COMUNE DI RONCOFREDDO
(PROVINCIA DI FORLI'-CESENA)

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE TECNICA

Progettista responsabile
Antonio Maria Baldi (S.G.G. srl)

Gruppo di lavoro S.G.G. srl
Filippo Ricci (coordinatore e interpretazione) Duccio Notari (G.I.S. ed elaborazioni cartografiche)

INDICE

1	INTRODUZIONE	Pag. 4
2	SISMICITA' DEL COMUNE DI RONCOFREDDO	Pag. 7
3	INQUADRAMENTO STRUTTURALE	Pag. 11
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	Pag. 14
5	INDAGINI SVOLTE	
5.1	Indagini pregresse	Pag. 17
5.2	Indagini attuali	Pag. 18
6	ESECUZIONE DEI RILIEVI	Pag. 22
7	ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI	Pag. 26
8	ANALISI ED UTILIZZO DEI RAPPORTI SPETTRALI	Pag. 29
9	ANALISI DEI RISULTATI E RELATIVA CARTOGRAFIA	
9.1	Introduzione	Pag. 34
9.2	Carta Geologico-tecnica	Pag. 34
9.3	Carta delle frequenze	Pag. 38
9.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	Pag. 41
9.5	Carta della velocità delle onde di taglio S (Vs)	Pag. 43
10	DETERMINAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA	Pag. 46
11	CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO	Pag. 48
12	TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	
12.1	Introduzione ed inquadramento area	Pag. 51
12.2	Indagini integrative per il III° livello	Pag. 52
12.3	Dati di base	Pag. 53
12.4	Analisi di risposta sismica locale	Pag. 59
12.5	Verifiche di stabilità e determinazione degli spostamenti	Pag. 68

APPENDICE

Indagini I° e II° livello

- Prove Masw Pag. 74
- Misure HVSR Pag. 81
- Prove penetro metriche Pag. 87
-

Indagini III° livello Pag. 92

ELENCO ELABORATI

- Carta geologico-tecnica
- Carta delle indagini
- Carta delle frequenze
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)
- Carta della velocità delle onde di taglio s (Vs)
- Carta del fattore di amplificazione PGA
- Carta del fattore di amplificazione intensità spettrale 0,1s < To < 0,5s
- Carta del fattore di amplificazione intensità spettrale 0,5s < To < 1,0s

1 - INTRODUZIONE

Nel presente rapporto sono illustrati i risultati dell'indagine di microzonazione sismica eseguita per conto del Comune di Roncofreddo (FC).

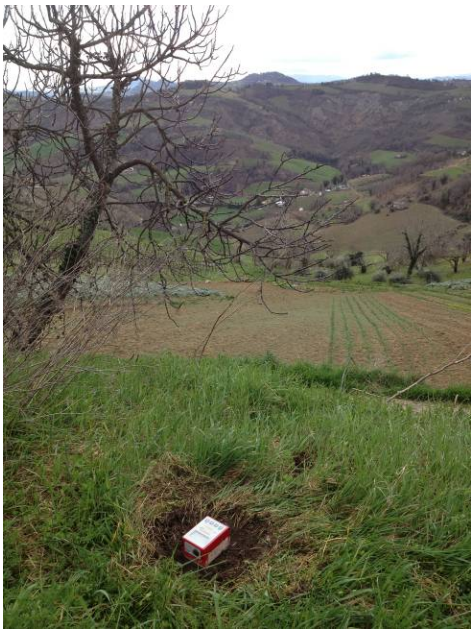


Figura 1 – Indagine effettuata nel territorio di Roncofreddo

In accordo con l'Amministrazione Comunale lo studio di microzonazione sismica riguarda essenzialmente le zone urbanizzate e quelle limitrofe, tralasciando le parti prive di urbanizzazioni significative. La cartografia prodotta è in scala 1:5.000 e 1:10.000.

Lo scopo dello studio è quello di individuare le varie zone omogenee dal punto di vista sismico e di determinare l'amplificazione locale in ognuno di questi settori. Nello specifico le varie indagini e prospezioni hanno permesso di ricostruire, sulla base delle loro caratteristiche fisiche e meccaniche, i rapporti geometrici degli strati di terreno (definizione della profondità del bedrock sismico e dello spessore del deposito di copertura), i profili di velocità delle onde superficiali ed il computo del valore di Vs_{30} e di Vs_H . A tal scopo sono state realizzate su tutto il territorio comunale delle

misure tromografiche HVSR, delle prove sismiche MASW e delle prove penetrometriche.

Ad integrazione e completamento di tali prove sono state riprese ed elaborate delle indagini in sito fornite dall'amministrazione comunale e costituite da sondaggi geognostici, prove penetrometriche, profili sismici, prove MASW.

Nella presente relazione sono illustrate le metodologie esecutive ed interpretative delle misure geofisiche, i risultati di tutte le indagini ed in particolar modo le elaborazioni e la cartografia finale relativamente alla microzonazione sismica del territorio comunale di Roncofreddo.

Gli elaborati grafici sono forniti in formato shapefile georeferenziato nel sistema WGS84UTM33N, mentre i dati tabellari sono riportati in formato *mdb* seguendo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" di Microzonazione sismica - Versione2.0 (Giugno 2012).

Il presente studio è redatto in conformità alle seguente normative ed indirizzi:

- Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Gruppo di lavoro MS, 2008. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom.
- OPCM 3907 del 13 novembre 2010 - Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica. Allegati: "Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della microzonazione sismica" e "Simbologia per la stesura della carta delle indagini secondo quanto previsti dagli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica".
- Decreto ministeriale 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni.
- Deliberazione dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2 maggio 2007 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e

urbanistica".

- Delibera Giunta Regionale Emilia Romagna n° 1051 del 18/07/2011 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm.”
- Delibera Giunta Regionale Emilia Romagna n° 1302 del 10/09/2012 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2012 a favore degli enti locali”

2 - SISMICITA' DEL COMUNE DI RONCOFREDDO

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003, il Comune di Roncofreddo fa parte dei comuni sismici classificati in zona 2 (sismicità media).

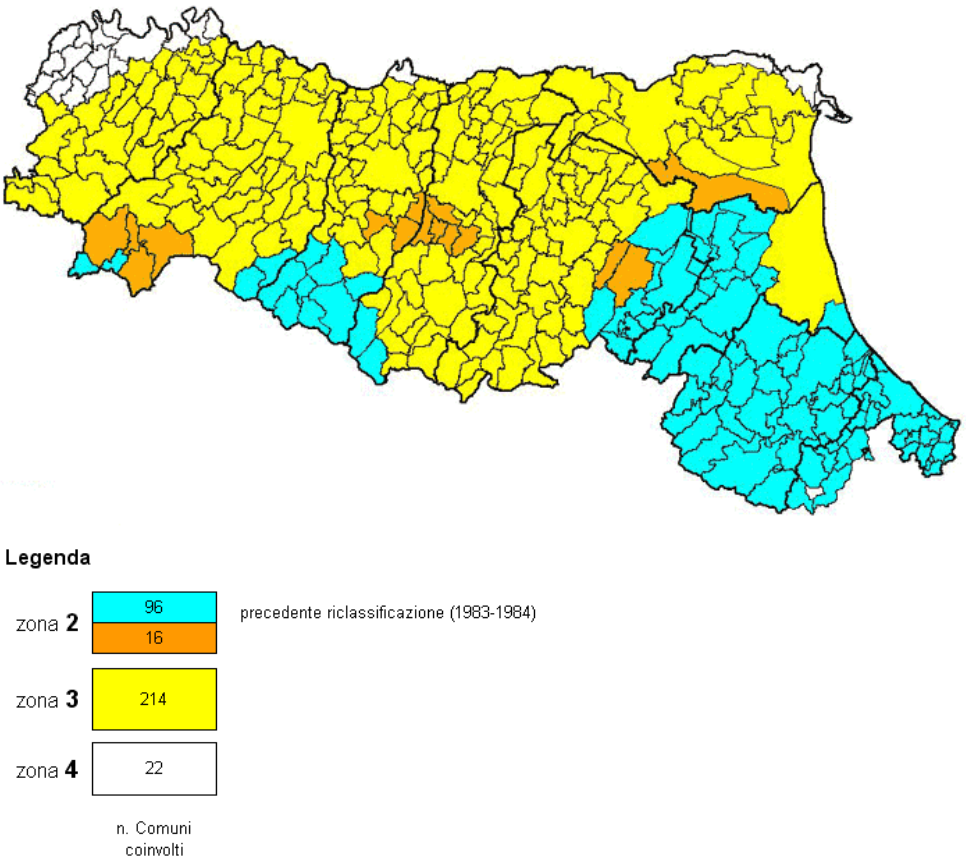


Figura 2 - Riclassificazione sismica dell´Emilia-Romagna, Ordinanza del PCM n. 3274 / 2003 (Allegato 1, punto 3 "prima applicazione")

Attualmente la pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale è stata definita con l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006 attraverso la mappa di pericolosità sismica per il territorio nazionale (fig. 3). I valori di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni sono

riferiti a suoli rigidi di categoria A (Vs30>800 m/s) e rappresentano la pericolosità sismica di base del territorio.

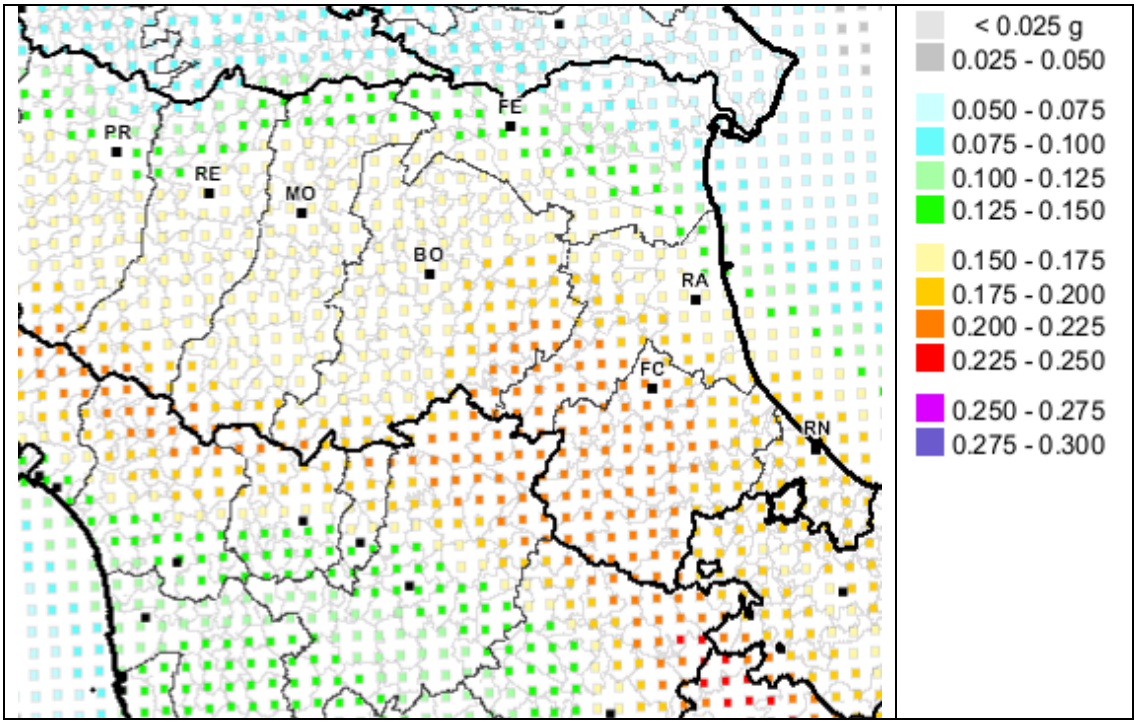


Figura 3 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005.)

