	1,09	12,2	1,12	1330,19	75,55	37,78	0,0	21,0	0,0	1305,7	261,2
8	1,09	15,4	1,13	1109,9	63,04	31,52	0,0	21,0	0,0	1092,4	221,6
9	1,09	18,7	1,15	765,31	43,47	21,73	0,0	21,0	0,0	757,9	156,4
10	1,09	22,1	1,18	289,68	16,45	8,23	0,0	21,0	0,0	289,6	61,1



**Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)**

Lat./Long.	42,705601/12,531915
Normativa	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione non drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0,43 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-18,48 m
Ascissa vertice destro superiore xs	87,52 m
Ordinata vertice destro superiore ys	29,11 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,55	2,52	0,27
S.L.D.	50,0	0,68	2,51	0,28
S.L.V.	475,0	1,59	2,46	0,31
S.L.C.	975,0	1,98	2,48	0,32

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,825	0,2	0,0168	0,0084
S.L.D.	1,02	0,2	0,0208	0,0104
S.L.V.	2,3225	0,24	0,0568	0,0284
S.L.C.	2,7711	0,28	0,0791	0,0396

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0568
Coefficiente azione sismica verticale	0,0284

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	23,91	2,1
3	49,39	5,0
4	67,29	7,3
5	89,15	10,3

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,9
2	23,91	1,2
3	49,39	4,1
4	67,29	6,4
5	89,15	9,4

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-5,8
2	23,91	-2,5
3	49,39	0,9
4	67,29	3,5
5	89,15	5,2

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

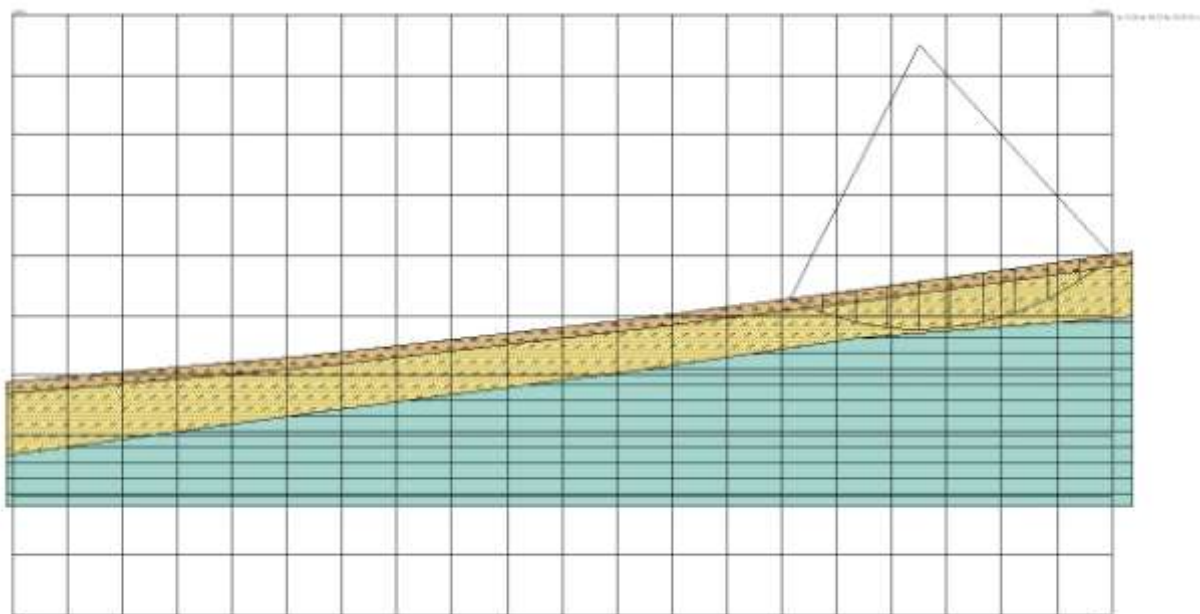
Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0	0.10	21	1700	1800	Terreno rimaneggiato	
2	0	0.10	23	1800	1900	Sabbie limose travertinose	
3	0	2.00	28	1900	2000	Argille	

**Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]**

Fs minimo individuato	1,37
Ascissa centro superficie	72,28 m
Ordinata centro superficie	26,73 m
Raggio superficie	22,55 m

$$xc = 72,28 \quad yc = 26,731 \quad Rc = 22,554 \quad Fs=1,37$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2,54	-23,4	2,77	3482,07	197,78	98,89	0,1	0,0	0,0	4847,0	2645,1
2	2,69	-16,3	2,81	196,96	579,19	289,59	0,1	0,0	0,0	11347,0	2559,4
3	2,39	-9,7	2,43	13277,58	754,17	377,08	0,1	0,0	0,0	13833,5	2158,2
4	2,54	-3,4	2,55	17100,16	971,29	485,64	0,1	0,0	0,0	17261,2	2234,5
5	2,54	3,1	2,55	18814,91	1068,69	534,34	0,1	0,0	0,0	18721,7	2233,3
6	2,54	9,6	2,58	19134,32	1086,83	543,41	0,1	0,0	0,0	19024,3	2290,7
7	2,54	16,3	2,65	18003,45	1022,6	511,3	0,1	0,0	0,0	18077,0	2416,2
8	2,54	23,1	2,77	15300,35	869,06	434,53	0,1	0,0	0,0	15604,0	2633,5
9	2,54	30,4	2,95	10805,14	613,73	306,87	0,1	0,0	0,0	11012,8	2993,3
10	2,54	38,3	3,24	4130,68	234,62	117,31	0,1	0,0	0,0	3023,9	3612,2







**DOTT. GEOL. STEFANO LITI**

Studio Tecnico Via Roma 5/m - 05021 Acquasparta (Terni)

Tel.0744 - 933047 - C.F. LTISFN68R19AO45B

Iscritto Ordine Geologi Umbria al n° 288

P.I. 00747960557

email: [stefanoliti@interfree.it](mailto:stefanoliti@interfree.it)

pec: [geol.stefanoliti@pec.it](mailto:geol.stefanoliti@pec.it)

**REGIONE UMBRIA**

**PROVINCIA DI TERNI**

**COMUNE DI ACQUASPARTA**

**LOCALITÀ: STRADA DI MONTALBANO**

**COMMITTENTE: Sig. Duranti Enrico**

**INDAGINI HVSR**

**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO – METODO DI NAKAMURA**

## **PREMESSA**

Nel mese di Maggio 2021 è stata eseguita n° 1 indagine di tipo HVSR (*Horizontal To Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura*) all'interno del territorio del Comune di Acquasparta.

L'indagine è consistita nell'approntamento di n. 1 stazione puntuale effettuando acquisizioni tramite il sensore SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors).

Come sorgente di energia è stato utilizzato il rumore sismico di fondo; la successiva elaborazione è avvenuta mediante i software: GeoExplorer® Sara Instruments e Geopsy.

## **NOTE TEORICHE**

### *Principi, scopi e limiti del metodo HVSR.*

Il metodo HVSR è stato sviluppato in Giappone negli anni '70 e diffuso alla fine degli anni '80 da Nakamura. Consiste nel calcolo del rapporto (indicato come H/V) della media delle componenti orizzontali con la componente verticale dello spettro di Fourier del rumore ambientale registrato da un sensore a tre componenti e un digitalizzatore di segnale.

Le onde superficiali sono le protagoniste nel campo di rumore ambientale, ed hanno come caratteristiche: l'ellitticità, ovvero la differenza tra le ampiezze orizzontali e verticali del moto in funzione della frequenza (l'ellitticità è massima in corrispondenza della frequenza di risonanza delle onde S), e la dispersione, ovvero le variazioni di velocità di propagazione delle onde in funzione della frequenza di vibrazione (fig.1).

Il risultato dell'elaborazione, mediante specifici software, consiste nel mostrare l'andamento del rapporto H/V per ogni frequenza di interesse ingegneristico (tipicamente 0,2 – 40 Hz) e mostra il massimo o i massimi di tale rapporto intorno alla frequenza fondamentale di sito e modi superiori. L'ampiezza del picco del rapporto H/V non fornisce un valore esatto dell'amplificazione del moto del suolo, ma è comunque proporzionale (non lineare): maggiore è il valore del picco misurato e maggiore sarà l'amplificazione sismica attesa (fig.2). Il massimo del rapporto H/V misurato è dovuto generalmente al contrasto di impedenza tra il bedrock sismico e la copertura sovrastante e maggiore è il contrasto e maggiore sarà l'ampiezza del picco (fig.3). Tuttavia può accadere che interfacce più rigide dal punto di vista sismico all'interno delle formazioni sedimentarie possano generare picchi

del rapporto spettrale che non si riferiscono quindi al contrasto tra bedrock e coperture. Effetti di sito 2D e 3D come vicinanza ai bordi di bacino, la presenza di valli strette, vicinanza di alberi ed edifici eccetera possono dominare il pattern di risonanza e quindi condurre forti errori di valutazione in un modello di inversione 1D. Il rapporto spettrale H/V non può dunque essere invertito da solo in un profilo di velocità delle onde di taglio, ma solo dopo l'integrazione con altre prove geofisiche e la conoscenza della struttura geologica investigata. Infatti un'onda che viaggia da un mezzo ad un altro viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. Nel caso di un modello a due strati omogenei ed isotropi con contrasto di impedenza si ha che la frequenza fondamentale  $f_0$  relativa alle onde S è legata alla velocità  $V_s$  dello strato a minore impedenza ed al suo spessore H dalla relazione  $f_0 = V_s/4H$  (fig. 4).

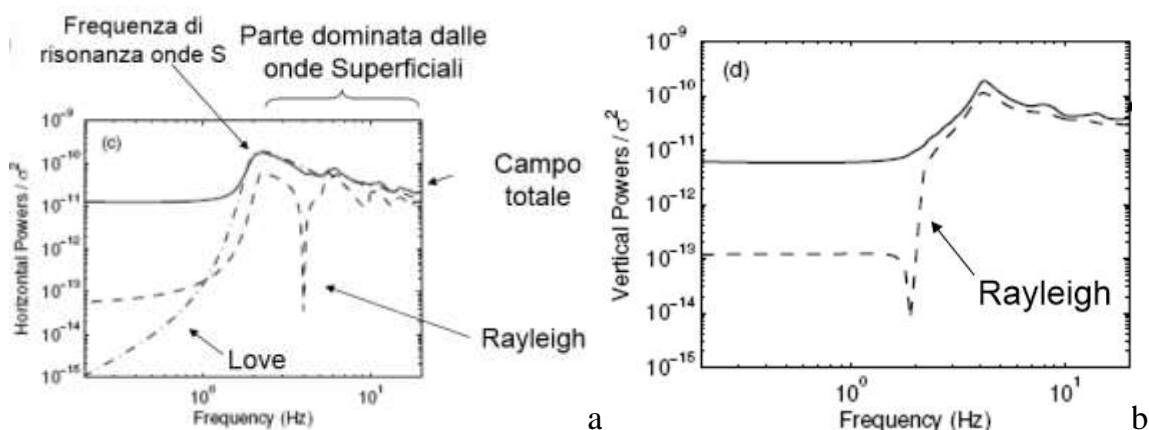
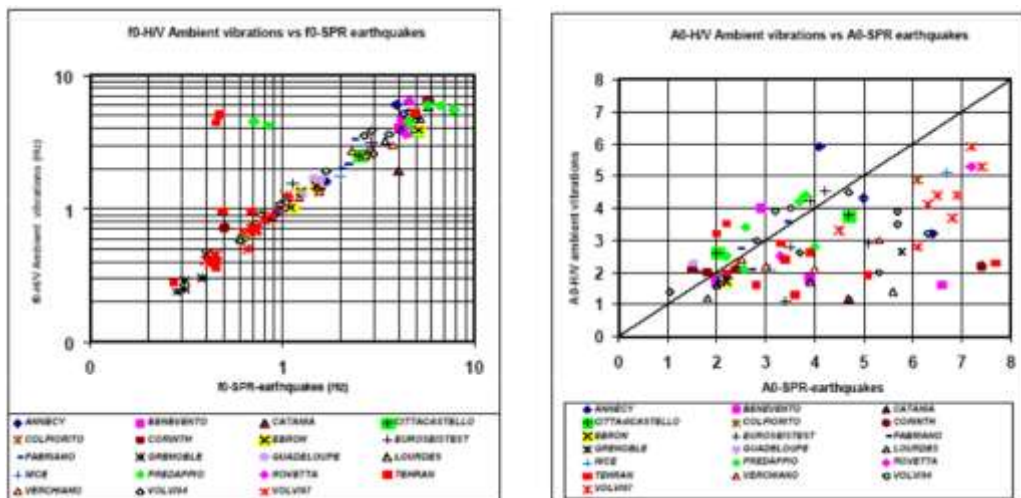
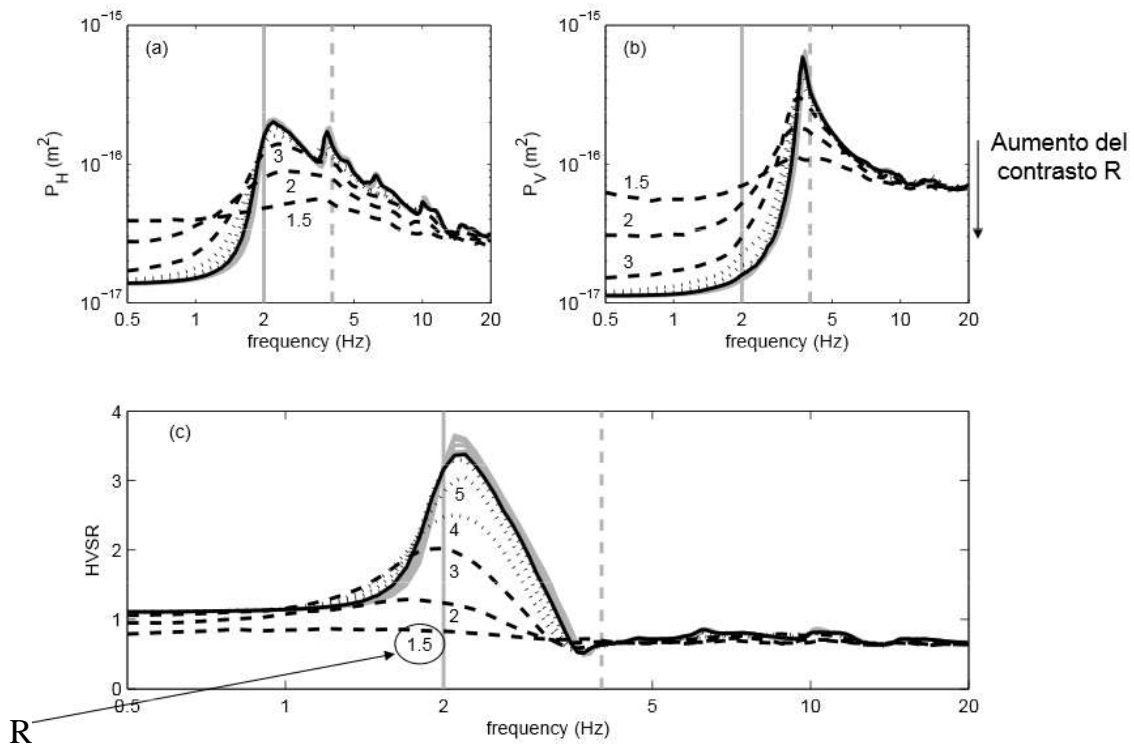


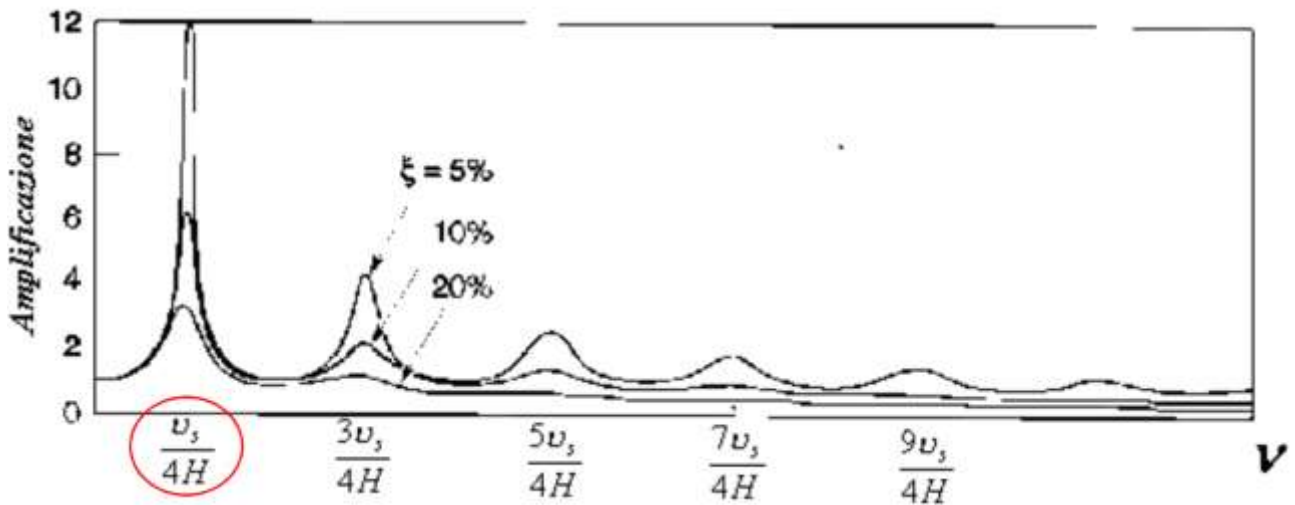
Figura 1: peso delle fasi della perturbazione meccanica per la componente orizzontale (a) e verticale (b).



**Figura 2: Confronto tra indagini HVSR e terremoti: correlazione per la frequenza  $f_0$  e Non-correlazione per l'ampiezza  $A_0$ .**



**Figura 3: Più alto è il contrasto di impedenza sismica R e maggiore sarà il massimo del rapporto H/V.**



**Figura 4: modo fondamentale e modi superiori di vibrazione in funzione delle velocità e degli spessori dei sismostrati.  $\xi$  = smorzamento.**

Cos'è una misura HVSR

È una tecnica di sismica passiva finalizzata alla caratterizzazione delle proprietà meccaniche del sottosuolo (impedenza sismica, velocità di propagazione delle onde S) a partire da misure del campo di vibrazioni ambientali generate da sorgenti non controllate di varia

COMUNE DI ACQUASPARTA  
 Protocollo Arrivo N. 5930/2021 del 03-06-2021  
 Doc. Principale - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

natura. Si tratta di un metodo basato sull'osservazione di un campo d'onde che interagisce con la struttura geologica del sottosuolo investigato. Il vantaggio di questa tecnica è che le onde sismiche oggetto di studio sono caratterizzate da lunghezze d'onda e profondità di propagazione molto maggiori di quelle generate artificialmente e questo permette di raggiungere profondità di esplorazione assai più grandi di quelle raggiungibili da tecniche attive, a prezzo di una peggiore risoluzione spaziale e di una maggiore ambiguità interpretativa. Inoltre possono operare in ambiente urbano anche in presenza di disturbi antropici, purché non inficino sulla attendibilità della misura (picchi dovuti a forti impulsi meccanici di siti industriali o da disturbi elettromagnetici). Per a loro natura le vibrazioni ambientali hanno un andamento molto irregolare ed esibiscono una natura essenzialmente stocastica. Questo implica che lo studio di questo tipo di fenomeno richiede un approccio diverso da quello adottato dalla sismica in array. L'attenzione si sposta dallo studio delle singole fasi sismiche a quello delle proprietà medie del segnale. La misura HVSR per essere considerata rappresentativa delle caratteristiche del sottosuolo, deve essere sufficientemente estesa nel tempo da includere l'effetto di un numero significativo di sorgenti a varie distanze dal ricevitore (fig. 5).

Inoltre, dovendo operare su un segnale di tipo stocastico, è necessario mettere in campo tutti gli accorgimenti necessari perché l'analisi spettrale fornisca risultati stabili ed affidabili per la successiva trattazione statistica. Per ottenere questi risultati bisogna quindi definire tempi di misura adeguatamente lunghi e procedere adottando opportune tecniche di trattamento del segnale. Queste caratteristiche vanno valutate per via indiretta attraverso l'impiego di opportuni indicatori: la stazionarietà temporale e la direzionalità del segnale (fig. 6).

Molto importante è la valutazione preliminare della qualità e della rappresentatività della misura effettuata; a questo proposito, il progetto SESAME ha definito una serie di criteri di carattere empirico su considerazioni di tipo statistico sulla stabilità della curva, sulle modalità di campionamento, ecc (fig. 7).

Tuttavia i criteri SESAME non tengono in considerazione di altri fattori influenti sulla qualità ed attendibilità del dato e può accadere che picchi di frequenze soddisfino i tali criteri, ma non sono imputabili a nessun vincolo geologico, mentre la mancata verifica di tali criteri non implica automaticamente che la curva H/V ricavata sia da scartare. Ad esempio se si effettua una misura HVSR su roccia compatta o su coltri dove non vi è un netto contrasto di impedenza ecc, NON può essere presente il picco di risonanza alla

frequenza fondamentale, proprio per la sua definizione naturale: è la frequenza a cui un sistema, eccitato da un impulso, vibra con maggior ampiezza. E' il reciproco del periodo fondamentale (fig. 8).

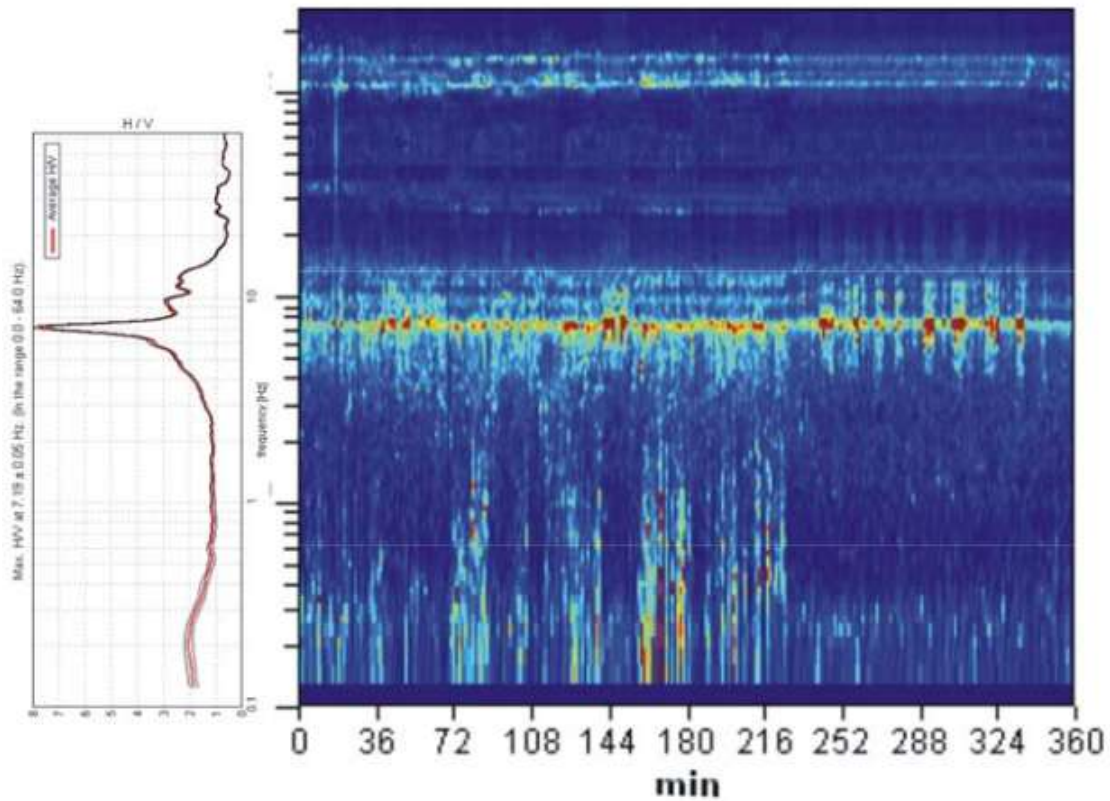


Figura 5: andamento del rapporto H/V nel tempo per ogni frequenza.

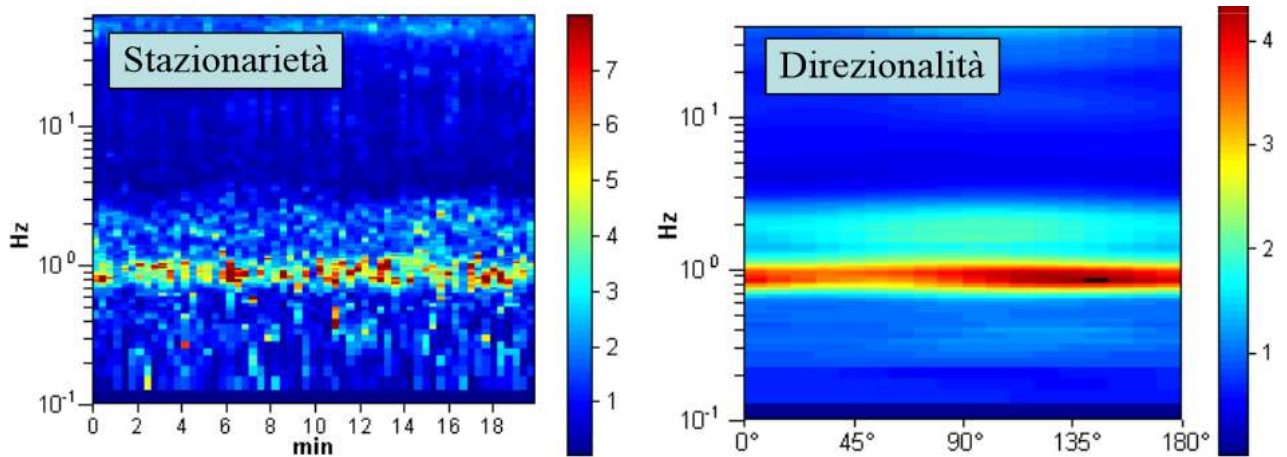


Figura 6: grafici di Stazionarietà dei rapporti H/V per ogni frequenza e durante tutto il tempo di acquisizione del segnale e grafico di Direzionalità che indica la provenienza in Azimut del massimo dei rapporti H/V considerati per la trattazione del segnale.

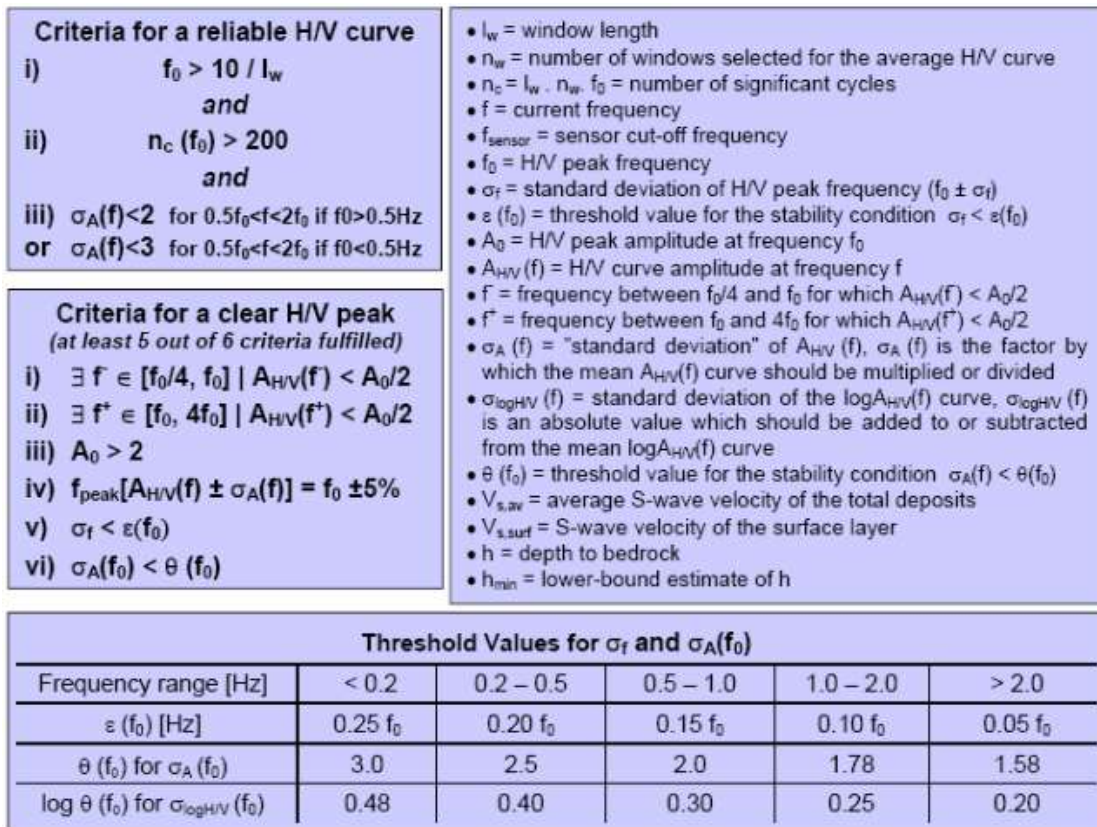


Figura 7: Criteri SESAME.

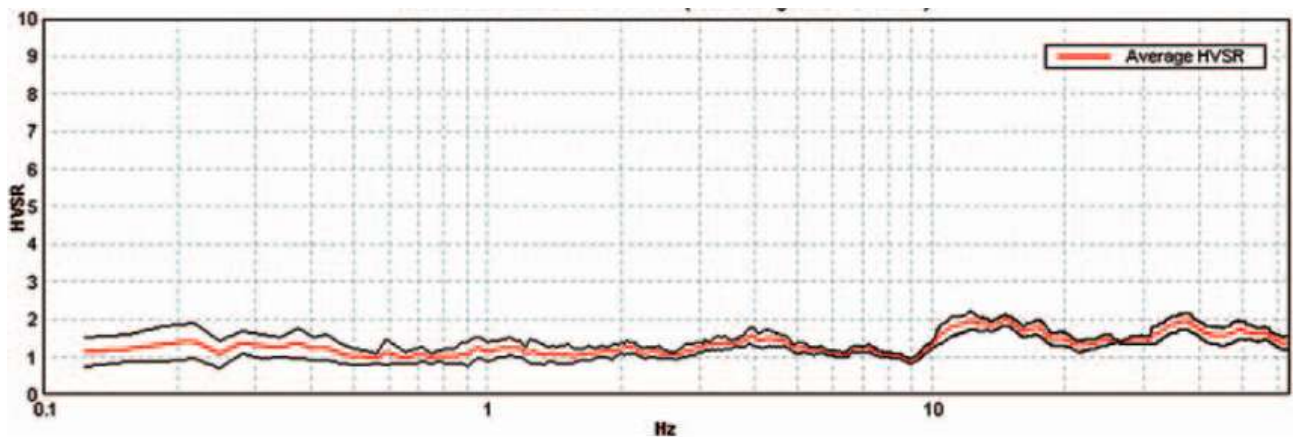


Figura 8: Curva H/V con assenza di massimi significativi. Può essere riconducibile ad acquisizione su roccia integra.<sup>1</sup>

<sup>11</sup> : immagini tratte da D.Albarello, 2013



## SINTESI DEI RISULTATI

Riepilogando, all'interno del territorio comunale di Acquasparta è stata eseguita n°1 indagini di tipo HVSR (*Horizontal To Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura*), che ha permesso di desumere la frequenza fondamentale ed alcune frequenze minori dei siti investigati dal punto di vista geofisico.

### HVSR

La misura eseguita non ha permesso di identificare un picco di risonanza del terreno ben distinto.

Il picco visibile a circa 5 Hz stando al grafico di direzionalità non costante, è probabilmente di natura antropica.

È stato individuato un secondo picco di frequenza più profondo a 0.783 Hz che però non rispetta i criteri SESAME, dovuto al passaggio al bedrock sismico, che anche da documentazione bibliografica di un pozzo realizzato in vicinanza, avverrebbe alla profondità di circa 120 metri.