Dalla carta sopra riportata è possibile dedurre che il territorio del Comune di Roncofreddo fa parte di un'area caratterizzata dai valori dell'accelerazione massima compresi nell'intervallo tra 0,175 e 0,200 g, con il valore di 0,189 g riscontrato come PGA per il capoluogo comunale.

Di seguito (fig. 4) viene riportato l'elenco dei terremoti che hanno interessato il territorio comunale di Roncofreddo, con evidenziato data, ora, epicentro e magnitudo.

Numero di eventi: 6

Effetti	In occasione del terremoto del:				
Is	Anno Me Gi Or Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
6	1789 12 25 01	Riminese	91	8	5.67
5	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53
NF	1911 02 19 07 18	Romagna meridionale	185	7	5.38
7	1916 08 16 07 06	Alto Adriatico	256	8	5.92
NF	1986 12 06 17 07	BONDENO	604	6	4.56
4	1997 09 26 09 40	Appennino umbro-march.	869	9	6.05

Figura 4 Storia sismica di Roncofreddo, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/.

Ai fini della parametrizzazione sismica assume particolare importanza il valore della magnitudo attesa. Tale parametro entra in gioco in quanto, maggiore è la magnitudo maggiore è l'energia rilasciata e quindi la capacità di generare cicli di deformazione del terreno di numero ed ampiezza.
Secondo la zonazione attualmente in vigore il territorio di Roncofreddo ricade prevalentemente all'interno della zona sismogenetica 918 (fig. 5). La magnitudo attesa per l'area in studio risulta essere pari a 6,37 (fig. 6).

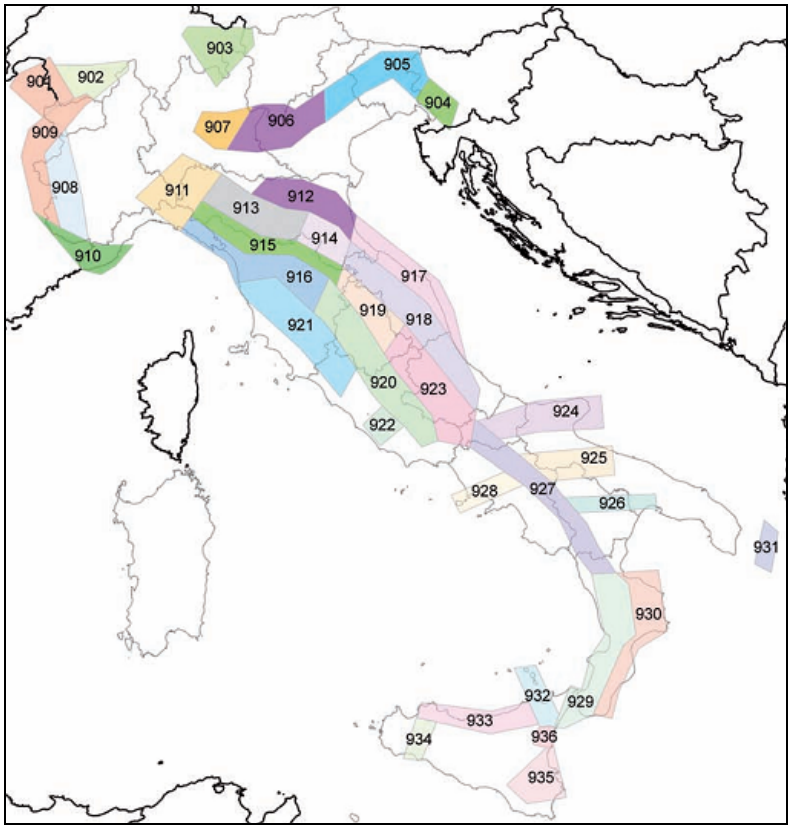


Figura 5 Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004)

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

Figura 6 Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche

3 - INQUADRAMENTO STRUTTURALE

Il territorio del Comune di Roncofreddo, dal punto di vista geologico strutturale, è dominato dal klippe del Marecchia: un vasto e complesso corpo roccioso, dovuto ad una falda isolata marginalmente dall'erosione e, a sua volta, separata dalla sottostante Formazione marnoso-arenacea dal piano di scorrimento.

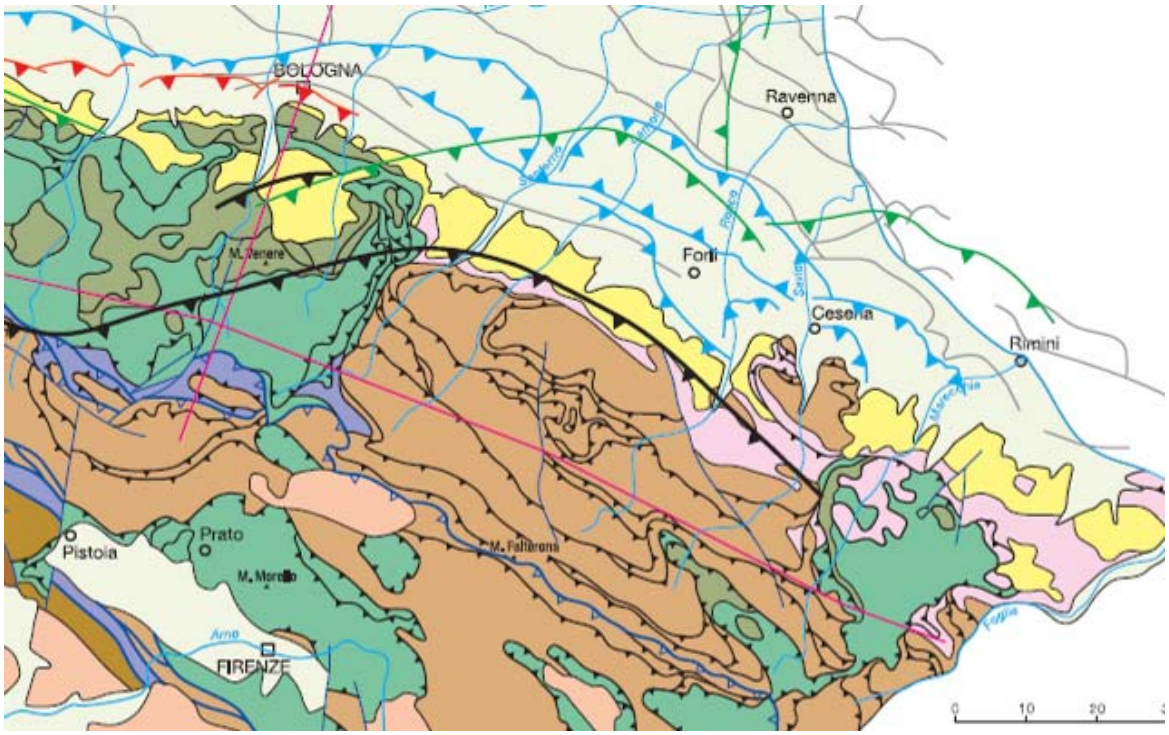
Il complesso ciclo orogenetico, sviluppatosi in fasi successive tra l'Oligocene inferiore e il Pleistocene inferiore, che ha portato alla strutturazione dell'Appennino settentrionale, «si identifica con l'evoluzione dell'avanfossa oligo-miocenica che, successivamente alla fase di esumazione dell'edificio eo-mesoalpino, si instaura al fronte della catena progradante verso l'avampaese apulo del margine della placca Adria». Nei fondali del bacino marino subsidente, corrispondente a questa avanfossa, si andavano poi progressivamente depositando potenti successioni di sedimenti torbiditici

Il sistema, costituito dal rilievo montuoso in formazione e dalla sua avanfossa, tendeva poi progressivamente a spostarsi verso oriente fino a dar luogo all'attuale fossa adriatica. Durante questo processo si sono depositate masse rocciose sempre più giovani, mentre procedevano nella stessa direzione gli accavallamenti e le deformazioni compressive dell'orogenesi. Contemporaneamente all'attuazione dei sistemi di scorrimenti, che hanno scomposto il prisma silicoclastico di avanfossa, «le unità della catena appenninica si strutturano in falde, associate a mélanges sinorogenici, al di sotto delle Liguridi dell'edificio eo-mesoalpino e della loro copertura post mesoalpina».

Gli elementi strutturali presenti definiscono un insieme di strutture emerse con prevalente orientamento appenninico NO-SE denominate "Pieghe Appenniniche" fra cui l'anticlinale di Roncofreddo. Il sistema è caratterizzato anche da linee trascorrenti coincidenti con i corsi d'acqua che hanno generato (Fiume Rubicone). L'insieme degli elementi strutturali hanno

determinato la suddivisione dell'area in cunei, con la conseguenza di generare numerosi reticoli di fratture.

La sismicità della zona, dal punto di vista generale, è legata al sistema di grandi faglie inverse che interessano la Formazione Marnoso Arenacea. Si nota infatti che gli epicentri si allineano lungo tali discontinuità ed in particolare lungo la faglia di S.Sofia-Quarto e Marradi-S.Benedetto in Alpe.
Si tratta di faglie che presentano gli stessi caratteri geometrici e meccanici delle fratture interessanti l'area di studio. Le profondità ipocentrali riscontrate sono in genere inferiori a 10 Km, con sollecitazioni superficiali a carico della copertura.



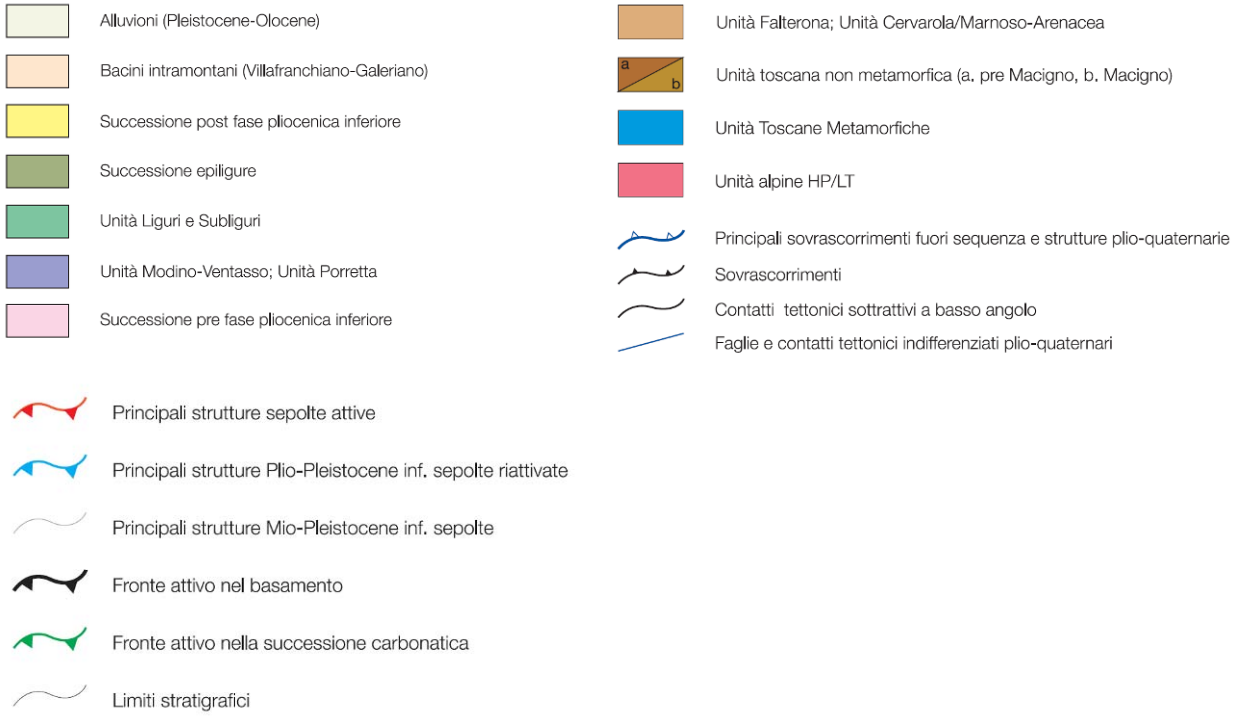


Figura 7 Schema tettonico tratto dalle note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna

4 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

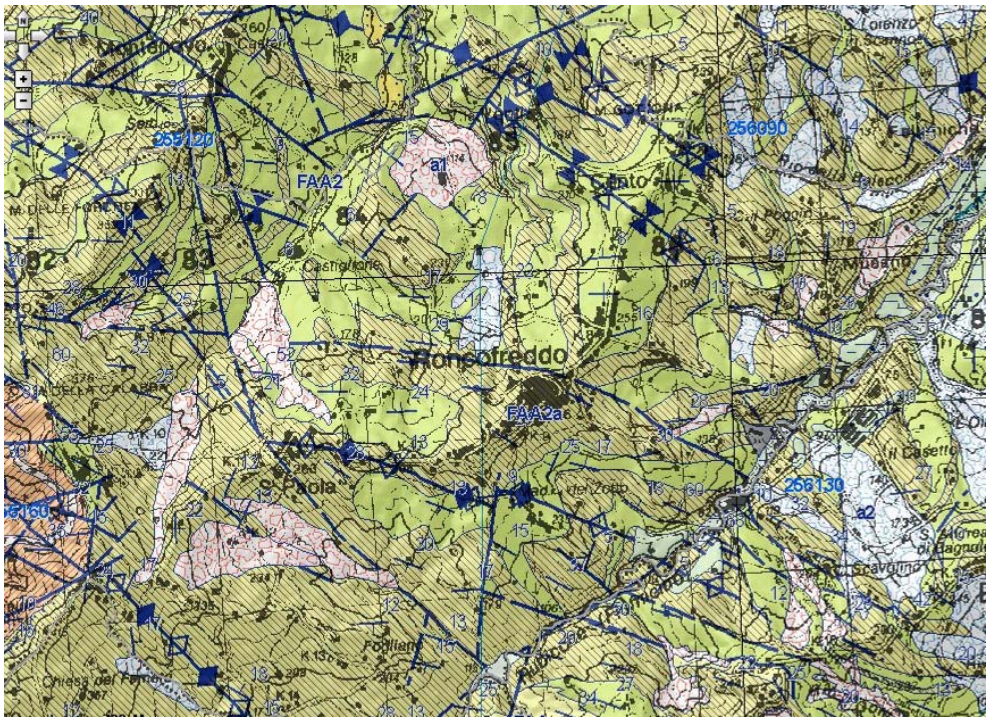
Il territorio del Comune di Roncofreddo appartiene alla collina cesenate perlopiù a quote comprese tra 100 e 300 metri sul livello del mare. Il settore appenninico in esame è dominato dal Klippe del Marecchia: un vasto e complesso corpo roccioso, sovrascorso sulla Formazione marnoso-arenacea ed isolato marginalmente dall'erosione, i cui costituenti vanno dalle Argille varicolori del Cretaceo inferiore – Eocene medio al Melange basale sinorogenico: un corpo lenticolare di brecce, in matrice argillosa, di età pliocenica inferiore, caratterizzato dalla presenza di depositi di colata (debris flow) e da frammenti litologici di scivolamento (slide block). La formazione marnoso-arenacea (Burdigaliano superiore – Messiniano inferiore) è un flysch, costituito da alternanze di arenarie e peliti torbiditiche e di subordinate marne emipelagiche, in cui talvolta si riscontrano anche livelli torbiditici carbonatici. Le sue successioni sono normalmente caratterizzate da pacchi di strati paralleli di enorme spessore e di grande estensione areale, in cui le arenarie, più o meno calcaree, si alternano ritmicamente a peliti e marne. Le dimensioni dei livelli arenitici raramente scendono a valori inferiori ai venti centimetri e altrettanto di rado superano lo spessore di un metro. Gli spessori della parte marnoso - pelitica sono invece assai variabili. Essa può ridursi in modo estremo, oppure assumere una netta prevalenza. In casi limite si hanno rocce quasi completamente arenacee oppure decisamente marnose.
I vari membri della marnoso arenacea, come già detto, si distinguono in funzione della litofaces litoide (arenarie calcaree) e di quella pelitica. Nel territorio comunale i membri in cui prevale la litofaces litoide sono prevalenti rispetto a quelli in cui prevale la litofaces pelitica.

L'intera struttura Klippe - Formazione marnoso arenacea poggia su rocce della successione carbonatica mesozoica e verso la pianura si immerge sotto una potente coltre, depositatasi successivamente al Pliocene inferiore. Alla fase evaporitica messiniana e poi quella post-evaporitica del Messiniano medio – Pliocene inferiore è dovuta la serie romagnola successiva ai depositi di avanfossa (Formazione marnoso-arenacea e peliti

di chiusura). Alla fase evaporitica, corrispondente alla crisi di salinità, che ha interessato il bacino del Mediterraneo nel messiniano, si deve la formazione gessoso-solfifera col gesso selenitico in banchi, gessoruditi e gesso areniti, ma anche calcari, mineralizzazioni a zolfo e peliti marnose. La successione post-evaporitica è poi caratterizzata dalle argille grigie e peliti della formazione a colombacci (Messiniano medio-Pleistocene inferiore). Questa fase è chiusa, infine, dalle fasce di alluvioni recenti e terrazzate, depositi continentali che accompagnano i corsi d'acqua locali.

Il territorio comunale è interessato da fenomeni franosi in particolar modo sui versanti argillosi ma anche ai margini di masse rocciose isolate poggianti su litotipi plastici. I depositi di frana, pur interessando marginalmente gli ambiti urbanizzati, rappresentano per questo territorio una problematica non trascurabile.

La sottostante Carta Geologica (fig. 8) è prodotta dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna.



Province
Comuni

Risorse e prospezioni (50K)
- cava attiva
- cava inattiva

Punti di osservaz. e misura (50K)
- slumping intraformazionale non cartografabile
- stratificazione a polarità sconosciuta
- stratificazione contorta con valori medi di immersione ed inclinazione
- stratificazione dritta
- stratificazione orizzontale
- stratificazione rovesciata
- stratificazione verticale a polarità sconosciuta
- stratificazione verticale con polarità

Tracciati geologici (50k)
- traccia di sezione geologica

Linee geomorf./antrop. (50K)
- orlo di terrazzo fluviale certo
- orlo di terrazzo fluviale incerto
- trincea di deformazione gravitativa profonda di versante certa

Isolinee di unità del sottosuolo (50k)
- isobata della base del pliocene

Elementi strutturali (50K)
- traccia di superficie assiale di anticlinale con asse inclinato certa
- traccia di superficie assiale di anticlinale con asse orizzontale certa
- traccia di superficie assiale di anticlinale con asse orizzontale incerta
- traccia di superficie assiale di sinclinale con asse inclinato certa
- traccia di superficie assiale di sinclinale con asse orizzontale incerta

Limiti di unità geologiche (50K)
- contatto stratigrafico o litologico certo
- faglia certa
- faglia diretta certa
- faglia incerta
- sovrascorrimento principale certo

Ambienti deposiz. e litologie (50K)
- ghiaia sabbioso-argillosa di piana alluvionale
- limo argilloso-sabbioso di piana alluvionale
- sabbia limoso-argillosa di piana alluvionale

Unità geologiche (50K)
- AES - Sintema emiliano-romagnolo superiore
- AES6 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Bazzano
- AES7 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Villa Verucchio
- AES8 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna
- AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena
- ANT - Formazione di Antognola
- AQV - Formazione di Acquaviva
- AQVa - Formazione di Acquaviva - litofacies conglomeratica
- AVR - Argille varicolori della Val Marecchia
- BABa - Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-calcarea
- BABb - Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-arenacea
- CGE - Argille di Casa i Gessi
- FAA - Formazione delle Argille Azzurre
- FAA2 - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello
- FAA2a - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - litofacies arenaceo-pelitica
- FAA2b - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - litofacies arenacea
- FAA2c - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - litofacies grossolana bioclastica
- FAA2d - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - litofacies conglomeratica
- FAA2e - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - olistostroma di S. Maria di Riopetra
- FAA2f - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - breccia a blocchi di Sogliano
- FAA2g - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - brecce a matrice argillosa varicolorata
- FMA13b - Formazione Marnoso-Arenacea - Membro di Fontanelice - litofacies della Val Samoggia
- GES - Formazione delle Argille Azzurre - olistostromi della Formazione Gessoso-Solfifera
- IMO - Sabbie di Imola
- LAD - Arenarie di Lardiano
- MFU - Formazione di Monte Fumaiolo
- MLL - Formazione di Monte Morello
- SMN - Formazione di S. Marino
- SVG - Arenarie e argille di Savignano
- TCO - Marne di Corpolò
- a1 - Frana in evoluzione
- a2 - Frana quiescente
- a3 - Detrito di versante s.l.
- av - Formazione delle Argille Azzurre - argille varicolori
- gs - Membro delle arenarie di Borello - olistostroma di S. Maria di Riopetra - olistoliti di gesso
- i2 - Conoide torrentizia inattiva

Figura 8- Estratto della Carta Geologica della Regione Emilia Romagna

5 - INDAGINI SVOLTE

5.1 Indagini pregresse

La prima fase di tale incarico si è basata sulla raccolta dei dati esistenti ed in particolare sul reperimento dei risultati delle indagini precedentemente svolte nel territorio del Comune di Roncofreddo. L'amministrazione comunale ci ha fornito i dati relativi a delle prove, identificabili come indagini dirette (prove penetrometriche e sondaggi geognostici) e come indagini indirette (prove geofisiche MASW, prove Re.Mi).

L'elevato numero di prove disponibili e l'esistenza di specifici elaborati geologici di dettaglio ha perciò permesso di limitare le nuove indagini; per quest'ultime sono state preferite le misure tromografiche e quelle sismiche nei settori più scoperti dalle precedenti indagini, nelle aree urbanizzate ed in quelli in cui sono previste della modifiche urbanistiche.

Complessivamente, le precedenti indagini sono così riassumibili:

Indagini dirette

- n° 19 sondaggi geognostici
- n° 46 prove penetrometriche CPT

Indagini indirette

- n° 3 prove MASW
- n° 19 prove HVSR

Gli elaborati grafici di tali prove non verranno consegnati su formato cartaceo, ma fanno parte del database GIS secondo quanto previsto dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" Versione2.0 (Giugno 2012).

Per ogni indagine puntuale o lineare è stato compilato il database, seguendo una maschera di immissione dati personalizzata.

Indagini_Puntuali | Indagini_Puntuali

pkey_spu	pkey_indpu	classe_ind	tipo_ind	ID_INDPU
1	1	GS	CPTU	40004P001CPTU01

id_indpuex	arch_ex
B1 (1)	SPG

note_ind

prof_top	prof_bot	spessore
0	-8,8	8,8

quota_slm_top	quota_slm_bot	data_ind	doc_pag
186	177,2	17/01/2011	5

doc_ind

..\..\Indagini\Documenti\B1.pdf

Ad ogni entità inserita nel database, che è stato popolato secondo i campi previsti dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" Versione2.0 (Giugno 2012), è stato collegato con un oggetto nello shapefile puntuale o lineare come indicato dagli stessi standard. Sono stati inoltre aggiunti alcuni nuovi campi per facilitare le funzioni di elaborazione grafica ed al fine di aumentare le informazioni ottenibili dagli schapefile.

5.2 Indagini attuali

La prospezione geofisica e le misure tromografiche sono state eseguite nei giorni dal 6 al 15 Marzo 2013. L'ubicazione complessiva delle indagini è riportata in dettaglio nell'elaborato "Carta delle indagini".

L'indagine geofisica e geotecnica si è svolta attraverso l'esecuzione di 6 prove MASW per l'acquisizione delle onde superficiali di Rayleigh, con l'esecuzione di 5 misure HVSR (fig. 9) a stazione singola della durata di 20 minuti ciascuna e con 4 prove penetrometriche.

Figura 9 – Misura HVSR

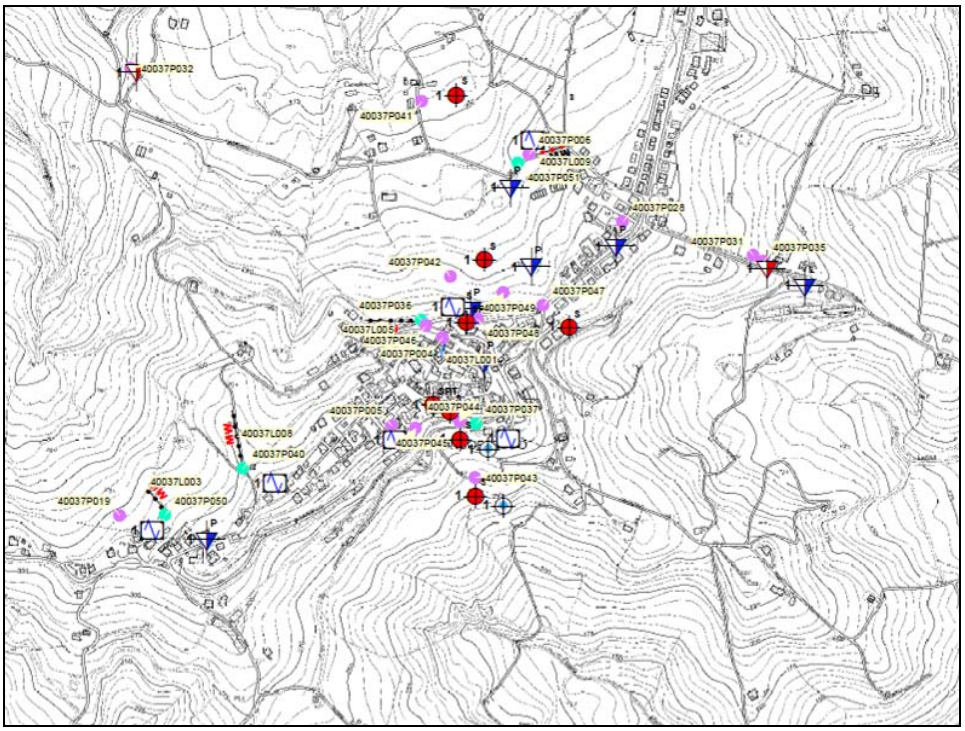
Le prove vengono riassunte nelle successive tabelle con la sigla con cui sono contraddistinte nella “Carta delle Indagini”

MASW 1	40037L003MASW03
MASW 2	40037L004MASW04
MASW 3	40037L005MASW05
MASW 4	40037L006MASW06
MASW 5	40037L007MASW07
MASW 6	40037L008MASW08

HVSR 1	40037P036HVSR37
HVSR 2	40037P037HVSR38
HVSR 3	40037P038HVSR39
HVSR 4	40037P039HVSR40
HVSR 5	40037P040HVSR41

PROVA PENETROMETRICA 1	40037P050DP55
PROVA PENETROMETRICA 2	40037P051DP56
PROVA PENETROMETRICA 3	40037P052DP57
PROVA PENETROMETRICA 4	40037P053DP58

La carta delle indagini individua la posizione planimetrica di tutte le indagini svolte nell'ambito del progetto in esame. Tale carta, ed il relativo database, sono stati redatti, come già descritto in precedenza, secondo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" Versione2.0 (Giugno 2012).
Di seguito viene riportato un estratto della Carta delle Indagini e la relativa legenda.



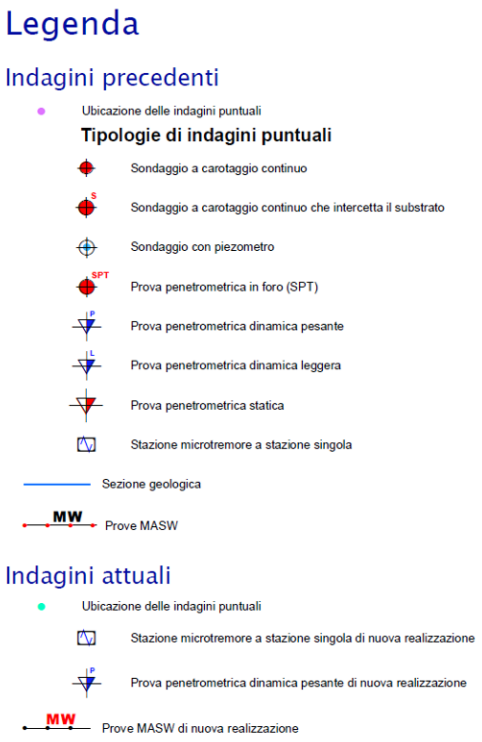


Figura 10 – Estratto e legenda della Carta delle indagini

6 – ESECUZIONE DEI RILIEVI

Prove Multi-channel Analysis of Surface Waves ("MASW")

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Lle procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005). Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore della Vs_H e della Vs_{30} (il valore medio ponderato della VS nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \qquad \text{eq. (1)}$$

in cui Vs_i e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'i-esimo strato

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio).

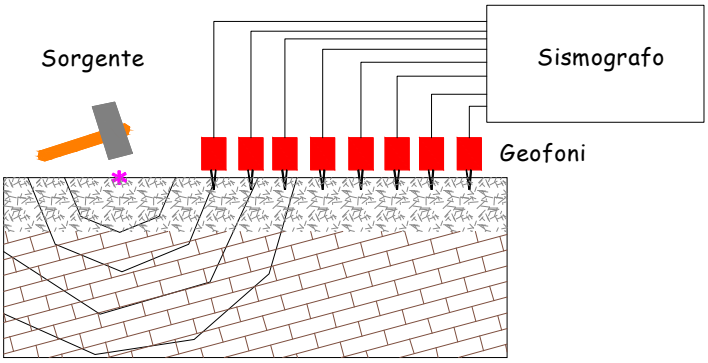


Figura 11 - Stendimento sismico

La prova consiste nel produrre in un punto sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori (fig. 11) le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Curva HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. Le frequenze di risonanza corrispondono ai massimi della funzione che rappresenta rapporti spettrali medi in funzione della frequenza (funzione H/V). L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente

L'idea di base è quella secondo cui il rapporto H/V consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità delle sorgenti nel corso della registrazione mettendo in evidenza il ruolo della struttura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza fr relativa a quella

configurazione strutturale (con fr circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Si osserva anche una certa correlazione (fortemente non lineare) fra l'entità della variazione di velocità responsabile del fenomeni di risonanza e l'ampiezza del massimo della funzione H/V (maggiore è il contrasto di impedenza sismica, maggiore è l'entità del massimo).

La struttura del campo d'onde presente nel terreno (rumore sismico ambientale, microtremore, rumore sismico o seismic noise) è condizionata dalle caratteristiche delle sorgenti che lo determinano (siano esse naturali o antropiche) e dalle proprietà meccaniche dei terreni. Infatti, ciascuna sorgente genera un treno d'onde che raggiunge il punto di misura con caratteristiche che dipendono dall'entità delle sollecitazioni nelle componenti orizzontali e verticali del moto e dalle modalità di propagazione fra la sorgente e il sito in funzione dei fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione che hanno luogo in corrispondenza di variazioni delle proprietà meccaniche dei terreni nel sottosuolo. In genere, nel campo di rumore ambientale, saranno presenti sia onde di volume (P e S in quantità variabili) che onde superficiali (Love e Rayleigh).

Se si considera un intervallo di tempo opportunamente lungo (dell'ordine delle decine di minuti), le proprietà medie di un campo d'onde sismiche generato da una molteplicità di sorgenti differenti, distribuite casualmente attorno a un punto di misura, tendono ad avere un andamento che non dipende dalle singole sorgenti che hanno generato il campo, ma solo dalle proprietà del mezzo in cui le onde si propagano e dal livello energetico medio dell'attività antropica o naturale.

In particolare, si può immaginare che, in media, le componenti orizzontali e verticali del moto del suolo tendano a essere sollecitate in modo equivalente, con un'ampiezza media pari al livello medio del rumore in quell'intervallo temporale. In questa ipotesi, i rapporti fra le ampiezze verticali e orizzontali del moto (H/V) saranno statisticamente indipendenti dalle caratteristiche delle sorgenti.

Si può dimostrare che la frequenza di risonanza v_0 di una copertura

sedimentaria di spessore H sovrapposta a un basamento rigido e in condizioni di stratificazione piana è data dal rapporto fra la velocità media delle onde S nel sedimento (V_s) e 4 volte lo spessore H ($v_0 = V_s/4H$). Utilizzando questa relazione è possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata allo spessore della copertura una volta nota la velocità delle onde di taglio o, viceversa a questa ultima se lo spessore H è noto.

Studi teorici mostrano che se il rumore è effettivamente dominato da onde di volume emergenti da direzioni sub-verticali, l'andamento e l'ampiezza della funzione H/V riflettono quelle della funzione di risposta del deposito sedimentario analizzato. In caso contrario si vede che l'ampiezza dei massimi della funzione H/V è correlata (ma non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica presente alla base della copertura.

L'assenza di massimi della funzione H/V suggerisce l'assenza di fenomeni di amplificazione sismica dovuti a fenomeni di risonanza.

Le registrazioni di microtremori, della durata di 20 minuti, sono state effettuate con il tromografo digitale TROMINO ENGY PLUS (specifiche tecniche su www.tromino.it), strumento appositamente progettato per questo scopo.

7 - ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI

Il metodo “MASW” consente di eseguire un’analisi dei dati sismici in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della velocità delle onde S.

Per l’interpretazione dei dati sperimentali è stato utilizzato uno specifico programma (winMASW Professional Version 4.1).