# ALLEGATI HVSR

## SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

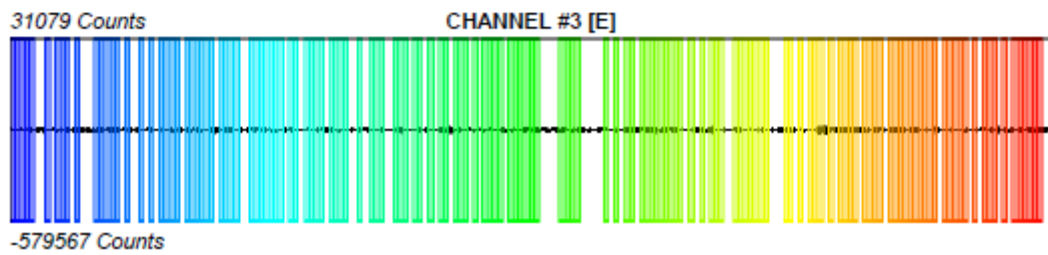
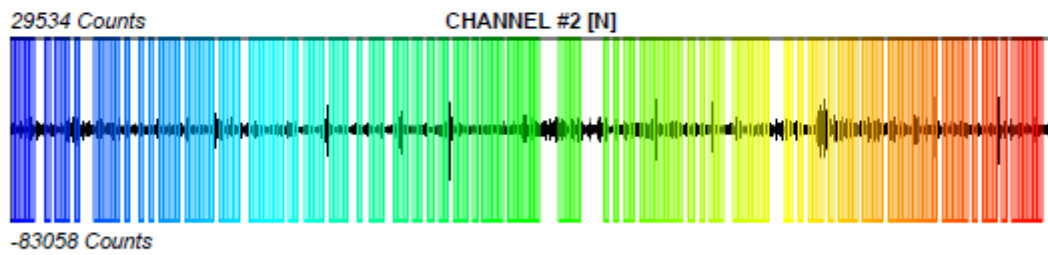
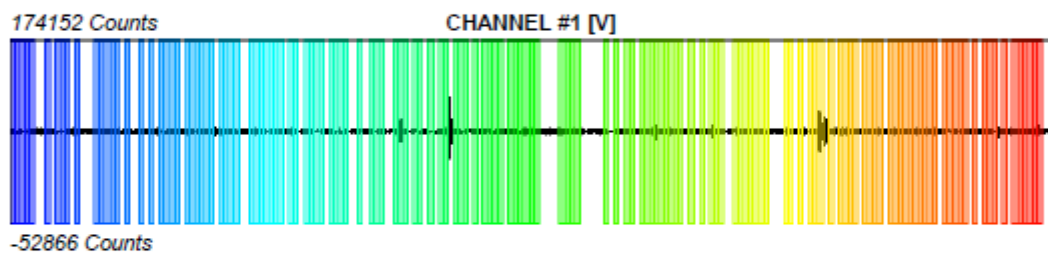
Recording start time: 2021/05/22 09:25:51

Recording length: 34.78 min

Windows count: 145

Average windows length: 10

Signal coverage: 69.49%



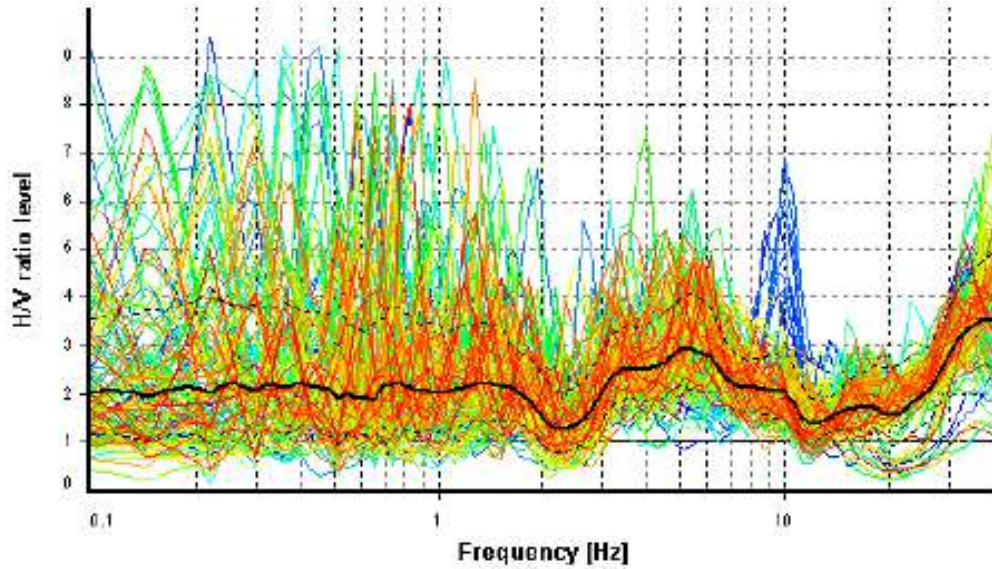
## HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

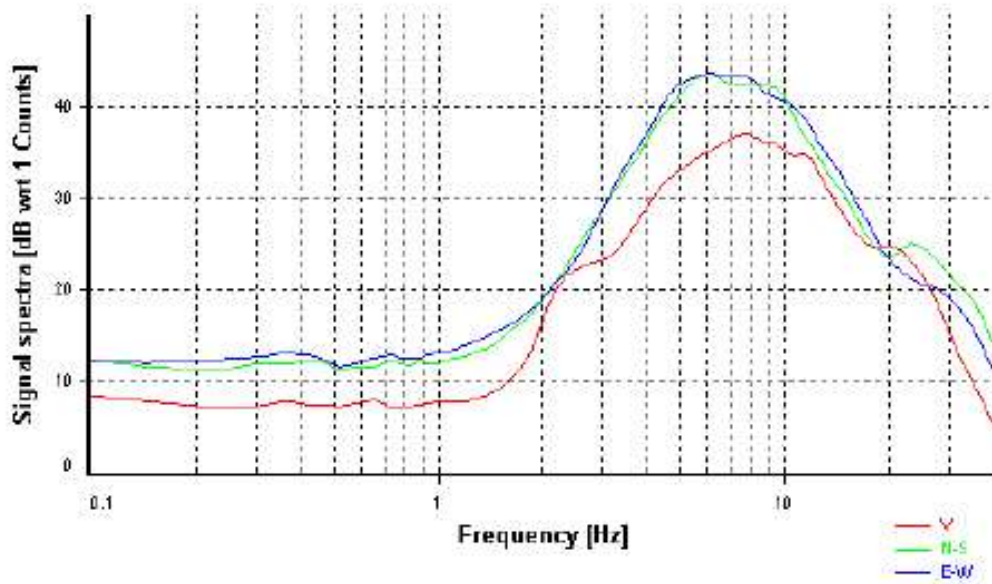
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Disabled

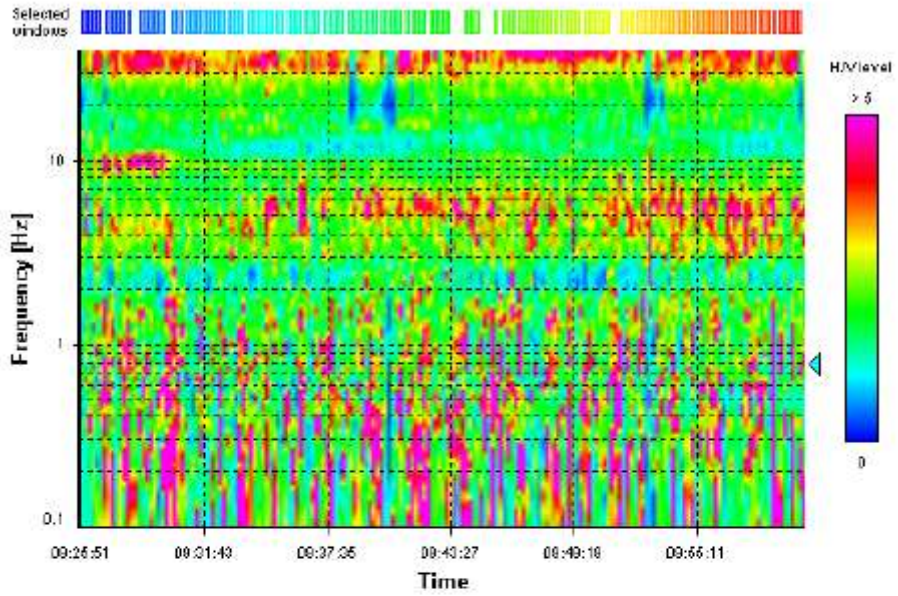
### HVSR average



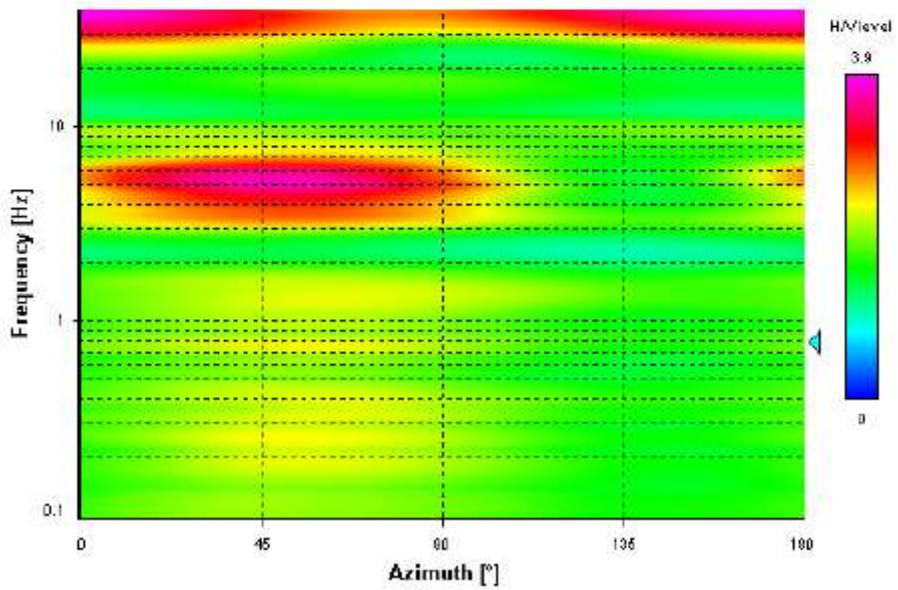
### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (11 seconds windows)



### HVSR directional analysis



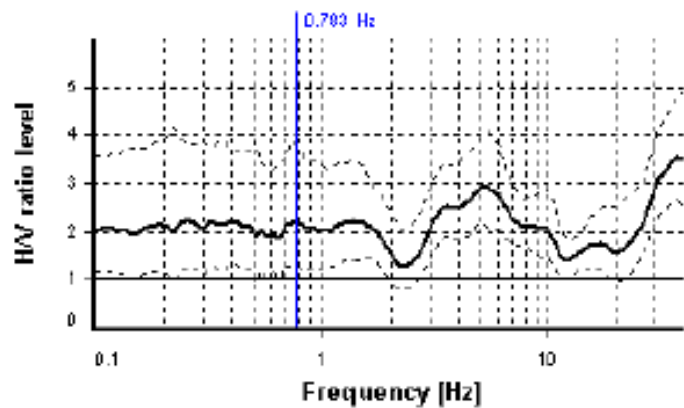
## SESAME CRITERIA

Selected  $f_0$  frequency

0.783 Hz

$A_0$  amplitude = 2.200

Average  $f_0 = 0.770 \pm 0.177$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	0 valid windows (length > 12.78 s) out of 145	NO
$n_c(f_0) > 200$	0 <= 200	NO
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 1 times in 23	NO
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	0 Hz	NO
$A_0 > 2$	2.2 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	11.4% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.17654 >= 0.11742	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.70953 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



COMUNE DI ACQUASPARTA  
Protocollo Arrivo N. 5930/2021 del 03-06-2021  
Doc. Principale - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



**GeoStru**  
**C.FISC:**  
**P.IVA:**

**Via: via G. Verdi**  
**00199 Roma - Roma**  
**Tel: 000000000 -**  
**Fax: 00000000**  
**Email: info@geostru.eu**  
**Web: www.geostru.eu**

**Data: maggio 2021**

**Il committente [Sig.ri Duranti](#)**

**IL Tecnico**  
**[Geol. Stefano Liti](#)**

**Il Progettista**

**Pericolosità sismica di base**

## INTRODUZIONE

### PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
  - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
  - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove  $M$  rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da  $N$  strati orizzontali di cui l' $N$ -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno

strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt  $\left[ \tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$ , la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove:  $u$  rappresenta lo spostamento;  $t$  il tempo;  $\rho$  la densità;  $G$  il modulo di deformazione al taglio;  $\eta$  la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove  $\omega$  rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$



avendo posto  $G^* = G + i\omega\eta$ , ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove  $\xi$  rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice \* indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

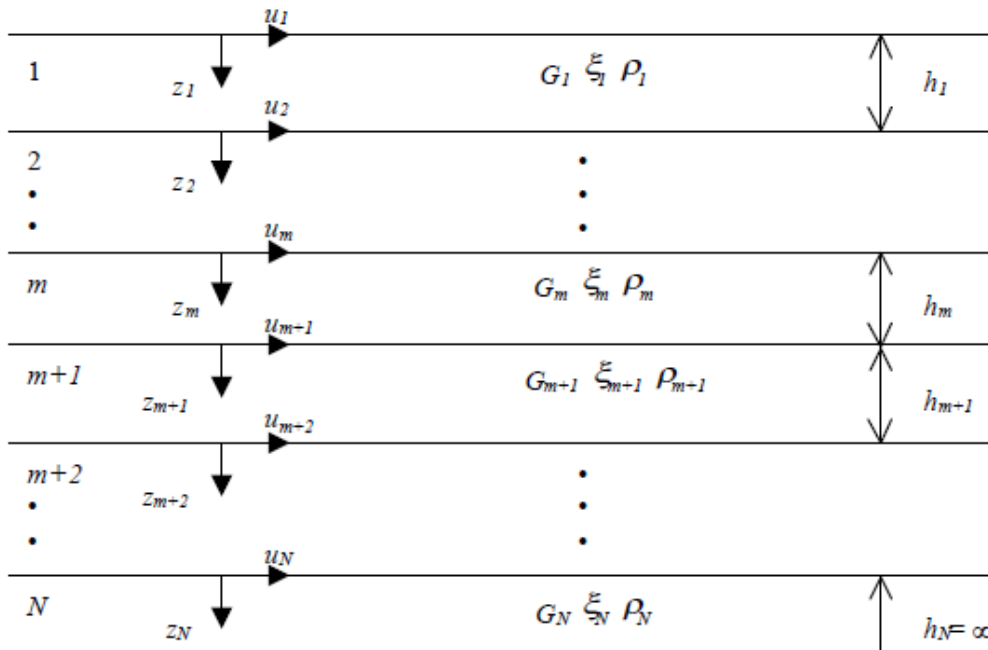


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre  $k^*$  rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* [Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)}] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato  $m$  di spessore  $h_m$  gli spostamenti, rispettivamente in sommità ( $z = 0$ ) ed al fondo ( $z = h_m$ ), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' $m$ -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove  $\alpha_m^*$  rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati  $m$  ed  $m+1$ , ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che  $E_1 = F_1$ .