Il profilo verticale di Vs è ottenuto tramite l’inversione (considerando tanto il modo fondamentale che quelli superiori) delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

La procedura si sviluppa in due fasi:

- Determinazione dello spettro della velocità sulla quale si identifica la curva di dispersione
- Inversione della curva di dispersione attraverso l’utilizzo di algoritmi genetici.

L’elaborazione del segnale consiste inizialmente nel calcolo dello spettro di velocità dei dati sismici acquisiti in campagna (fig. 12).

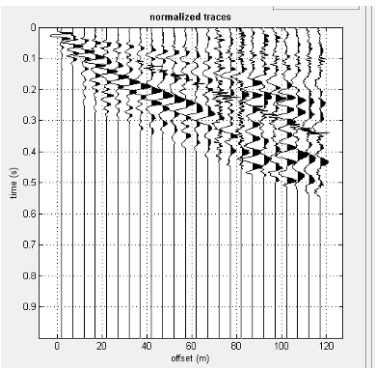


Figura 12: dati di campagna

Sullo spettro di velocità calcolato (fig. 13) è eseguito un “picking” della curva di dispersione (soprassegno con cerchietti) individuando un insieme di punti che appartengono ad un certo modo (in questo caso al modo fondamentale) di propagazione dell’onda superficiale di Rayleigh.

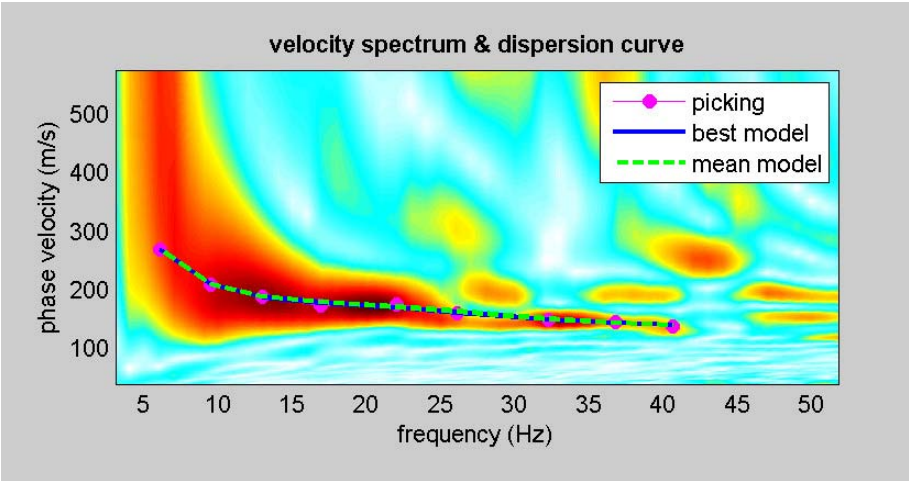


Figura 13: esempio di spettro di velocità tratto dalla prova MASW e relativo picking

Allo scopo di ottenere una prima valutazione del possibile modello del terreno è altresì effettuata una modellazione diretta del terreno tramite il calcolo di una curva di dispersione appartenente ad un modello a quattro strati, i cui valori di Vs e degli spessori sono definiti sulla base di osservazioni desunte e dalla tomografia sismica a rifrazione e delle stratigrafie delle prove penetrometriche.

Successivamente per ottenere il profilo verticale di Vs è eseguita l'inversione della curva di dispersione precedentemente individuata. Tale inversione è eseguita tramite l'utilizzo di algoritmi genetici che consentono di ottenere soluzioni affidabili ed una stima dell'attendibilità del modello ricavato in termini di deviazione standard.

L'operazione di inversione è ottimizzata definendo uno spazio di ricerca i cui confini sono definiti da valori di Vs e spessori all'interno dei quali si cerca la soluzione. Tali assunzioni sono fatte sulla base delle conoscenze geologiche del sito e delle informazioni derivate dalle prove penetrometriche e dai sondaggi geognostici.

Una volta fissati i limiti minimi e massimi dello spazio di ricerca, sono quindi impostati i parametri genetici che definiscono sia il numero di individui (ossia il numero di modelli che costituiscono la popolazione che si evolverà verso soluzioni sempre migliori) sia il numero di generazioni al passare delle quali sono esplorati modelli sempre migliori.

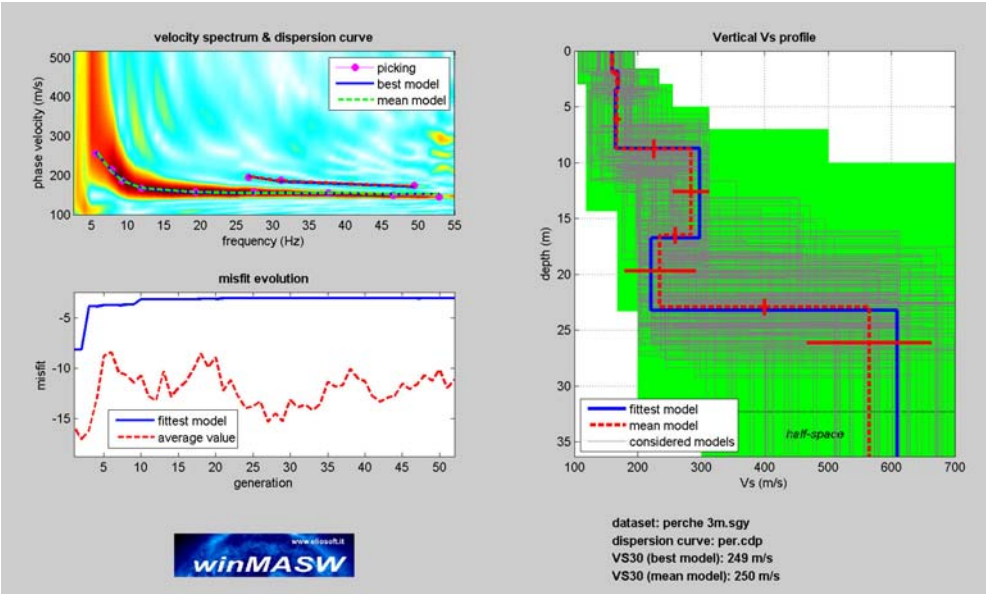


Figura 14: Esempio di risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (modello "migliore" e medio sono tipicamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" utile per la valutazione dei valori di deviazione standard tra il modello medio e quello migliore ai fini di verificare l'accettabilità del modello ottenuto (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici – Dal Moro et al., 2007).

L'analisi dei dati attraverso l'uso di algoritmi genetici porta in ultima analisi alla definizione del profilo verticale della Vs (fig. 14) in funzione della profondità con associato il valore del Vs_{30} o Vs_H.

8 - ANALISI ED UTILIZZO DEI RAPPORTI SPETTRALI

La misura della funzione H/V è stata effettuata tramite l'acquisizione del rumore sismico ambientale in un punto per un tempo di venti minuti. Questa durata ha lo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da una molteplicità di sorgenti dalle diverse direzioni dello spazio.

La misura è stata effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tri-direzionale caratterizzato da sufficiente sensibilità.

I risultati di ogni analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software GRILLA, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, la serie di rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 secondi) per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. Su ciascuna di queste finestre viene calcolato lo spettro di ampiezza del segnale nelle tre componenti. In questa fase è stata applicato un sistema di lisciamento (smoothing) triangolare del 10% adottato per la determinazione dello spettro.

L'andamento dei rapporti spettrali è stato quindi ottenuto mediando i valori ottenuti per le diverse finestre temporali considerate. Per definire la qualità delle misure sono state anche valutate le variazioni temporali e azimutali dei rapporti spettrali nel corso della sessione di misura e fatta una stima del relativo intervallo di confidenza.

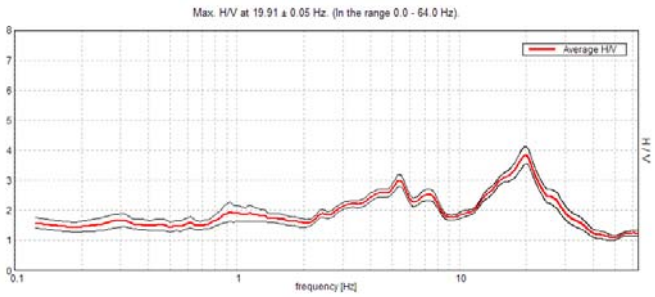
Di seguito sarà brevemente descritta la procedura di analisi seguita:

- Ciascuna delle tracce è suddivisa in segmenti o finestre di 20 secondi.
- In ogni finestra e per ciascuna delle tracce viene eseguita:
  - un'analisi preliminare: eliminazione di trend lineari (detrend) e tapering delle estremità.
  - la trasformata di Fourier (FFT)
  - il lisciamento degli spettri con finestra triangolare ampia una frazione della frequenza centrale (in questo lavoro generalmente il 10%).

- Le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali vengono mediate in modo geometrico, e vengono calcolati i rapporti HVSR (f), in ciascuna finestra temporale.
- Si calcolano i rapporti HVSR medi ed il relativo intervallo di confidenza al 95%. Alla frequenza di risonanza viene associata una stima dell'incertezza sperimentale.

Lo spettro relativo alla componente orizzontale viene ottenuto effettuando la media (solitamente geometrica) delle due componenti spettrali del rumore sul piano orizzontale. La combinazione delle stime ottenute nelle diverse finestre temporali viene poi utilizzata per costruire la funzione H/V finale e stimare il relativo intervallo di confidenza. In particolare, la funzione H/V è ottenuta facendo la media dei valori delle funzioni H/V calcolate in ogni finestra temporale.

Sperimentalmente, l'analisi di qualità della misura può essere effettuata confrontando le ampiezze spettrali medie del rumore misurato lungo le due componenti orizzontali, oppure calcolare diversi valori della funzione H/V di volta in volta proiettando lungo direzioni differenti le ampiezze spettrali ottenute sul piano orizzontale (fig. 15). La stazionarietà nel tempo, invece, può essere valutata rappresentando in funzione del tempo le funzioni H/V ottenute nelle diverse finestre temporali considerate (fig. 15).



H/V TIME HISTORY DIRECTIONAL H/V

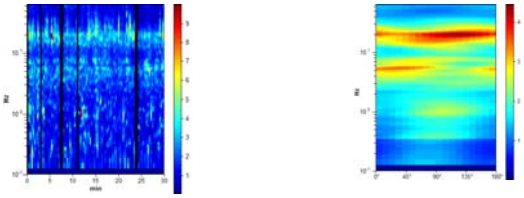


Figura 15: Esempio di risultati delle analisi di rumore sismico relative a una corretta misura H/V. In alto sono riportati i valori del rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza con il relativo intervallo di confidenza al 95%. In basso a sinistra è riportato l'andamento nel tempo (ascissa) dei valori H/V (colori) in funzione della frequenza (ordinata). In basso a destra sono invece riportati i valori della funzione H/V (colore) in funzione della frequenza (in ordinata) al variare della direzione del segnale (ascissa)..

Ai fini dell'affidabilità e della chiarezza del massimo della funzione H/V, infine è effettuata una analisi secondo i criteri determinati nell'ambito del progetto europeo SESAME per l'eliminazione di massimi spuri della funzione H/V, la cui presenza è frutto delle caratteristiche del campo d'onde sismiche e non della struttura locale del sottosuolo.