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad  $m$ . La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  che lega gli spostamenti in sommità degli strati  $m$  ed  $n$  è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

$A_{mn}$  rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti  $m$  e  $n$ .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati  $n$  ed  $m$ :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità  $z$  e al tempo  $t$  dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

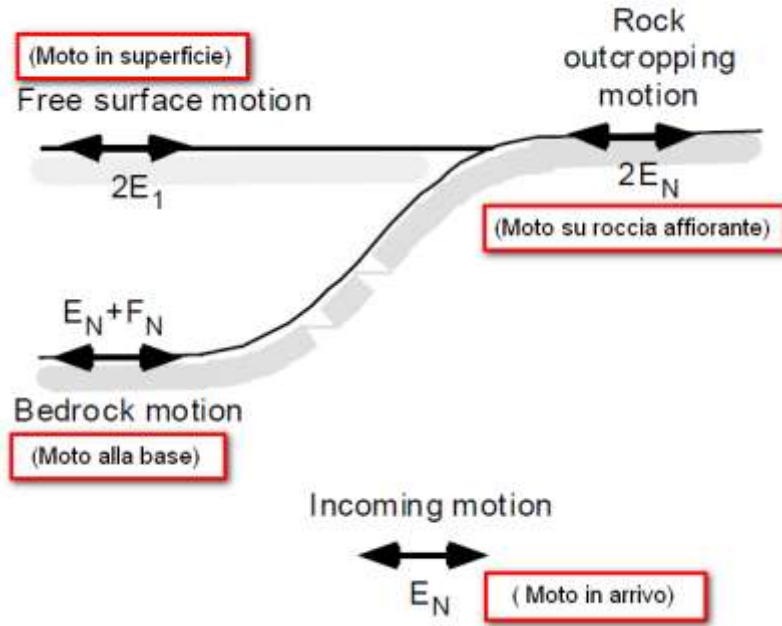


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad  $E_N$ ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a  $E_N + F_N$ . Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ( $E_N = F_N$ ), il moto avrà ampiezza pari a  $2E_N$ . La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{MN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

$A$  è non lineare poiché  $G$  è funzione di  $\gamma$ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di  $\gamma$ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo  $G$  così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per  $G(\gamma)$  adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

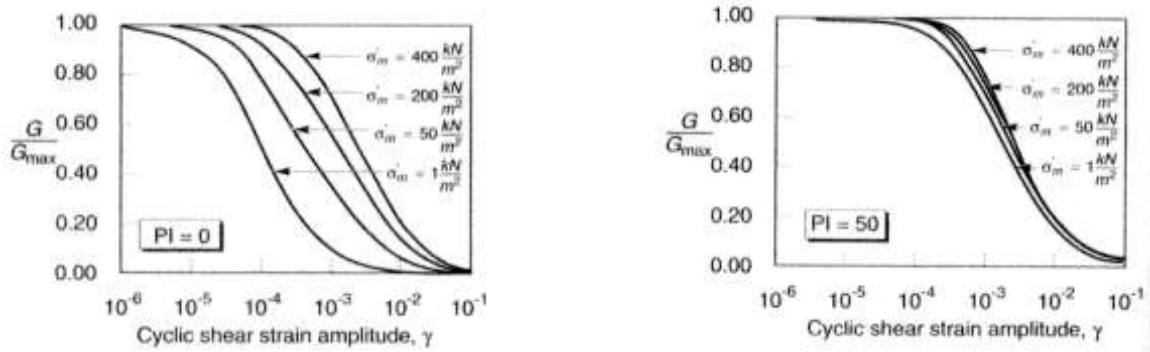
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove  $G_{max}$  è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove  $\rho$  è la densità del terreno e  $V_s$  la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di  $G$  per la prima iterazione.

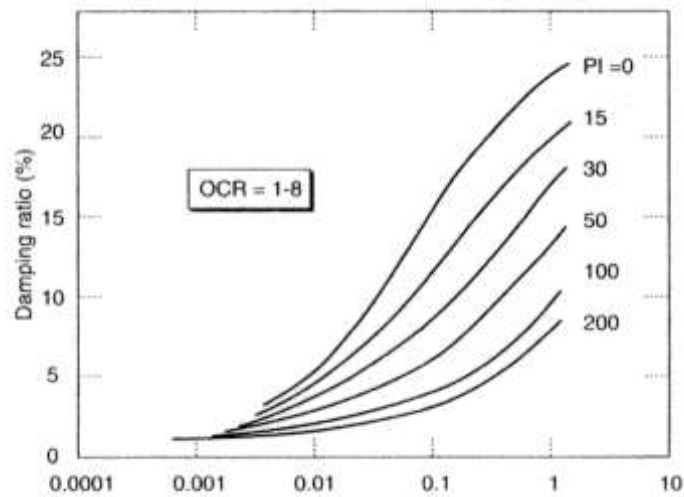


**Figura 2:** Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{2.5})}{2} \left[ 0.586 \left( \frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche  $\xi$  deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.



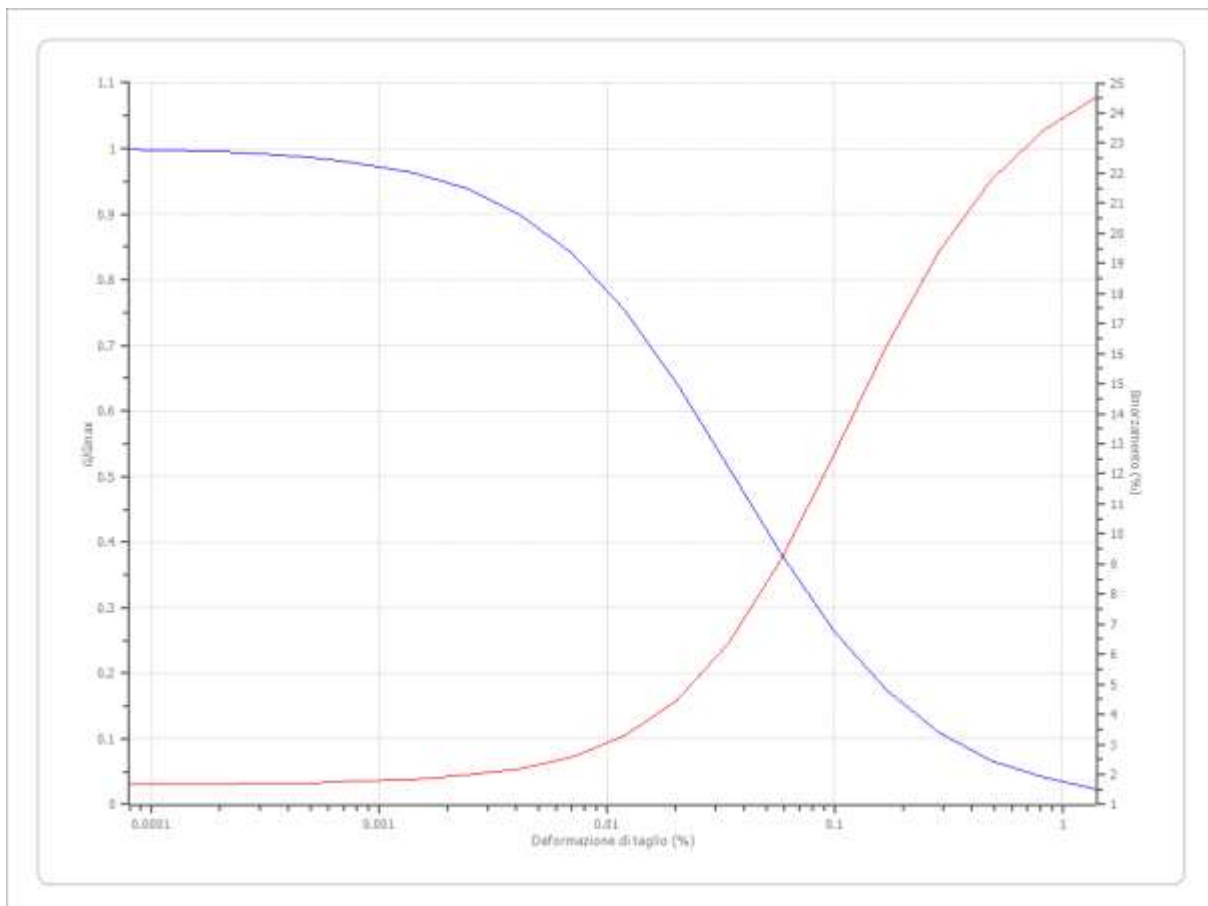
**Figura 3:** Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

## Terreni

Lombardia - Limi argillosi

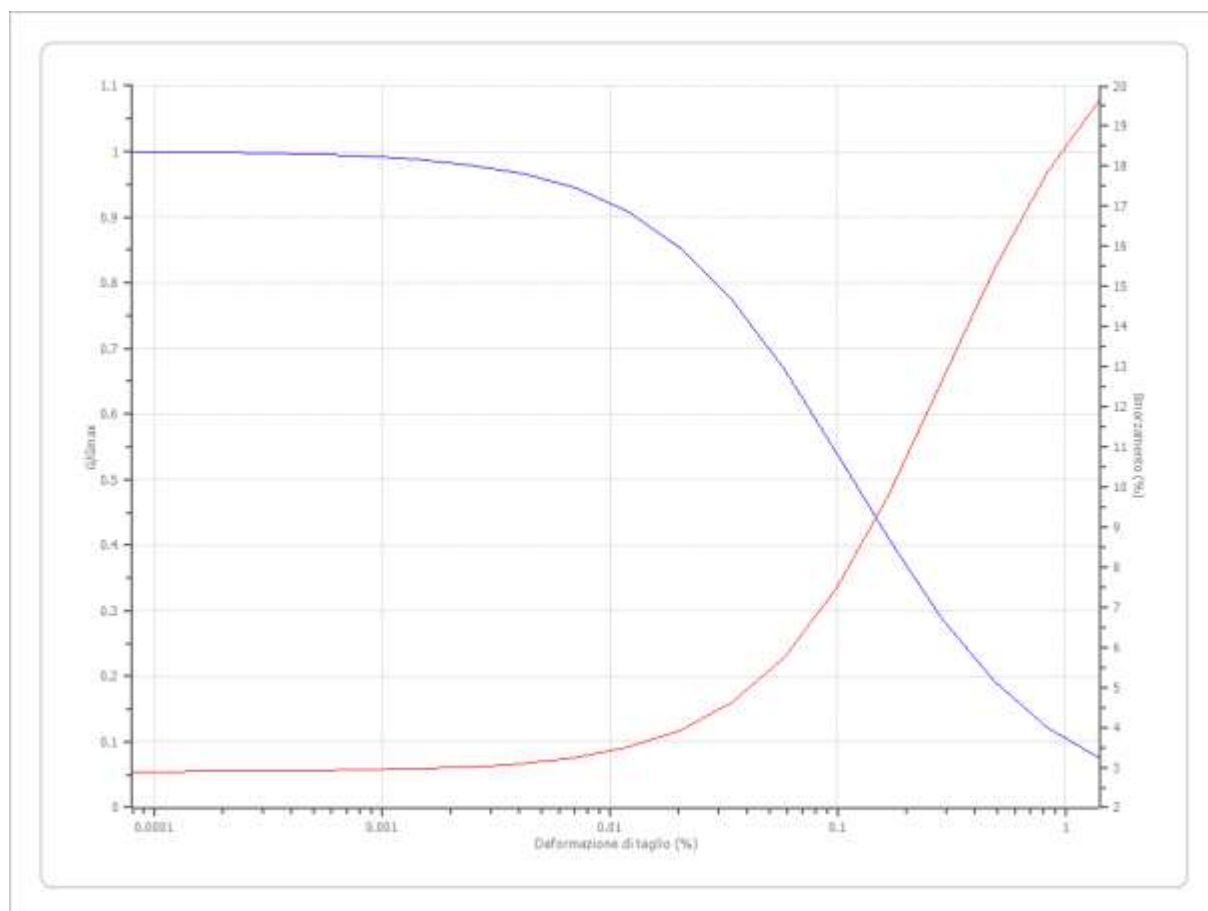
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.665475
0.0001	0.9974	0.0001	1.67745
0.0002	0.995575	0.0002	1.685925
0.0003	0.992475	0.0003	1.700375
0.0005	0.9872	0.0005	1.725175
0.0008	0.978325	0.0008	1.767775
0.0014	0.963575	0.0014	1.841375
0.0024	0.939225	0.0024	1.96895
0.0041	0.900325	0.0041	2.191675
0.007	0.8407	0.007	2.583075
0.0119	0.755075	0.0119	3.270475
0.0202	0.64305	0.0202	4.454025
0.0343	0.512875	0.0343	6.375775
0.0583	0.381	0.0583	9.167875
0.099	0.2647	0.099	12.63128
0.1684	0.173975	0.1684	16.22277
0.2862	0.109725	0.2862	19.36967
0.4866	0.0673	0.4866	21.77518
0.8272	0.040525	0.8272	23.44093
1.4063	0.024175	1.4063	24.52093

COMUNE DI ACQUASPARTA  
 Protocollo Arriivo N. 5930/2021 del 03-06-2021  
 Doc. Principale - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Lombardia - Argille limose

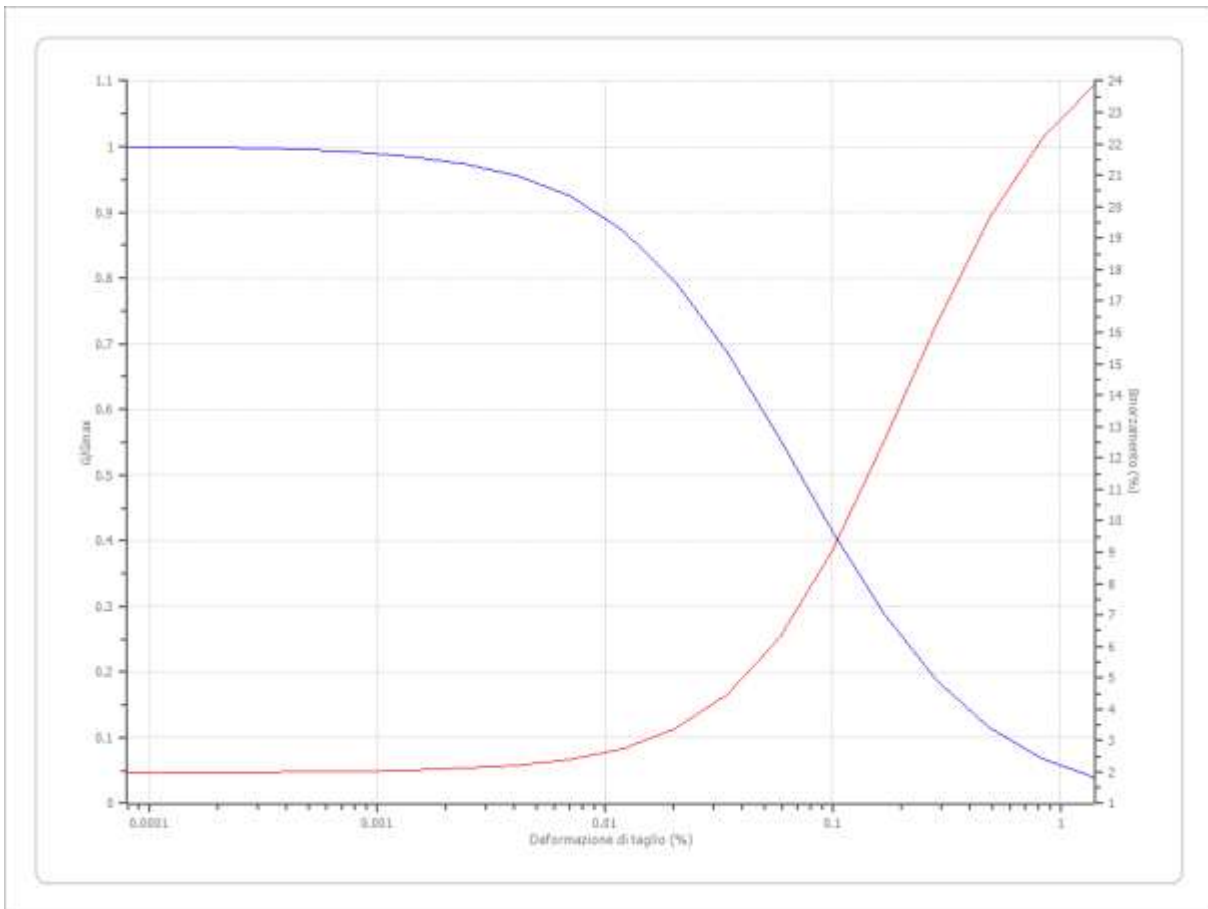
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	2.891
0.0001	0.9992	0.0001	2.8959
0.0002	0.9986	0.0002	2.8994
0.0003	0.9976	0.0003	2.9053
0.0005	0.9959	0.0005	2.9154
0.0008	0.9931	0.0008	2.9326
0.0014	0.9883	0.0014	2.962
0.0024	0.9802	0.0024	3.012
0.0041	0.9667	0.0041	3.0975
0.007	0.9445	0.007	3.2433
0.0119	0.9089	0.0119	3.4917
0.0202	0.854	0.0202	3.9125
0.0343	0.7742	0.0343	4.616
0.0583	0.6677	0.0583	5.7552
0.099	0.5408	0.099	7.4855
0.1684	0.4084	0.1684	9.848
0.2862	0.2881	0.2862	12.6362
0.4866	0.1918	0.4866	15.4287
0.8272	0.1221	0.8272	17.8243
1.4063	0.0754	1.4063	19.6357



Lombardia - Limi sabbiosi

Deformazione	G/Gmax	Deformazione	Smorzamento
--------------	--------	--------------	-------------

%		%	%
0.00008	1.000	0.00008	1.9826
0.0001	0.99915	0.0001	1.98695
0.0002	0.9985	0.0002	1.9903
0.0003	0.9974	0.0003	1.9962
0.0005	0.9953	0.0005	2.0067
0.0008	0.9918	0.0008	2.02525
0.0014	0.98555	0.0014	2.05825
0.0024	0.97465	0.0024	2.11705
0.0041	0.956	0.0041	2.222
0.007	0.9246	0.007	2.4103
0.0119	0.87385	0.0119	2.7498
0.0202	0.7964	0.0202	3.36165
0.0343	0.6886	0.0343	4.4464
0.0583	0.556	0.0583	6.2701
0.099	0.41535	0.099	9.0215
0.1684	0.2876	0.1684	12.55055
0.2862	0.1867	0.2862	16.2968
0.4866	0.11545	0.4866	19.6163
0.8272	0.0691	0.8272	22.15295
1.4063	0.0405	1.4063	23.89285



### Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	2.0	Lombardia - Limi argillosi	0	73.39	--	18.0	200.0	18.0
2		2.0	5.0	Lombardia - Limi sabbiosi	0	169.72	--	18.5	300.0	82.3
3		7.0	40.0	Lombardia - Argille limose	0	309.89	--	19.0	400.0	508.5
4		47.0	70.0	Lombardia - Argille limose	0	733.94	--	20.0	600.0	1588.5
5		oo	--	Smorzamento costante	0	2752.29	--	27.0	1000.0	2288.5

Strato rilevamento accelerogramma: 5 Affiorante



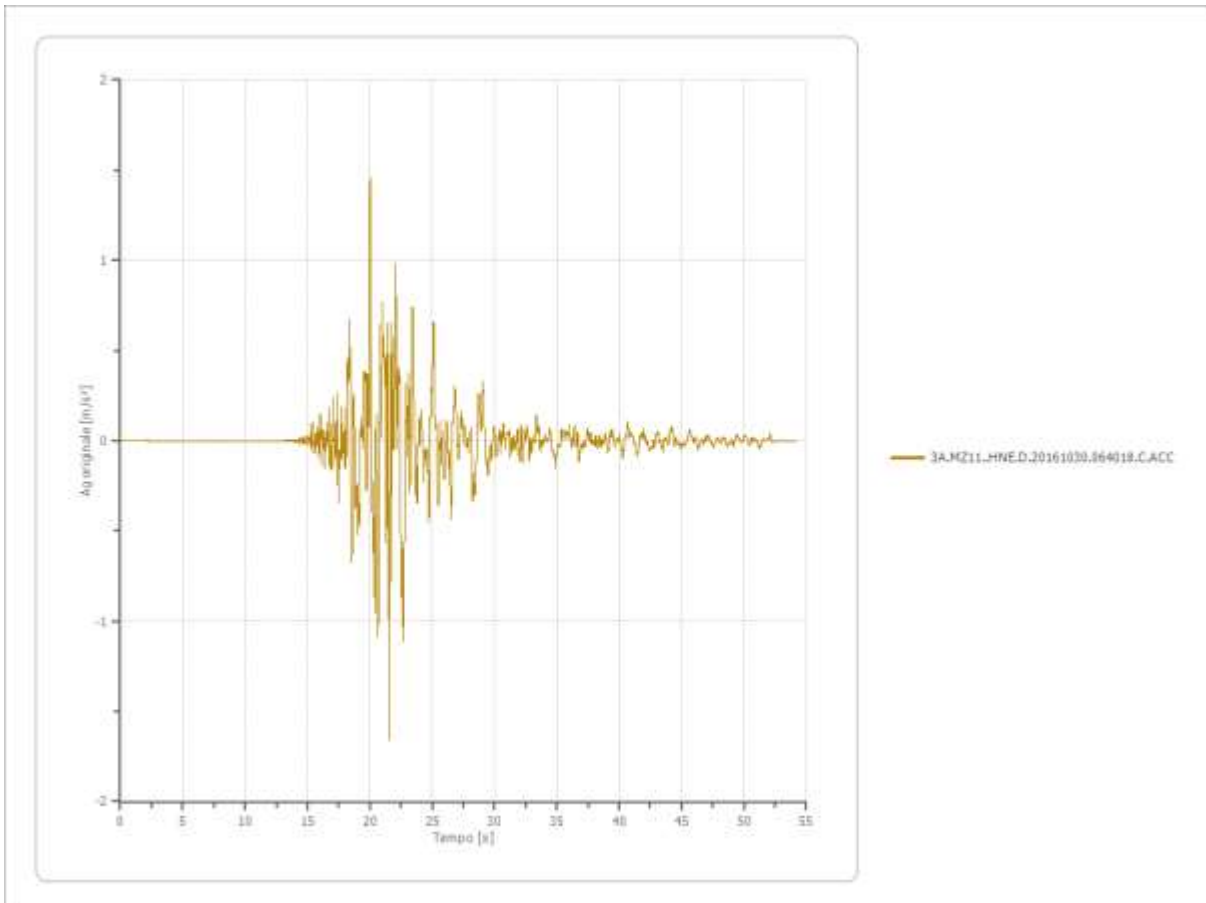
Profilo		Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
2.00 [m]	2.00 [m]	200.0 [m/s]		18.0 [kPa]	
5.00 [m]	5.00 [m]	300.0 [m/s]		82.3 [kPa]	
40.00 [m]		400.0 [m/s]		508.5 [kPa]	
	47.00 [m]				
70.00 [m]		600.0 [m/s]		1588.5 [kPa]	
	117.00 [m]				
	∞	1000.0 [m/s]		2288.5 [kPa]	

**File 3A.MZ11..HNE.D.20161030.064018.C.ACC:**

**Accelerogramma importato**

Nome del file 3A.MZ11..HNE.D.20161030.064018.C.ACC

Durata della traccia	54.165 [s]
Accelerazione massima	1.657 [m/s <sup>2</sup> ]
Periodo con accelerazione massima	21.575 [s]

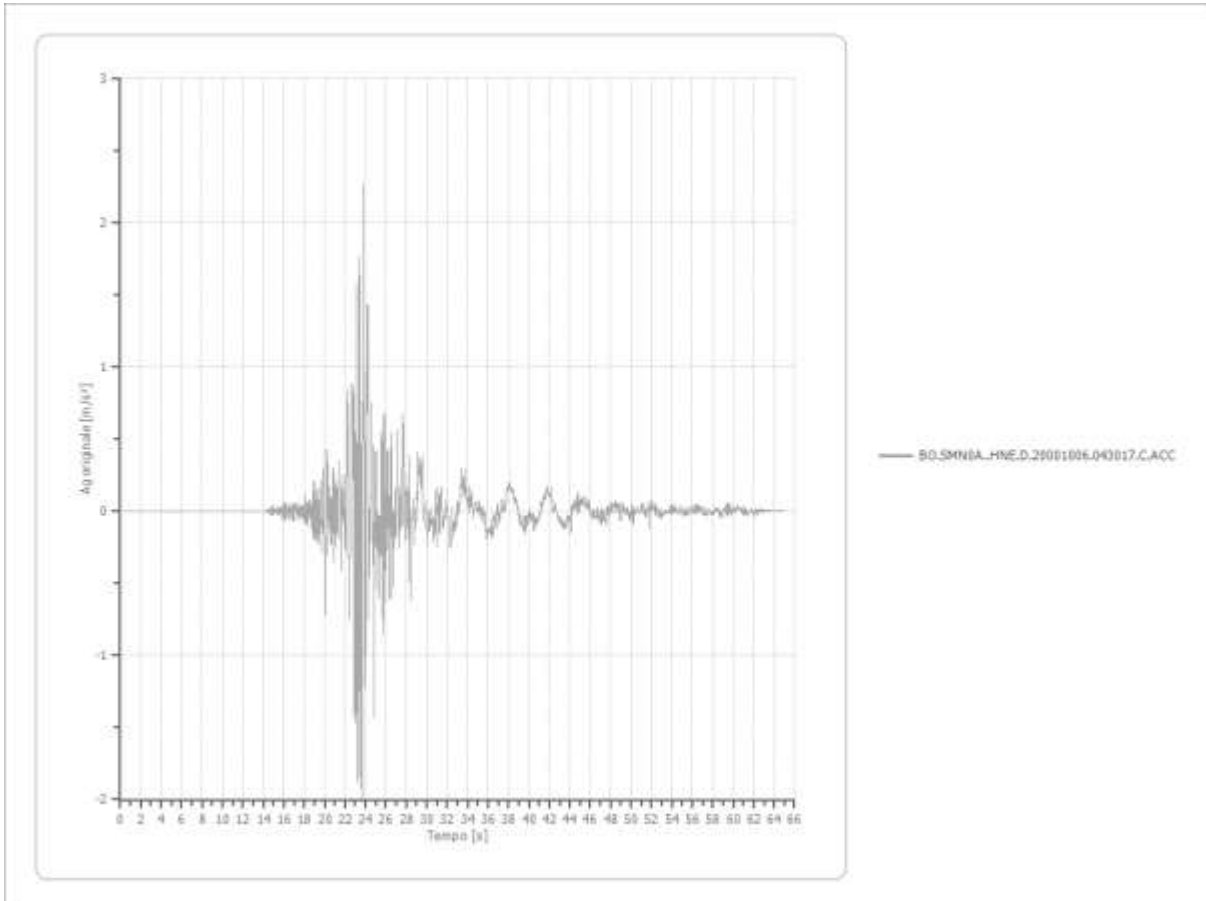


**File BO.SMN0A..HNE.D.20001006.043017.C.ACC:**

**Accelerogramma importato**

Nome del file BO.SMN0A..HNE.D.20001006.043017.C.ACC

Durata della traccia	64.995 [s]
Accelerazione massima	2.262 [m/s <sup>2</sup> ]
Periodo con accelerazione massima	23.810 [s]



## File EU.108..HN2.D.20000617.154041.C.ACC:

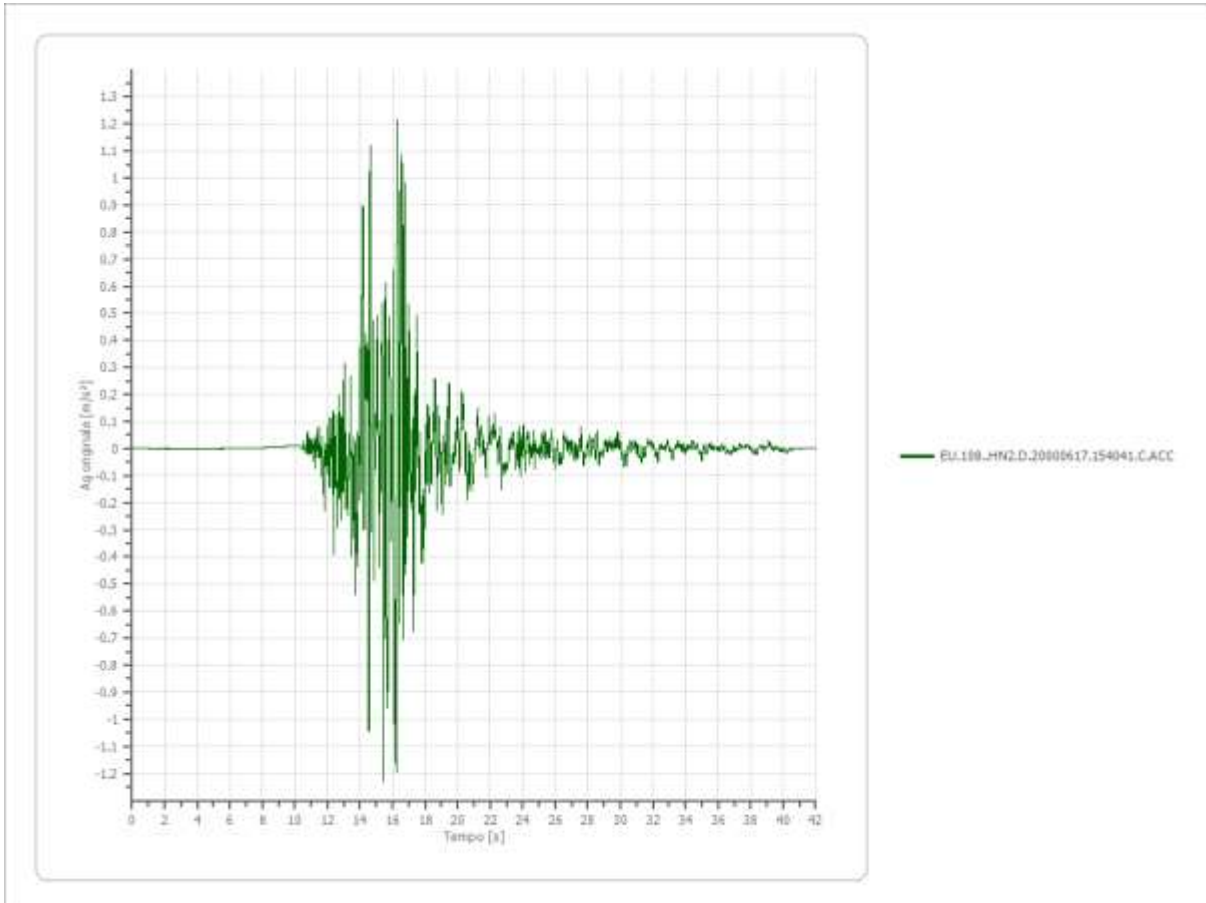
### Accelerogramma importato

Nome del file EU.108..HN2.D.20000617.154041.C.ACC

Durata della traccia 41.995 [s]

Accelerazione massima 1.232 [m/s<sup>2</sup>]

Periodo con accelerazione massima 15.460 [s]



**File I1.DBL..HN1.D.19990506.230051.C.ACC:**

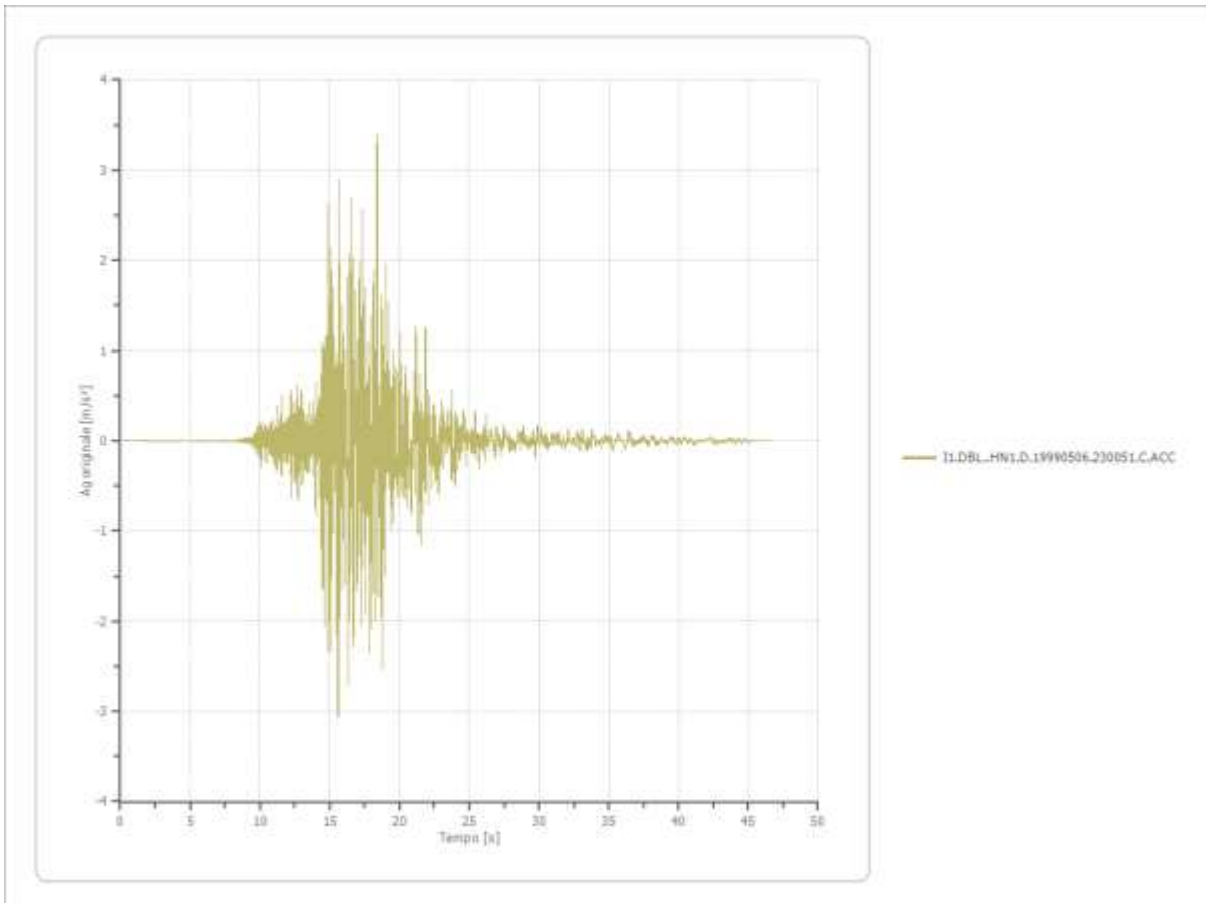
**Accelerogramma importato**

Nome del file I1.DBL..HN1.D.19990506.230051.C.ACC

Durata della traccia 46.605 [s]