Infine, un buon indicatore della qualità del picco H/V può essere ottenuto dall'esame degli spettri singoli. Infatti, massimi fisicamente significativi sono generalmente associati a valori di ampiezza spettrale minima sulla componente verticale. La curva sottostante può essere considerata come un esempio di picco H/V chiaro e fisicamente significativo (fig. 16).

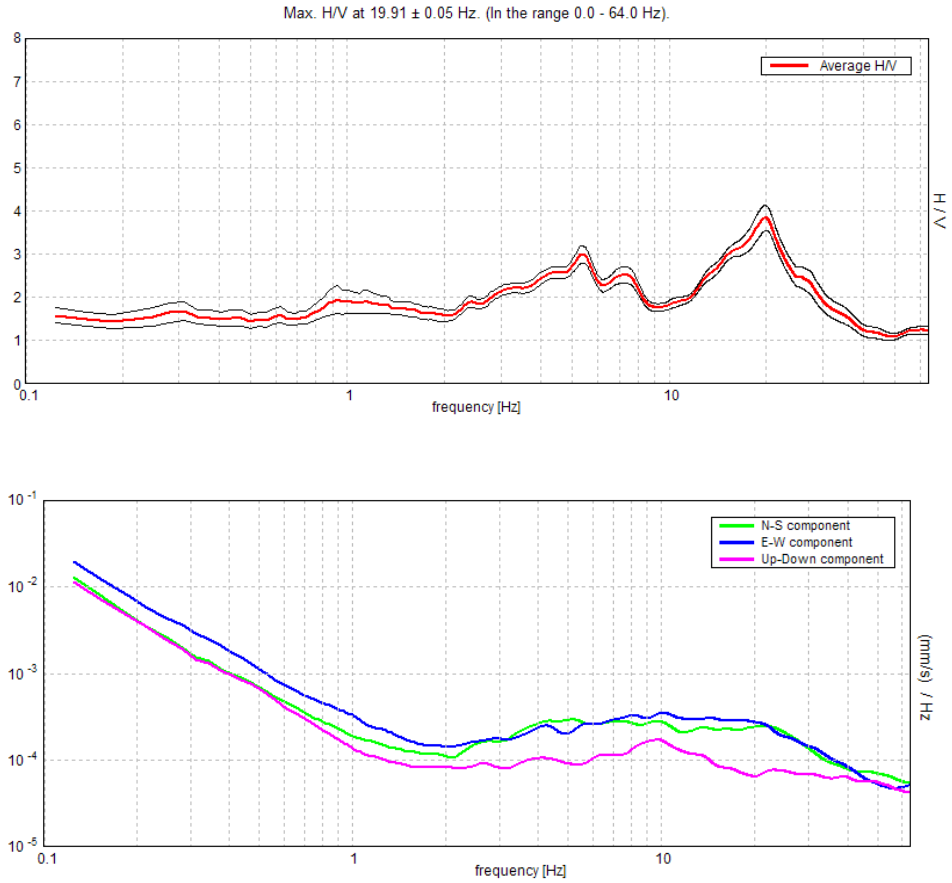


Figura 16: Esempio di andamento degli spettri relativi a una corretta misura H/V nella quale viene identificato un picco fisicamente significativo. Nella figura superiore è riportato l'andamento della curva H/V (curva rossa) e il relativo intervallo di confidenza (curve nere). Nella figura in basso sono riportati gli andamenti degli spettri di ampiezza del rumore sulla componente verticale (curva magenta) e sulle componenti orizzontali (curve verde e blu).

Come già ricordato, un picco chiaro e netto indica un buon contrasto di impedenza sismica; di conseguenza, un passaggio litologico significativo ad un litotipo avente spessori consistenti e che quindi può essere considerato sismicamente come il sub-strato.

Nel complesso le misure HVSR eseguite nel territorio del comune di Roncofreddo presentano un picco chiaro e netto corrispondente a frequenze

di risonanza fondamentali (F_0) comprese tra 2 e 9,5 Hz e subordinatamente maggiori di 10Hz. Le misure 40037P007, 40037P012, 40037P018 e 40037P022 identificano, inoltre, una frequenza di risonanza secondaria rispetto alla fondamentale (F_1). Le misure hanno pertanto evidenziato frequenze di risonanza del sottosuolo corrispondenti ad uno o più passaggi litologici significativi; in particolare le misure 40037P011 , 40037P017 , 40037P020 , 40037P021 e 40037P039 sono caratterizzate da picchi di ampiezza notevole e pertanto individuano situazioni geologiche che possono determinare fenomeni di risonanza importanti nelle rispettive frequenze individuate. Solo in taluni casi (40037P009, 40037P019, 40037P036, 40037P038 e 40037P039) la curva HVSR mostra un andamento più o meno piatto corrispondente a situazioni litologiche caratterizzate dall'assenza di passaggi litologici netti nel sottosuolo.

9 - ANALISI DEI RISULTATI E RELATIVA CARTOGRAFIA

9.1 Introduzione

Come specificato negli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” Versione2.0”, tutti gli elaborati GIS sono stati georeferenziati nel sistema WGS84UTM33N, e sono stati redatti in scala 1:5000 e 1: 10.000.

I progetti GIS sono stati realizzati utilizzando il software ArcMap v.10 della ESRI; gli shapefiles sono stati organizzati in geodatabase secondo quanto previsto dagli standard. Per ogni shapefile è stato comunque creato un file con estensione “.lyr” che permetterà la ricostruzione delle simbologie indipendentemente dalla versione di ArcMap utilizzata.

La topografia di base è stata fornita dalla committenza e, dopo le opportune modifiche, è stata inserita nella cartella denominata “Basi_Dati”

9.2 Carta geologico-tecnica

La carta geologico-tecnica rappresenta il documento di sintesi di tutti gli elementi geologici e geomorfologici che possono produrre modificazioni locali del moto sismico in superficie. In tale elaborato, redatto alla scala 1:5.000, sono state distinte le aree instabili con indicazione del grado di attività e della tipologia di movimento, i terreni di copertura e le aree caratterizzate dall’affioramento del substrato geologico. I terreni di copertura comprendono i depositi olocenici e pleistocenici, i depositi detritici di versante.

TERRENI DI COPERTURA	
Unità di Modena	GM
Deposito alluvionale in evoluzione	GM
Subsintema di Ravenna	SP
Deposito di versante	fd (GM)
Deposito eluvio-colluviale	ec (GM)
Subsintema di Villa Verucchio	GM

Subsintema di Bazzano	GM
Deposito antropico	RI

Il substrato geologico è costituito da un vasto e complesso corpo roccioso sovrascorso sulla Formazione marnoso-arenacea ed isolato marginalmente dall'erosione, i cui costituenti vanno dalle Argille varicolori del Cretaceo inferiore – Eocene medio al Melange basale sinorogenico: un corpo lenticolare di brecce, in matrice argillosa, di età pliocenica inferiore, caratterizzato dalla presenza di depositi di colata (debris flow) e da frammenti litologici di scivolamento (slide block). La formazione marnoso-arenacea (Burdigaliano superiore – Messiniano inferiore) è un flysch, costituito da alternanze di arenarie e peliti torbiditiche e di subordinate marne emipelagiche, in cui talvolta si riscontrano anche livelli torbiditici carbonatici.
I vari membri della marnoso arenacea, come già detto, si distinguono in funzione della litofaces litoide (arenarie calcaree) e di quella pelitica. Nel territorio comunale i membri in cui prevale la litofaces litoide sono prevalenti rispetto a quelli in cui prevale la litofaces pelitica.
Le argille marnose grigio azzurre e quelle varicolori affiorano prevalentemente nel settore centro orientale del comune.

Il substrato geologico spesso non corrisponde con il substrato sismico ed è proprio per tale motivo che l'attribuzione geologico-tecnica, in alcune delle formazioni sotto riportate coincide con un substrato non rigido (NRS e NR); tale assegnazione è legata al fatto che, nonostante queste formazioni costituiscono il litotipo profondo con spessori consistenti e con caratteristiche geologiche da basamento, sono caratterizzate da velocità delle onde S Vs decisamente inferiori a 800 m/sec.

SUBSTRATO GEOLOGICO		
SMN	Formazione di San Marino	LPS
FAA2e	Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies a brecce di Santa Maria Riopetra	NRS
FAA2p	Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies pelitico-arenacea	NRS
SNEa	Formazione di Monte Senario - litofacies arenacea	ALS
MLL	Formazione di Monte Morello	ALS

FAA	Argille Azzurre	NRS
FAA2ap	Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenaceo-pelitica	NRS
FMA12b	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio - litofacies arenaceo-pelitica	ALS
FCOb	Formazione a Colombacci - litofacies conglomeratica	NR
GES	Formazione Gessoso Solfifera	NRS
FMA12a	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio - litofacies arenacea	ALS
FCOc	Formazione a Colombacci - litofacies pelitico-arenacea	ALS
FMA13	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Fontanelice	ALS
BABa	Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-calcarea	NRS
BABd	Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-argillosa	NRS
FCOa	Formazione a Colombacci - litofacies arenacea	ALS
BABb	Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-arenacea	ALS
cl	Strato guida Colombaccio	NRS
BABc	Formazione del Barbotto - litofacies arenacea	ALS
AVS	Argille Varicolori della Val Samoggia	NRS
SNE	Formazione di Monte Senario	ALS
FAA2d	Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies conglomeratica	NR
GHL	Formazione dei Ghioli di Letto	NRS
FMA13c	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Fontanelice - litofacies arenacea	ALS
FMA12c	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio - litofacies pelitico-arenacea	ALS
FMA14a	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Borgo Tossignano - litofacies pelitico-arenacea	ALS
FMA9c	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Civitella di Romagna - litofacies pelitico-arenacea	ALS
TRP	Tripoli e Marne tripolacee	NRS
GHLa	Formazione dei Ghioli di Letto - litofacies pelitico-arenacea	ALS
AQVg	Formazione di Acquaviva - litofacies conglomeratica	NR
GHLb	Formazione dei Ghioli di Letto - litofacies marnosa-tripolacea	ALS
FCO	Formazione a Colombacci	NRS
FAA2ar	Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenacea organogena	NRS
lu	Calcari con Lucine	LPS
SIL	Formazione di Sillano	NRS
CEA	Marne di Cella	NRS
oa	Olistolite arenaceo	ALS
FMA9d	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Civitella di Romagna - litofacies pelitica di Sarsina	NRS
SNEb	Formazione di Monte Senario - litofacies a brecciole	ALS
sl	Orizzonti caotici intraformazionali	NRS

MVS	Melange della Valle del Savio	NRS
aq	Blocchi di Formazione di Acquaviva (AQV)	NRS
MFU	Formazione del Monte Fumaiolo	ALS