Accelerazione massima 3.402 [m/s<sup>2</sup>]

Periodo con accelerazione massima 18.405 [s]



## File I1.SHS..HN1.D.20020622.025821.C.ACC:

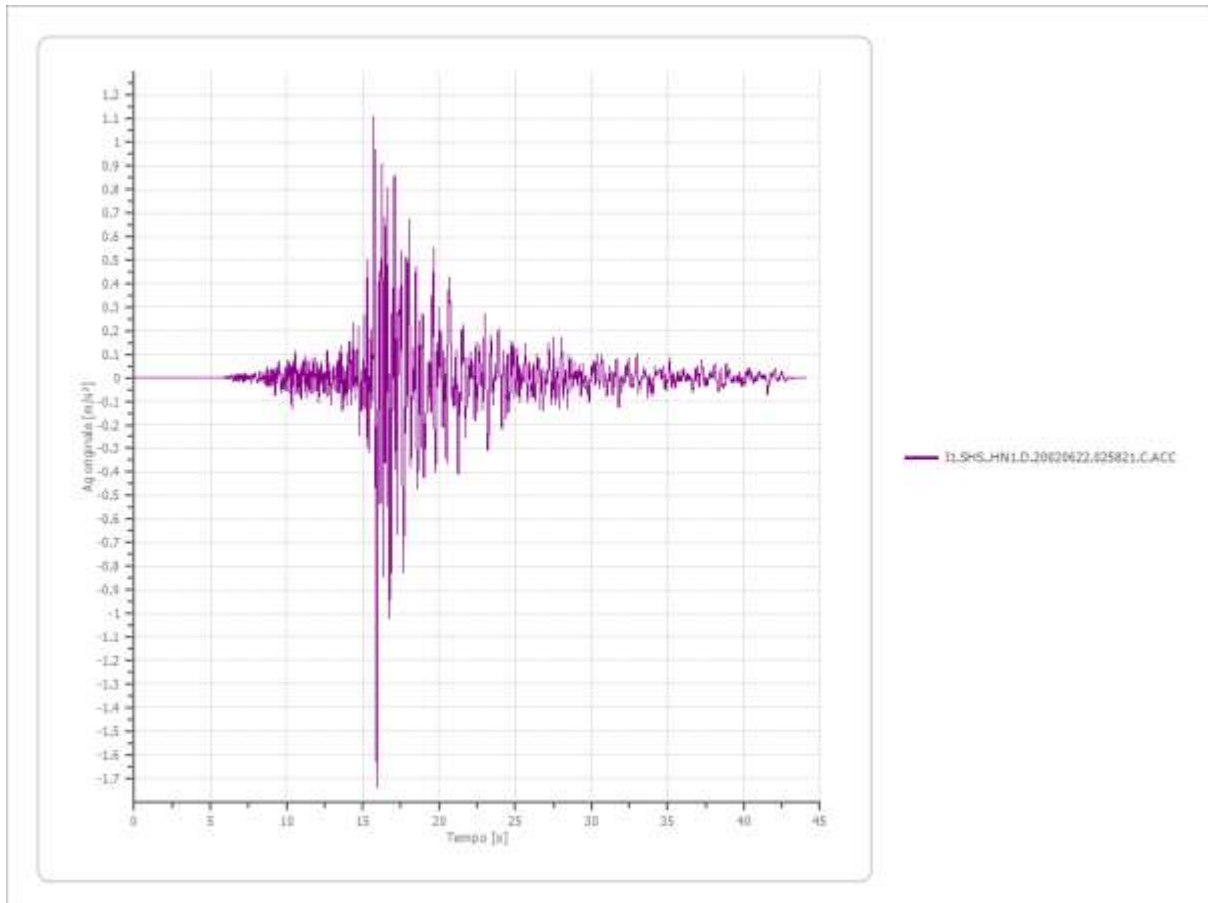
### Accelerogramma importato

Nome del file I1.SHS..HN1.D.20020622.025821.C.ACC

Durata della traccia 44.045 [s]

Accelerazione massima 1.742 [m/s<sup>2</sup>]

Periodo con accelerazione massima 15.925 [s]

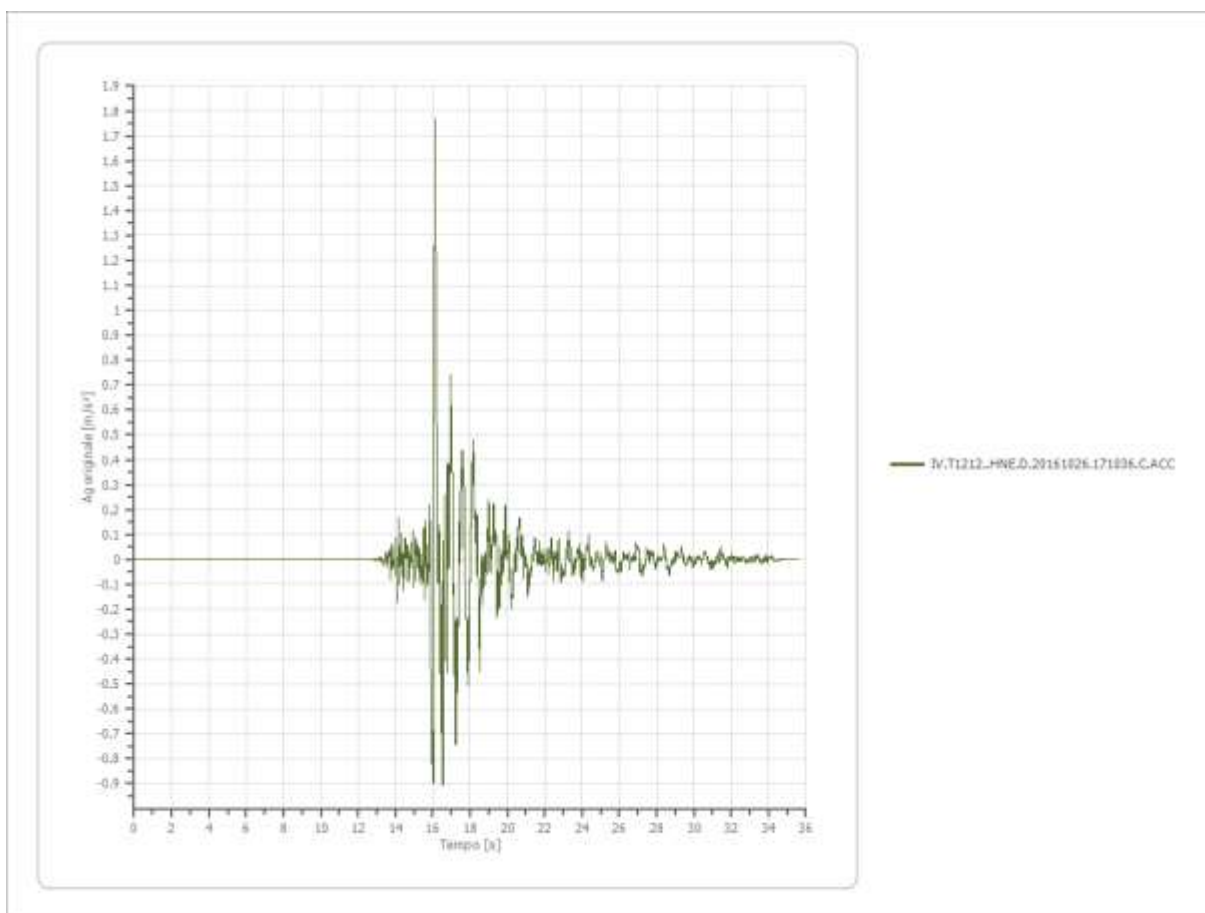


**File IV.T1212..HNE.D.20161026.171036.C.ACC:**

**Accelerogramma importato**

Nome del file IV.T1212..HNE.D.20161026.171036.C.ACC

Durata della traccia	35.550 [s]
Accelerazione massima	1.767 [m/s <sup>2</sup> ]
Periodo con accelerazione massima	16.135 [s]

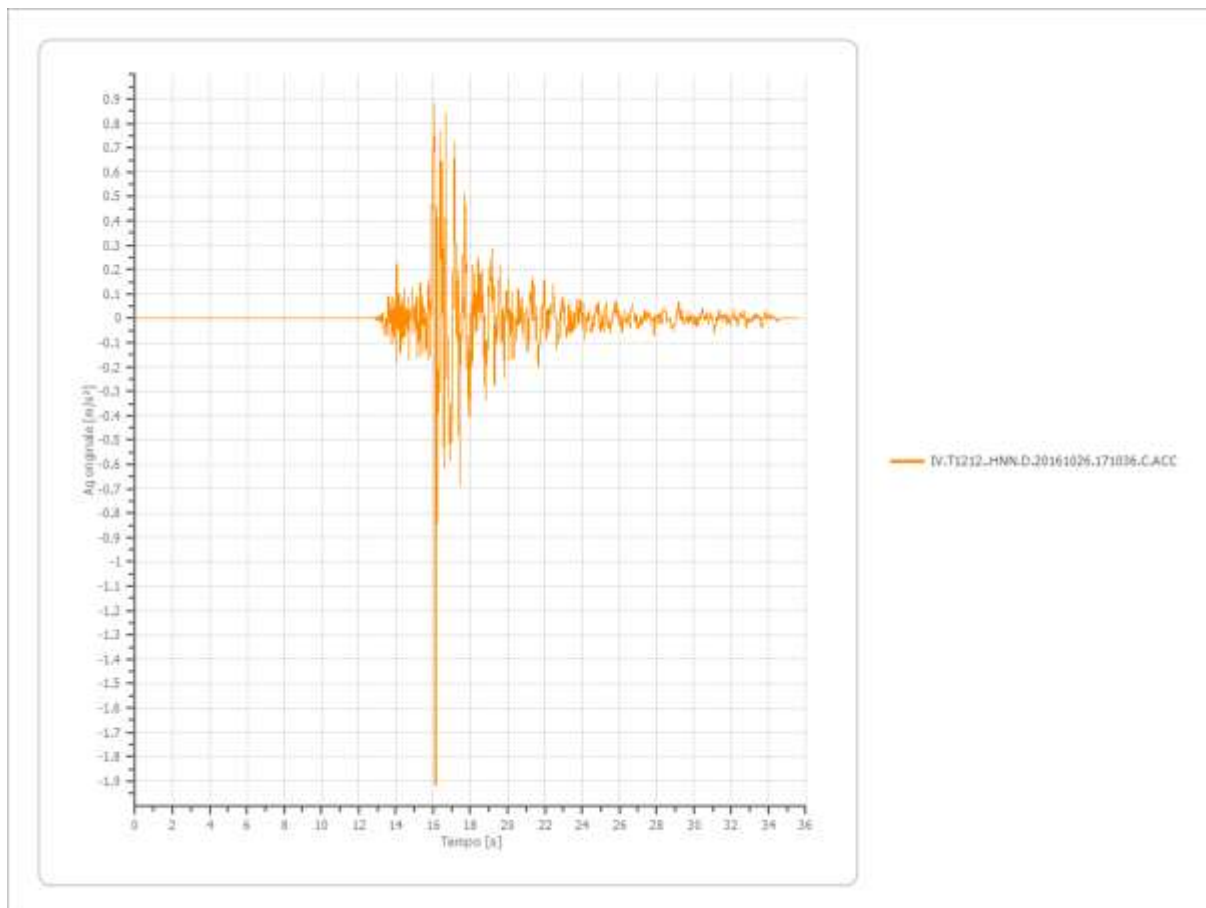


**File IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC:**

**Accelerogramma importato**

Nome del file IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC

Durata della traccia	35.550 [s]
Accelerazione massima	1.917 [m/s <sup>2</sup> ]
Periodo con accelerazione massima	16.130 [s]





### Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.210 [s]
Tvi	1.200 [s]
Tao	0.150 [s]
Tvo	1.000 [s]
Sami	3.520 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.203 [m/s]
Samo	5.724 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.424 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.626 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>2.083 [-]</b>
TB	0.155 [s]
TC	0.465 [s]
TD	2.545 [s]
SA(0)	2.317 [m/s <sup>2</sup> ]
SA(TB)	5.724 [m/s <sup>2</sup> ]

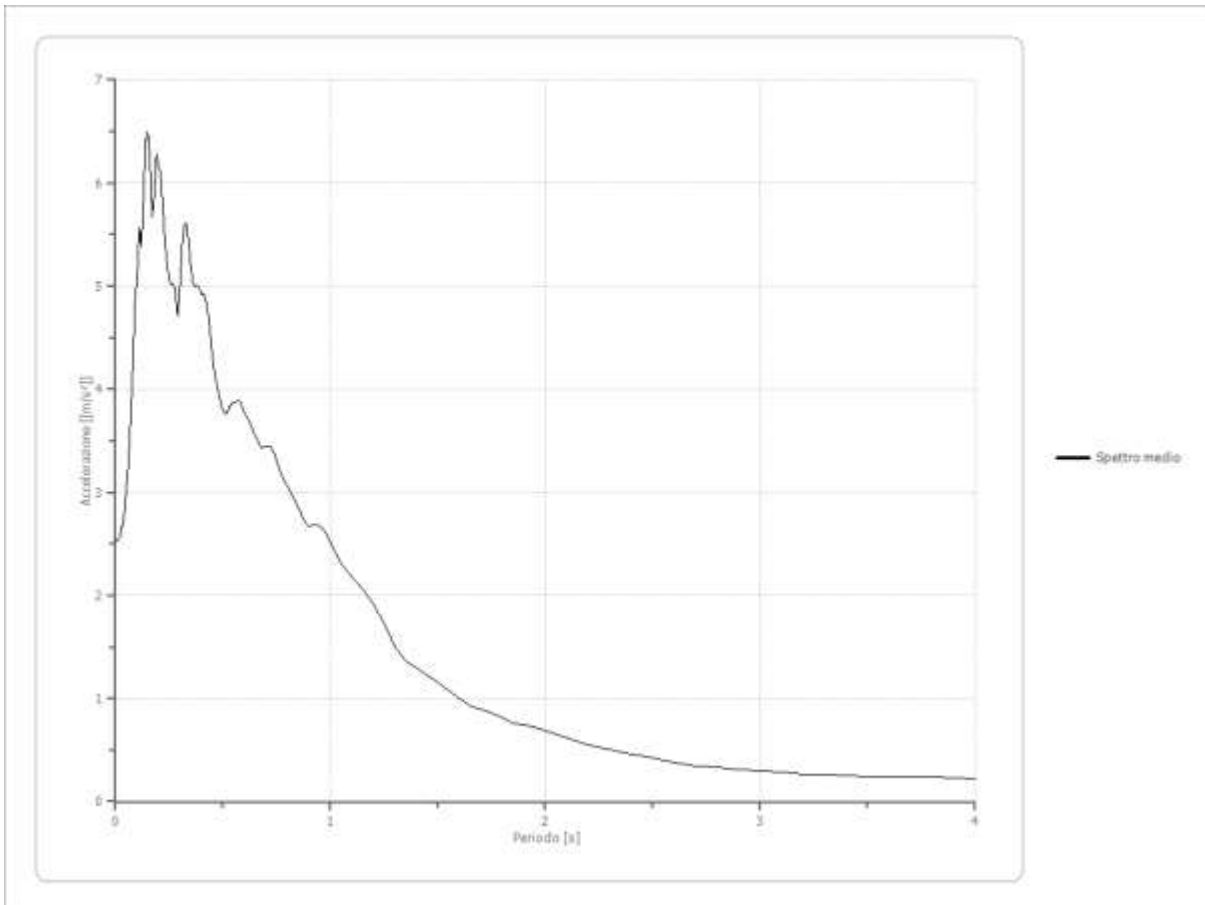
### Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.054	0.088	0.200	1.631
0.400	0.800	0.073	0.139	0.500	1.904
0.700	1.100	0.077	0.167	0.636	2.177

### Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]
0.00	2.5372	0.26	5.0168	0.52	3.7744	0.98	2.6021	2.25	0.5292
0.01	2.5372	0.27	5.0147	0.53	3.8243	1.00	2.5254	2.30	0.5072
0.02	2.5709	0.28	4.8901	0.54	3.8621	1.05	2.3074	2.35	0.4806
0.03	2.6748	0.29	4.7131	0.55	3.8747	1.10	2.1789	2.40	0.4597
0.04	2.7725	0.30	5.0199	0.56	3.8748	1.15	2.0661	2.50	0.4204
0.05	3.0400	0.31	5.4080	0.57	3.8988	1.20	1.9133	2.60	0.3762
0.06	3.2842	0.32	5.5881	0.58	3.8721	1.25	1.7265	2.70	0.3485
0.07	3.7072	0.33	5.6087	0.60	3.7642	1.30	1.4989	2.80	0.3271
0.08	4.1987	0.34	5.4334	0.62	3.7048	1.35	1.3683	2.90	0.3113
0.09	4.8460	0.35	5.1882	0.64	3.5919	1.40	1.2920	3.00	0.2992
0.10	5.0917	0.36	5.0285	0.66	3.5098	1.45	1.2234	3.10	0.2832
0.11	5.5705	0.37	4.9966	0.68	3.4242	1.50	1.1519	3.20	0.2681
0.12	5.3853	0.38	5.0064	0.70	3.4448	1.55	1.0780	3.30	0.2640
0.13	5.8767	0.39	4.9781	0.72	3.4468	1.60	0.9979	3.40	0.2575
0.14	6.4210	0.40	4.9112	0.74	3.3655	1.65	0.9270	3.50	0.2463
0.15	6.4905	0.41	4.9233	0.76	3.2447	1.70	0.8891	3.60	0.2430
0.16	6.2210	0.42	4.8541	0.78	3.1312	1.75	0.8549	3.70	0.2398
0.17	5.6660	0.43	4.7451	0.80	3.0609	1.80	0.8124	3.80	0.2359

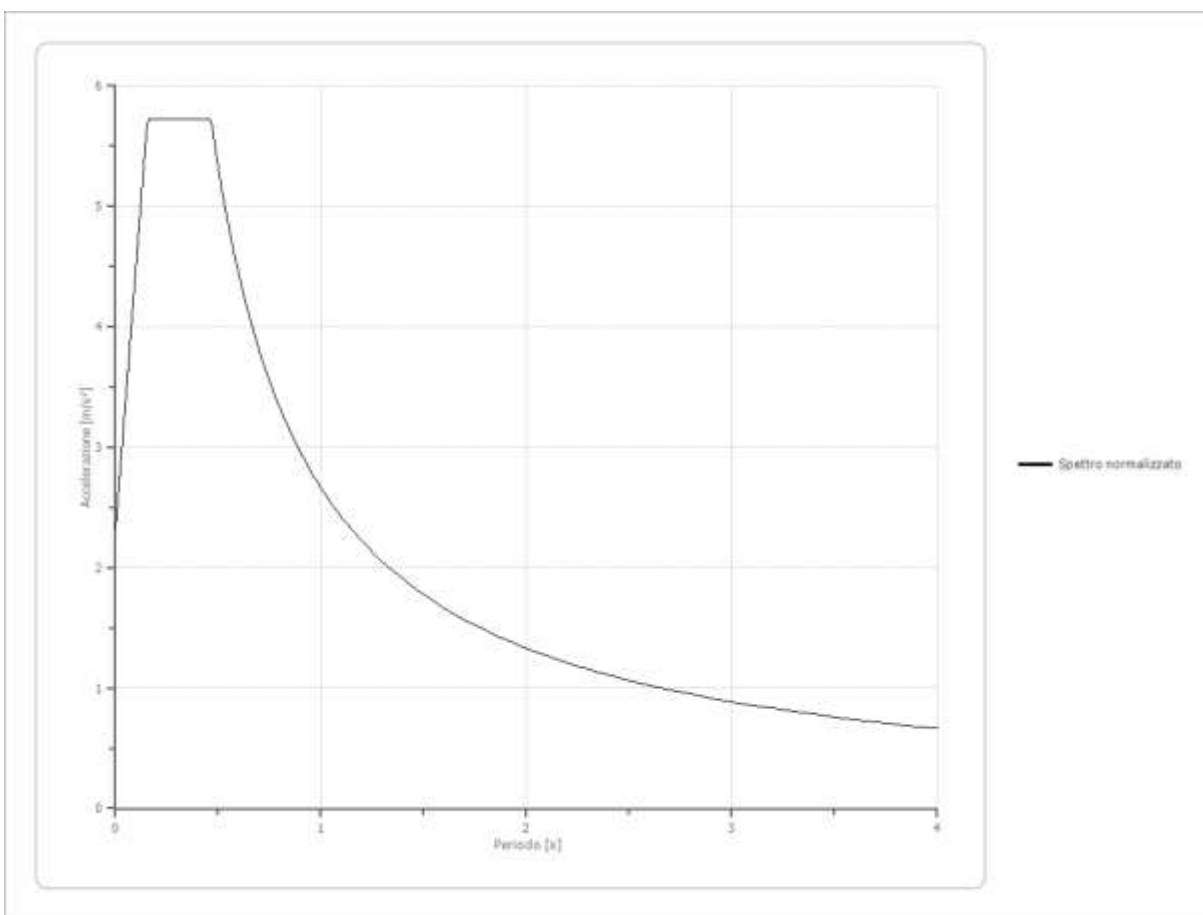
0.18	5.8943	0.44	4.5650	0.82	2.9758	1.85	0.7597	3.90	0.2291
0.19	6.2837	0.45	4.3297	0.84	2.8942	1.90	0.7417	4.00	0.2205
0.20	6.1589	0.46	4.1758	0.86	2.8077	1.95	0.7161		
0.21	6.0946	0.47	4.0507	0.88	2.7170	2.00	0.6837		
0.22	5.7707	0.48	3.9696	0.90	2.6664	2.05	0.6526		
0.23	5.4393	0.49	3.8602	0.92	2.6801	2.10	0.6163		
0.24	5.1965	0.50	3.7971	0.94	2.6807	2.15	0.5807		
0.25	5.0599	0.51	3.7548	0.96	2.6526	2.20	0.5535		



**Spettro normalizzato di risposta elastico**

Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]
0.00	2.3173	0.26	5.7244	0.52	5.1174	0.98	2.7153	2.25	1.1827
0.01	2.5372	0.27	5.7244	0.53	5.0208	1.00	2.6610	2.30	1.1570
0.02	2.7571	0.28	5.7244	0.54	4.9278	1.05	2.5343	2.35	1.1324
0.03	2.9770	0.29	5.7244	0.55	4.8382	1.10	2.4191	2.40	1.1088
0.04	3.1969	0.30	5.7244	0.56	4.7518	1.15	2.3139	2.50	1.0644
0.05	3.4167	0.31	5.7244	0.57	4.6685	1.20	2.2175	2.60	1.0235
0.06	3.6366	0.32	5.7244	0.58	4.5880	1.25	2.1288	2.70	0.9856
0.07	3.8565	0.33	5.7244	0.60	4.4351	1.30	2.0469	2.80	0.9504
0.08	4.0764	0.34	5.7244	0.62	4.2920	1.35	1.9711	2.90	0.9176
0.09	4.2963	0.35	5.7244	0.64	4.1579	1.40	1.9007	3.00	0.8870
0.10	4.5162	0.36	5.7244	0.66	4.0319	1.45	1.8352	3.10	0.8584

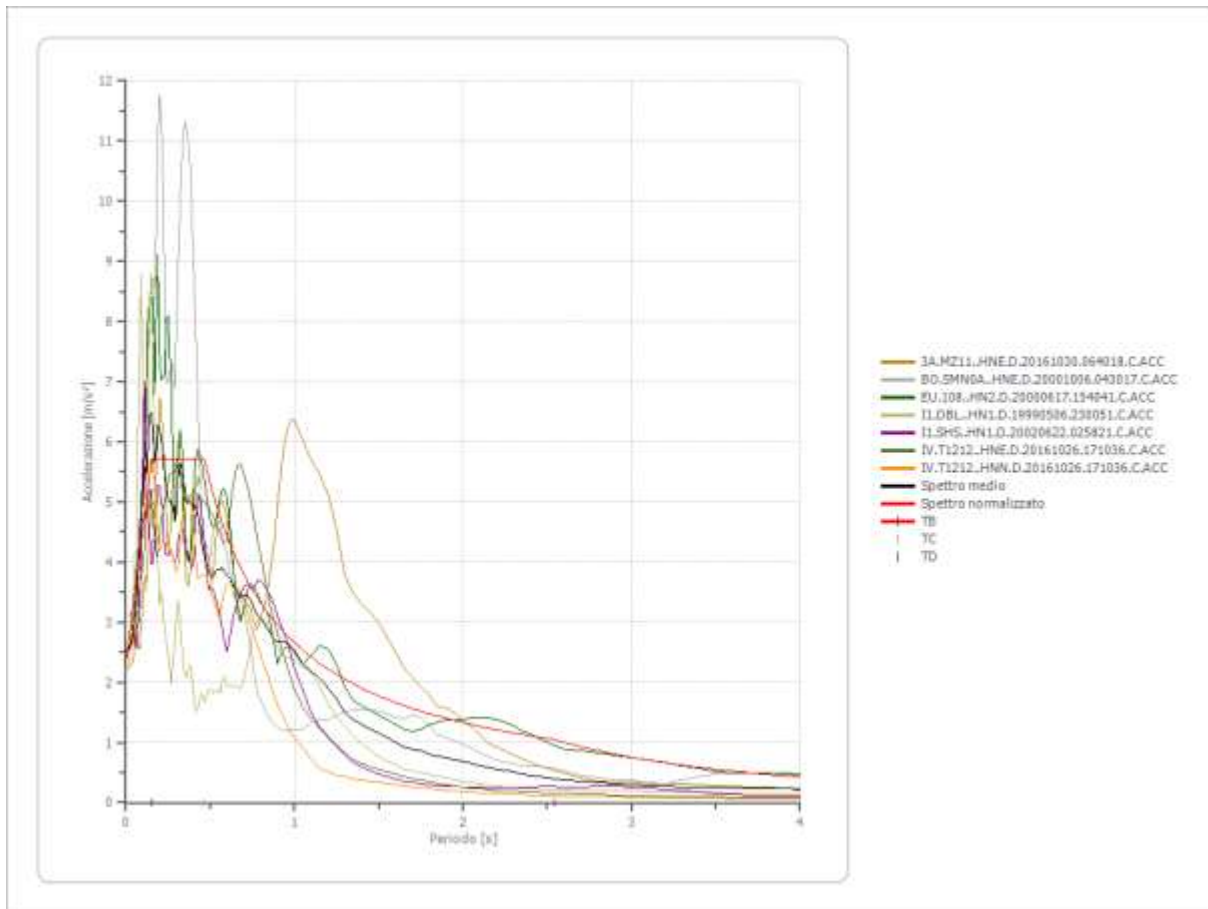
0.11	4.7360	0.37	5.7244	0.68	3.9133	1.50	1.7740	3.20	0.8316
0.12	4.9559	0.38	5.7244	0.70	3.8015	1.55	1.7168	3.30	0.8064
0.13	5.1758	0.39	5.7244	0.72	3.6959	1.60	1.6631	3.40	0.7827
0.14	5.3957	0.40	5.7244	0.74	3.5960	1.65	1.6127	3.50	0.7603
0.15	5.6156	0.41	5.7244	0.76	3.5014	1.70	1.5653	3.60	0.7392
0.16	5.7244	0.42	5.7244	0.78	3.4116	1.75	1.5206	3.70	0.7192
0.17	5.7244	0.43	5.7244	0.80	3.3263	1.80	1.4784	3.80	0.7003
0.18	5.7244	0.44	5.7244	0.82	3.2452	1.85	1.4384	3.90	0.6823
0.19	5.7244	0.45	5.7244	0.84	3.1679	1.90	1.4005	4.00	0.6653
0.20	5.7244	0.46	5.7244	0.86	3.0942	1.95	1.3646		
0.21	5.7244	0.47	5.6618	0.88	3.0239	2.00	1.3305		
0.22	5.7244	0.48	5.5438	0.90	2.9567	2.05	1.2981		
0.23	5.7244	0.49	5.4307	0.92	2.8924	2.10	1.2672		
0.24	5.7244	0.50	5.3221	0.94	2.8309	2.15	1.2377		
0.25	5.7244	0.51	5.2177	0.96	2.7719	2.20	1.2096		



**Parametri spettro normalizzato**

Ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s <sup>2</sup> ]	Se(TB) [m/s <sup>2</sup> ]	S
2.317	2.470277	--	0.155	0.465	2.545	2.317	5.724	1.458