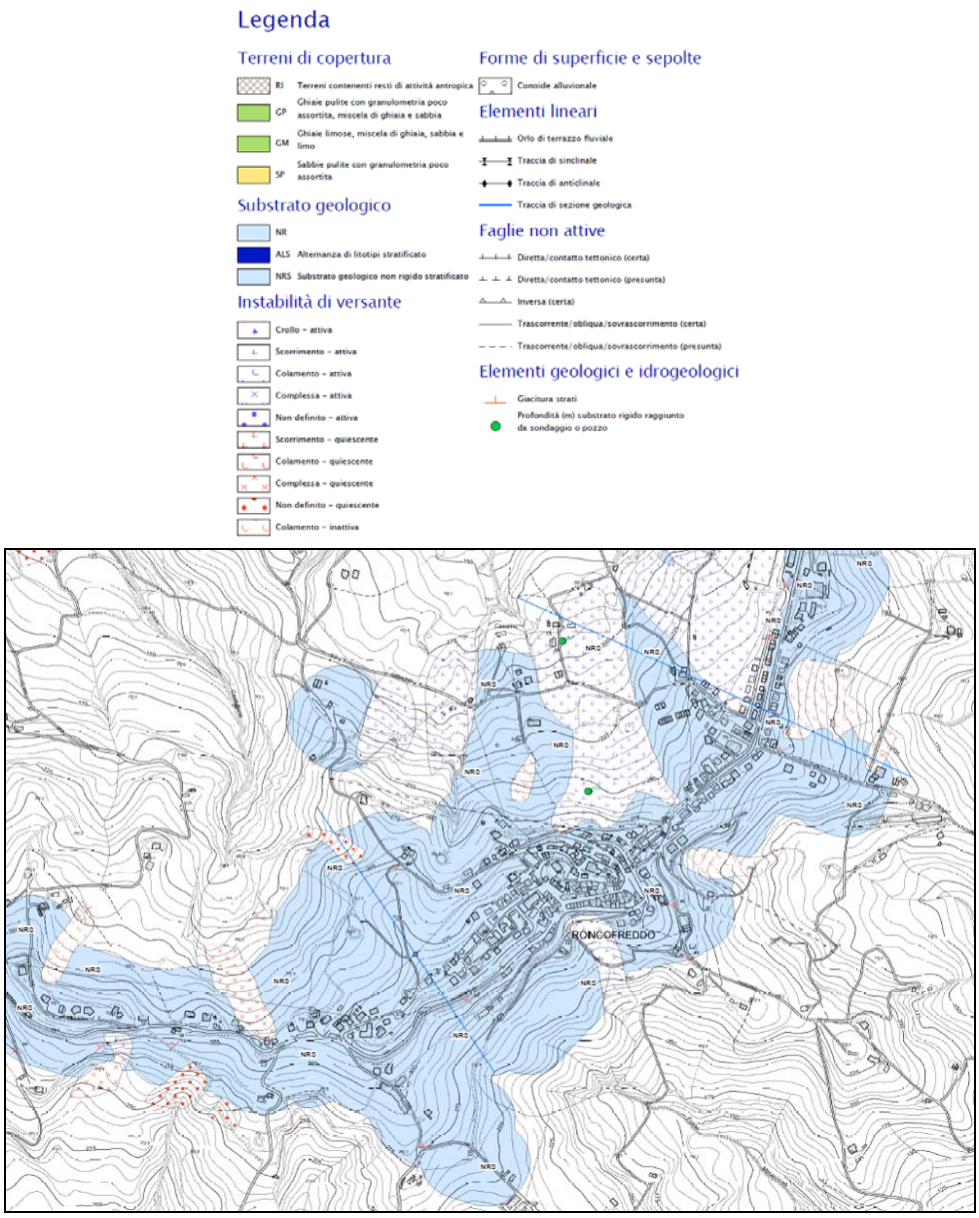


Figura 17: Legenda ed estratto della Carta Geologico- tecnica

Le sezioni tracciate riportate in tale cartografia sono alla scala 1:2.500.

9.3 Carta delle frequenze

Di seguito si riportano i risultati delle analisi HVSR delle registrazioni di rumore sismico ambientale.

Per ciascun sito di misura identificato dalla denominazione HVSR e da un numero progressivo, si riportano i valori delle frequenze di risonanza associate a picchi significativi della curva HVSR.

Con la denominazione F_0 (frequenza di risonanza fondamentale) sono state identificate le frequenze associate al picco principale della curva HVSR.

Nel caso in cui la curva HVSR abbia evidenziato un ulteriore picco significativo, questa frequenza di risonanza è stata identificata con la denominazione F_1.

Per ciascuna prova tromografica, si riporta la frequenza di risonanza F_0 con relativa ampiezza del picco della curva HVSR e, quando presente, la frequenza di risonanza F_1.

Misura HVSR	F0 (Hz)	Ampiezza	F1 (Hz)
40037P005	9,50	<3	
40037P006	9,50	>3	
40037P007	6,25	>3	1,7
40037P008	2,10	<3	
40037P009	assente		
40037P010	3,38	<3	
40037P011	5,16	>3	
40037P012	13,75	>3	2,0
40037P013	1,81	<3	
40037P014	12,94	>3	
40037P015	2,20	<3	
40037P016	3,56	<3	
40037P017	2,25	>3	
40037P018	8,00	>3	2,2
40037P019	assente		
40037P020	3,50	>3	
40037P021	4,50	>3	
40037P022	2,50	>3	1,2
40037P023	18,13	>3	

40037P036	assente		
40037P037	5,90	>3	
40037P038	assente		
40037P039	4,84	>3	
40037P040	assente		

I risultati delle prove HVSR basate su registrazioni del rumore di fondo vengono sintetizzati nella Carta delle Frequenze. Questo elaborato, così come tutti gli altri, vengono presentati sia in formato pdf che in formato vettoriale (shapefile).

Nella Carta delle Frequenze, redatta alla scala 1:10.000, sono stati riportati tutti i punti di misura con una simbologia tale da evidenziare i diversi valori delle frequenze di risonanza, espressa in Hz, e le relative ampiezze dei picchi.

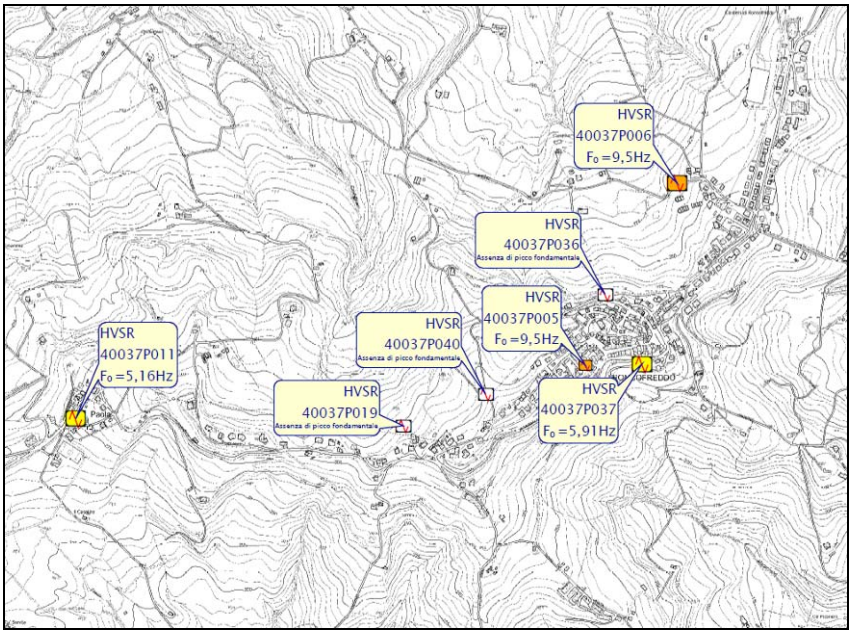


Figura 18 – Estratto e legenda della Carta delle frequenze

I differenti colori indicano l'intervallo di frequenza in cui ricade il punto di misura; la dimensione del simbolo indica l'ampiezza del picco. Nel caso in cui sia presente una seconda frequenza di risonanza oltre al valore di F_0, è stato riportato anche il valore di F_1.

9.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Questa cartografia rappresenta il documento fondamentale del livello 1 di microzonazione. In tale elaborato, redatto alla scala 1:5.000, sono individuate le aree omogenee dal punto di vista sismico e per le quali dovranno essere effettuate le indagini in applicazione al II° livello di microzonazione. Nell'intero territorio comunale sono presenti delle "zone stabili", delle "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" e delle "zone suscettibili di instabilità".

Tutte le aree sono evidenziate nella successiva legenda

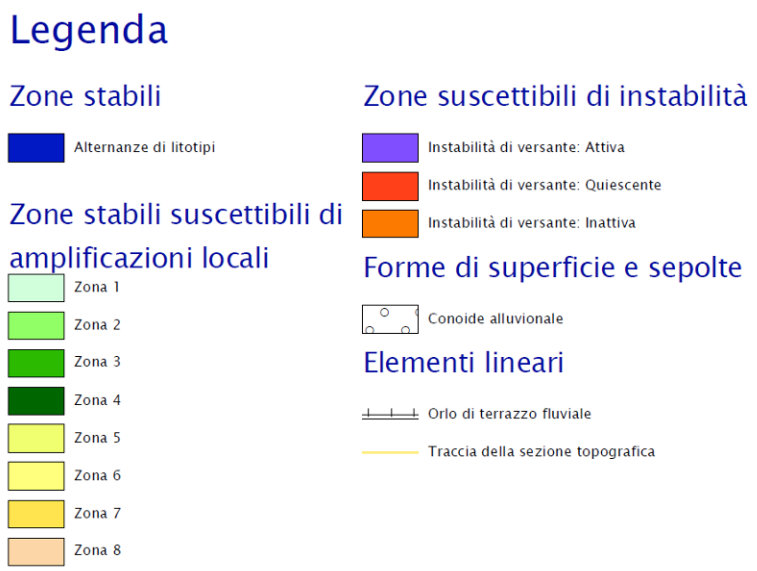
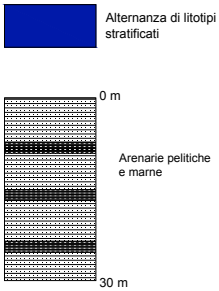


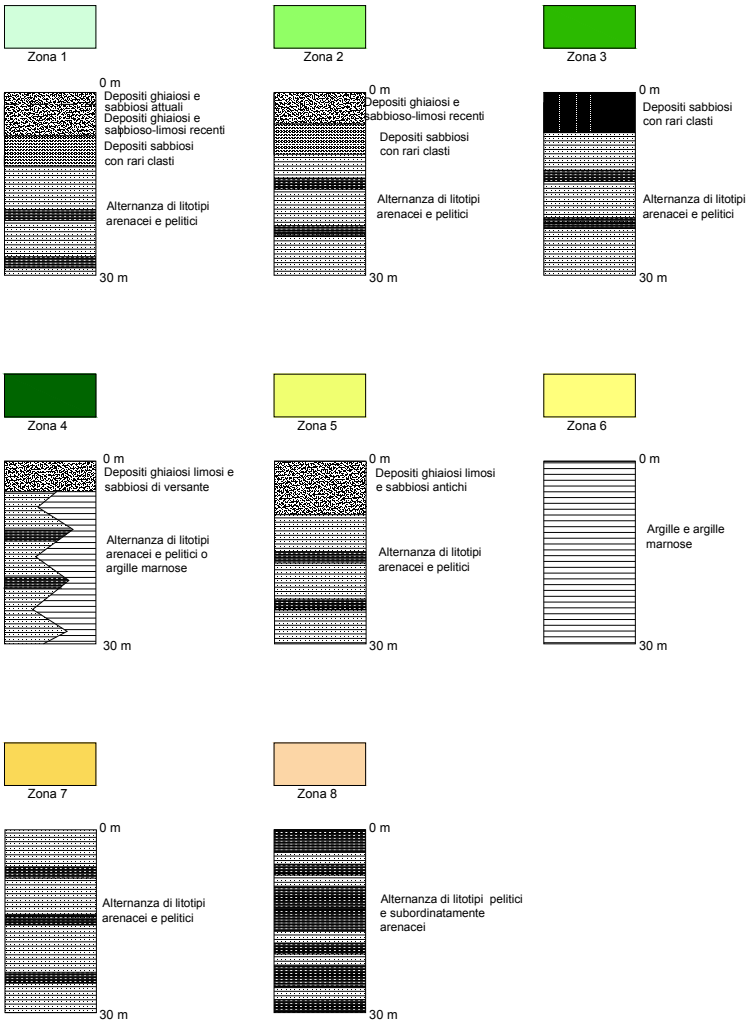
Figura 19 – Legenda della Carta MOPS

Ognuna della aree in cui è stato suddiviso il territorio e riportate nella soprastante legenda fanno riferimento ad una successione stratigrafica tipo che viene riportata di seguito.