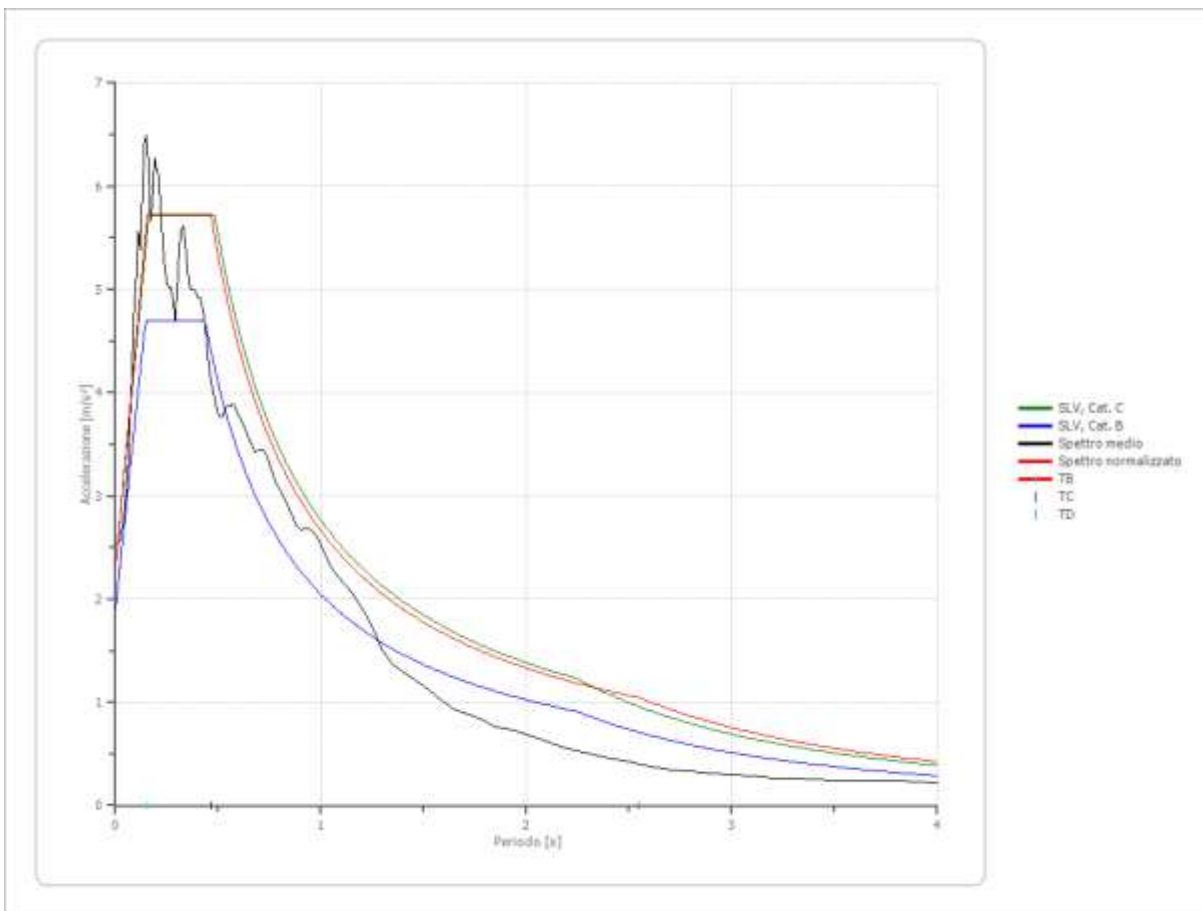
## Confronto tra gli spettri



## Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

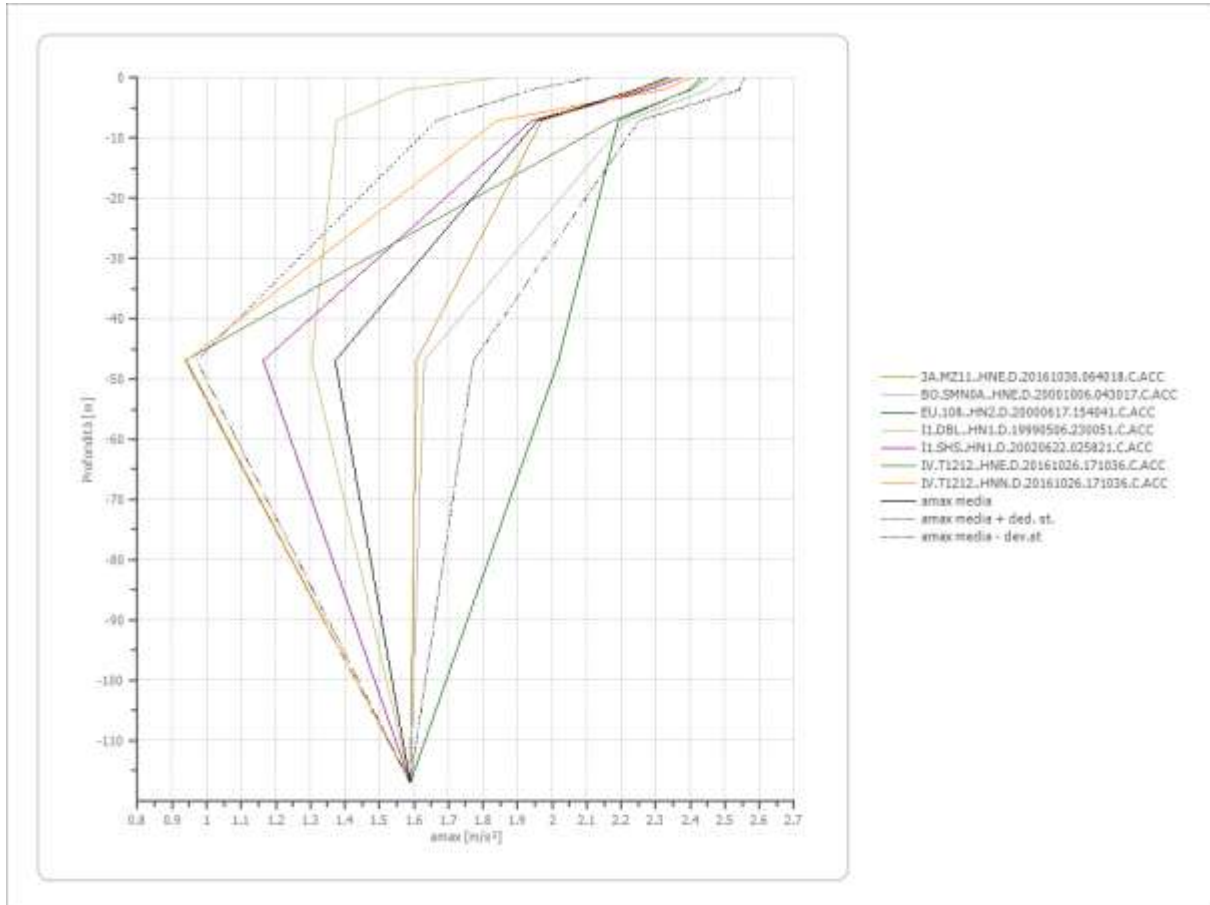
	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [m/s²]	0.549	0.677	1.589	1.982	0.549	0.677	1.589	1.982
Fo	2.517	2.512	2.462	2.478	2.517	2.512	2.462	2.478
Tc* [s]	0.269	0.28	0.314	0.324	0.269	0.28	0.314	0.324
Ss	1.50	1.50	1.46	1.40	1.20	1.20	1.20	1.20
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.62	1.60	1.54	1.52	1.43	1.42	1.39	1.38
TB [s]	0.145	0.149	0.161	0.164	0.128	0.132	0.145	0.149
TC [s]	0.436	0.447	0.483	0.493	0.385	0.397	0.435	0.447
TD [s]	1.824	1.876	2.248	2.408	1.824	1.876	2.248	2.408
Se(0) [m/s²]	0.824	1.016	2.321	2.774	0.659	0.812	1.907	2.378
Se(TB) [m/s²]	2.073	2.551	5.715	6.874	1.658	2.041	4.695	5.892



### Profilo a max

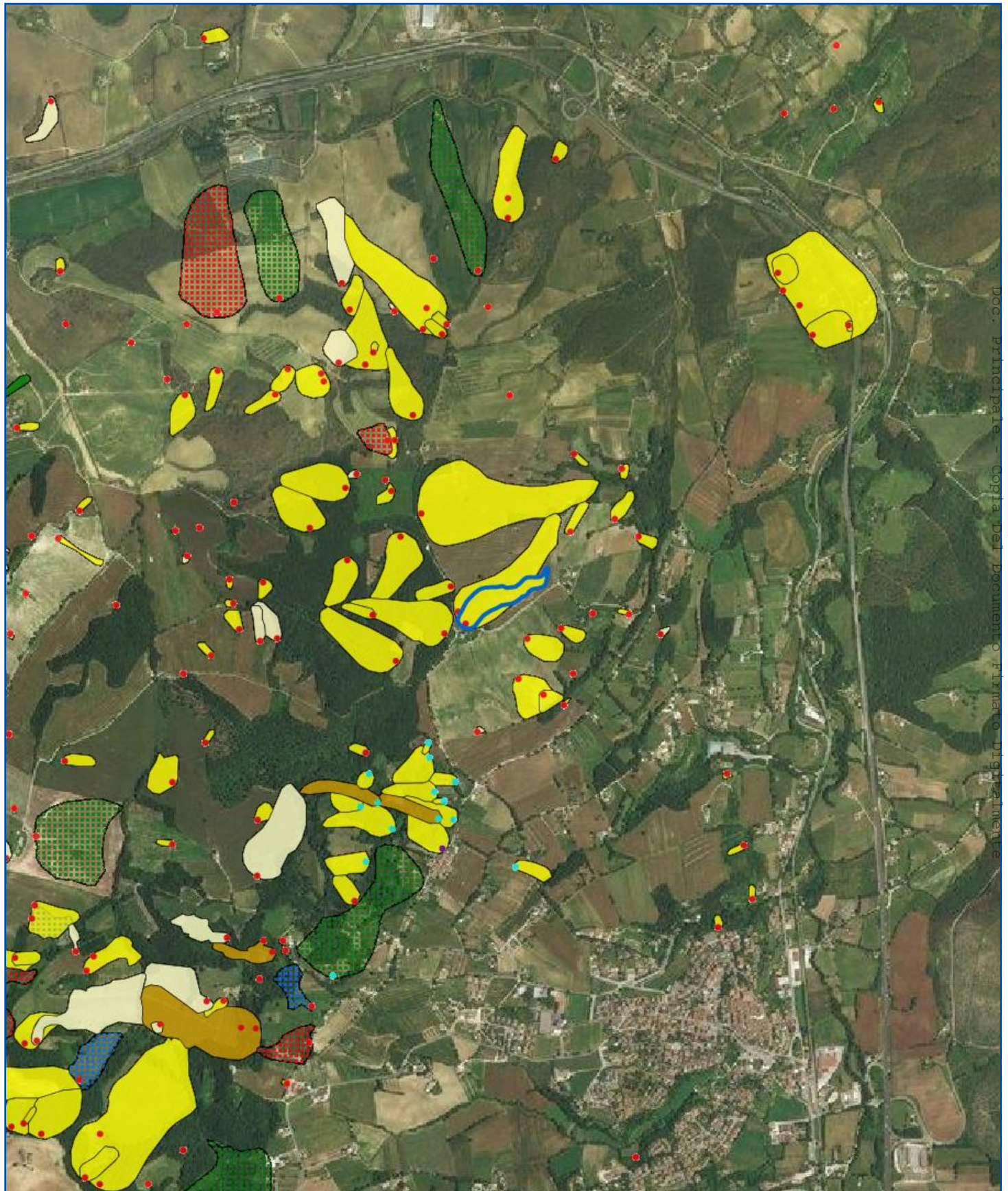
	0.0 [m]	2.0 [m]	7.0 [m]	47.0 [m]	117.0 [m]
3A.MZ11..HN E.D.20161030. 064018.C.ACC [m/s <sup>2</sup> ]	2.347	2.260	1.970	1.607	1.589
BO.SMN0A..H NE.D.2000100 6.043017.C.AC C [m/s <sup>2</sup> ]	2.495	2.450	2.213	1.629	1.589
EU.108..HN2. D.20000617.15 4041.C.ACC [m/s <sup>2</sup> ]	2.428	2.396	2.191	2.018	1.589
I1.DBL..HN1. D.19990506.23 0051.C.ACC [m/s <sup>2</sup> ]	1.834	1.577	1.376	1.304	1.589
I1.SHS..HN1.D .20020622.025 821.C.ACC [m/s <sup>2</sup> ]	2.370	2.277	1.941	1.163	1.589
IV.T1212..HN	2.447	2.401	2.175	0.938	1.589

E.D.20161026. 171036.C.ACC [m/s <sup>2</sup> ]					
IV.T1212..HN N.D.20161026. 171036.C.ACC [m/s <sup>2</sup> ]	2.399	2.322	1.840	0.941	1.589
media [m/s <sup>2</sup> ]	2.331	2.241	1.958	1.372	1.589
Dev. St. [m/s <sup>2</sup> ]	0.225	0.301	0.294	0.400	0.000



## Indice

Terreni	.7
Lombardia - Limi argillosi	.7
Lombardia - Argille limose	.8
Lombardia - Limi sabbiosi	.9
Stratigrafia	.10
File 3A.MZ11..HNE.D.20161030.064018.C.ACC	.11
Accelerogramma importato	.11
File BO.SMN0A..HNE.D.20001006.043017.C.ACC	.13
Accelerogramma importato	.13
File EU.108..HN2.D.20000617.154041.C.ACC	.14
Accelerogramma importato	.14
File II.DBL..HN1.D.19990506.230051.C.ACC	.16
Accelerogramma importato	.16
File II.SHS..HN1.D.20020622.025821.C.ACC	.17
Accelerogramma importato	.17
File IV.T1212..HNE.D.20161026.171036.C.ACC	.19
Accelerogramma importato	.19
File IV.T1212..HNN.D.20161026.171036.C.ACC	.20
Accelerogramma importato	.20
Fattori di amplificazione ICMS 2018	.22
Fattori di amplificazione su intensità spettrale	.22
Spettro medio di risposta elastico	.22
Spettro normalizzato di risposta elastico	.23
Confronto tra gli spettri	.25
Confronto spettro normativa	.25
Profilo a max	.26
Indice	.28



COMUNE DI ACQUASPARTA  
Protocollo Attivo N. 5930/2021 del 03-06-2021  
Doc. Principale - Copia Del Documento Firmato digitalmente



## Generale

ID Frana: 0550632802

Sigla: TAC 5451/02

Data: Sopralluogo:

Compilazione:  
26/06/2002 02:00

Ente / Istituzione: R.Umbria

CF. Ente:

Regione: Umbria

Provincia: Provincia di Terni

Comune: Acquasparta

Toponimo:

Autorità di Distretto: Appennino Centrale

Rif. CTR: Toponimo CTR:

Scala CTR:  
10000

Nr. CTR:  
335070

Posizione PIFF: Corona

Accuratezza: Esatta

Descrizione:

## Classificazione

### PRIMO LIVELLO

Tipo Movimento: Scivolamento rotazionale/traslativo

### SECONDO LIVELLO

Tipo Movimento: 1° ordine:

2° ordine:

Velocità: 1° ordine:

2° ordine:

Materiale: 1° ordine:

2° ordine:

Acqua: 1° ordine:

2° ordine:

Altri fenomeni associati:

## Attività

Stato Attività: PRIMO LIVELLO  
Quiescente

### SECONDO LIVELLO

Data osservazione: Certa:  
1997

Incerta:

Distribuzione:

Stile:

## Metodo

Metodo: Dato storico/archivio

## Datazione

Data attivazione: **Certa:** \_\_\_\_\_ **Incerta:** \_\_\_\_\_  
Fonte datazione: \_\_\_\_\_ **Età** \_\_\_\_\_ **Anni:** \_\_\_\_\_ **Precisione:** \_\_\_\_\_

## Attivazioni/Eventi

Attivazioni: **Data** \_\_\_\_\_ **Accuratezza** \_\_\_\_\_  
1997 true

Eventi: \_\_\_\_\_

## Danni

Tipo Danno: \_\_\_\_\_

**Persone:**

**Nr. MORTI:** \_\_\_\_\_ **Nr. FERITI:** \_\_\_\_\_ **Edifici:** **PRIVATI:** \_\_\_\_\_ **Costo Danni (€):** **BENI:** \_\_\_\_\_ **ATTIVITA':** \_\_\_\_\_  
**Nr. DISPERSI:** \_\_\_\_\_ **Nr. EVACUATI:** \_\_\_\_\_ **PUBBLICI:** \_\_\_\_\_ **TOTALE:** \_\_\_\_\_

Danni a corso

**TIPO DI DANNO:** \_\_\_\_\_ **CORSO D'ACQUA:** \_\_\_\_\_

Note Danni: \_\_\_\_\_

Elementi Danni: **Gruppi elementi danno** \_\_\_\_\_ **Elementi danno** \_\_\_\_\_ **Grado** \_\_\_\_\_  
n.d.

## Rischio

**Persone a rischio:**

**Nr.** \_\_\_\_\_

**Edifici a rischio:**

**Nr. EDIFICI PRIVATI:** \_\_\_\_\_

**Nr. EDIFICI PUBBLICI:** \_\_\_\_\_

Note rischio: \_\_\_\_\_

## Morfometria

Quota corona: m Slm	Larghezza: m	Pendenza: °
Quota unghia: m Slm	Lunghezza: m	Azimut Movimento: °
Volume: m <sup>3</sup>	Dislivello: m	Profondità Superficie di Scivolamento Dr. m
Area stimata: m <sup>2</sup>	Area Calcolata: 31582 m <sup>2</sup>	

## Posizione Frana, Esposizione Versante e Uso Suolo

Posizione testata: \_\_\_\_\_

Posizione unghia: \_\_\_\_\_

Esposizione versante: \_\_\_\_\_

Uso suolo: \_\_\_\_\_

## Geologia

## Idrogeologia

Acque superficiali: \_\_\_\_\_

Sorgente: \_\_\_\_\_

Nr. Sorgente: \_\_\_\_\_

Falda: \_\_\_\_\_

Profondità Falda: \_\_\_\_\_

## Cause

Cause: \_\_\_\_\_

## Segni precursori

Segni precursori: \_\_\_\_\_

## Relazioni, Indagini e Monitoraggio

Relazioni,  
Indagini e  
Monitoraggio: \_\_\_\_\_

Costo indagini eseguite: \_\_\_\_\_

COMUNE DI ACQUASPARTA  
Protocollo Archivio N. 5930/2021 del 03-06-2021  
Doc. Principale - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

## Interventi

Opere:

Note interventi:

Costo effettivo interventi:

Interventi

## Documentazione

Archivio:

Altro

Adempimenti  
Legislativi

Ordinanza  
Protezione Civile

NR ORDINANZA:

DESCRIZIONE ORDINANZA:

Frana CARG: Non

Bibliografia

DOI:

Titolo: Nuova Carta Inventario dei Fenomeni Franosi

Autore/i: CNR-IRPI PERUGIA

Rivista/Libro/R

Editore/Ente:

Volume:

Pagine:

Anno 2001

COMUNE DI ACQUASPARTA  
Protocollo Arrivo N. 5930/2021 del 03-06-2021  
Doc. Principale - Copia Del Documento Firmato Digitalmente