ZONE STABILI



ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



Le zone stabili sono relativamente presenti anche se prevalgono leggermente le zone stabili suscettibili ad amplificazione; le diverse zone suscettibili di instabilità sono riconducibili a frane attive ed a frane quiescenti talvolta anche di notevoli dimensioni.

Tra le zone stabili suscettibili di amplificazione locale la zona 7 è di gran lunga la più presente nelle varie zone cartografate. In particolare nelle aree di fondovalle è presente in maniera considerevole anche la zona stabile suscettibile di amplificazione locale 2.

9.5 Carta della velocità delle onde di taglio S (Vs)

L'esecuzione della nuova campagna di indagini consistenti in 6 prove sismiche MASW, 6 misure HVSR, insieme alle altre indagini sismiche esistenti hanno permesso, per le verticali indagate, la ricostruzione della velocità delle onde S (Vs) con il variare della profondità.

Le curve HVSR caratterizzate da picchi chiari e netti sono stati utilizzate ai fini della definizione del profilo di Vs, attraverso il processo di inversione implementato nel software GRILLA, esclusivamente nelle aree del territorio comunale non coperte da altre indagini sismiche.

In appendice sono riportati i risultati delle prove MASW e delle misure HVSR utilizzate ai fini della definizione del profilo verticale di Vs.

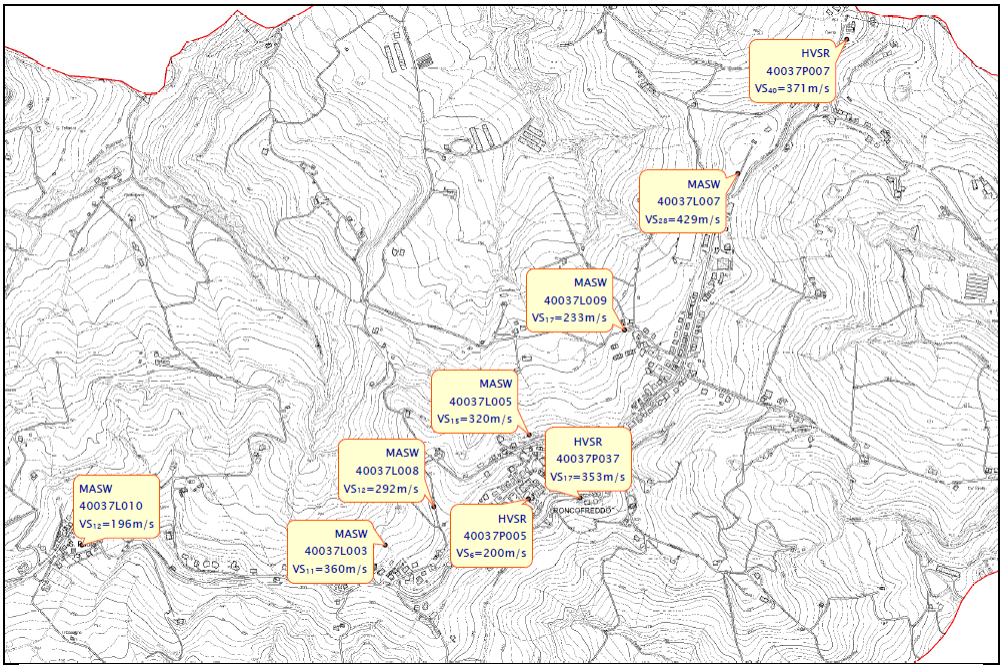
Non essendo la Carta delle velocità delle onde di taglio (Vs) prevista nelle specifiche redatte dalla Protezione Civile, si è cercato di creare una struttura del database che fosse omogenea con gli standard nazionali.

Nella Carta della velocità delle onde S viene riportata, per ogni prova sismica il valore del Vs_{30} nel caso in cui non ci siano contrasti di impedenza significativi (substrato profondo) o il valore di Vs_H dove H è lo spessore della copertura posta al di sopra del substrato.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i risultati delle prove sismiche,

espressi in termini di Vs_{30} o di Vs_H .

Indagine	Tipologia indagine	Vs
40037L003MASW03	masw	Vs_{11} = 360
40037L004MASW04	masw	Vs_{19} = 167
40037L005MASW05	masw	Vs_{15} = 320
40037L006MASW06	masw	Vs_{19} = 378
40037L007MASW07	masw	Vs_{28} = 429
40037L008MASW08	masw	Vs_{12} = 292
40037L009MASW09	masw	Vs_{17} = 233
40037L010MASW10	masw	Vs_{12} = 196
40037L011MASW11	masw	Vs_{40} = 553
40037P037HVSR38	HVSR	Vs_{17} = 353
40037P039HVSR40	HVSR	Vs_{25} = 341
40037P005HVSR05	HVSR	Vs_6 = 200
40037P007HVSR07	HVSR	Vs_{40} = 371
40037P008HVSR08	HVSR	Vs_{20} = 300
40037P009HVSR09	HVSR	Vs_{20} = 435
40037P012HVSR12	HVSR	Vs_{33} = 319
40037P013HVSR13	HVSR	Vs_{40} = 430
40037P014HVSR14	HVSR	Vs_{17} = 313
40037P016HVSR16	HVSR	Vs_{40} = 422
40037P017HVSR17	HVSR	Vs_{28} = 279



Legenda

- Punto di misura delle VS con indicazione del tipo di indagine, del codice identificativo e del valore della velocità riferito alla profondità del substrato

Figura 20 – Estratto e legenda della Carta della velocità delle onde di taglio S

10 - DETERMINAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA

Il calcolo dell'amplificazione sismica ed in particolare dei fattori di amplificazione, sono stati effettuati secondo quanto stabilito nell'Atto di Indirizzo e Coordinamento Tecnico n. 112/2007, ovvero utilizzando le metodologie concordate dal servizio preposto dalla Regione Emilia Romagna.

Per la determinazione dei fattori di amplificazione sono state utilizzate le tabelle dell'allegato A2 contenute nell'atto sopra citato, facendo riferimento ai valori riferiti all'ambito "APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO" di seguito riportate.

Appennino e Margine Appenninico – Padano

In caso di substrato caratterizzato da Vs < 800 m/s

F.A. P.G.A.

Vs_H / H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.6	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
15	2.0	2.0	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0
20	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	1.9	2.0	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.0
30	1.8	1.9	1.9	1.9	1.7	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0
35	1.7	1.8	1.9	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.0
40	1.6	1.8	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.1s < To < 0.5s

Vs_H / H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	2.1	2.0	1.7	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
20	2.3	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
25	2.2	2.4	2.2	2.0	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
30	2.1	2.3	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0
35	1.9	2.1	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.5s < To < 1.0s

Vs_H / H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
25	2.1	2.1	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
30	2.4	2.3	1.9	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
35	2.5	2.4	2.3	1.8	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
40	2.7	2.6	2.6	2.0	1.6	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0

In caso di substrato affiorante caratterizzato da Vs < 800 m/s

F.A. P.G.A.

Vs_H / H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0
10	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.5	2.2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.3	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
35	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
40	1.7	1.9	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.1s < To < 0.5s

Vs_H / H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.6	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	2.2	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.3	1.1	1.0
35	2.0	2.2	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.5s < To < 1.0s

Vs_H / H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0
15	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0
20	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0
25	2.4	2.4	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0
30	2.8	2.8	2.4	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.0
35	3.0	2.9	2.7	2.1	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3	1.0
40	3.1	3.0	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.0

F.A. P.G.A.

Vs_{30}	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.1s < To < 0.5s

Vs_{30}	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.5s < To < 1.0s

Vs_{30}	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0

Per le varie prove sismiche, conoscendo la stratigrafia puntuale, è stato scelto caso per caso il valore di Vs_H o di Vs_{30}. Utilizzando le tabelle relative all'ambito individuato è possibile trovare il valore del fattore di amplificazione, al variare della Vs che può essere relativa ad un preciso spessore H (Vs_H) o ai primi 30 metri di profondità (Vs_{30}).

11 - CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO (FATTORE DI AMPLIFICAZIONE)

L'elaborato conclusivo dello studio di microzonazione sismica di II° livello del comune di Roncofreddo, è costituito dalla realizzazione delle carte dei *fattori di amplificazione* espressi sia in termini di P.G.A. sia in termini di Intensità di Housner.

La definizione dei fattori di amplificazione sismica è stata eseguita mediante l'applicazione delle tabelle in funzione dei valori di Vs_H e Vs_{30} ottenuti elaborando i dati delle prove sismiche (MASW, HVSR). Questi fattori sono stati espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia in termini di Intensità di spettrale per intervalli di tempo compresi tra $0.1s<T_0<0.5s$ e $0.5s<T_0<1.0s$.

Il risultato finale è costituito pertanto nella produzione di tre carte di microzonazione, dove tramite campitura in colori diversi, è stato attribuita a ciascuna porzione di territorio comunale urbanizzato ed urbanizzabile il valore del fattore di amplificazione locale.

L'attribuzione dei fattori di amplificazione è stato effettuato sulla base delle microzone omogenee in prospettiva sismica individuate nel primo livello di approfondimento, attraverso i valori derivati dalle indagini puntuali. Sono stati valutati statisticamente i valori di FA per le diverse zone omogenee, preferendo per l'attribuzione il criterio della distanza rispetto a quello della media del valore; nei casi in cui non si aveva uno specifico valore per una certa area, l'attribuzione è stata determinata in riferimento alla corrispondente zona omogenea ed in particolare riferendosi alle zone con caratteristiche di successione stratigrafica e di dimensione simili a quella in esame.

Nella successiva tabella sono riportati i fattori di amplificazione, in coincidenza delle varie prove, per la PGA e per i due intervalli di intensità spettrale (0,1s < To < 0,5s) e (0,5s < To < 1,0s).

Indagine	PGA	0,1 < To < 0,5	0,5 < To < 1,0
40037L003MASW03	1,6	1,6	1,4
40037L004MASW04	2,3	2,6	2,1
40037L005MASW05	1,9	1,9	1,5
40037L006MASW06	1,7	1,7	1,4
40037L007MASW07	1,6	1,7	1,5
40037L008MASW08	1,8	1,7	1,4
40037L009MASW09	2,2	2,2	1,7
40037L010MASW10	2,3	2,2	1,6
40037L011MASW11	1,0	1,0	1,0
40037P037HVSR38	1,8	1,7	1,4
40037P039HVSR40	1,9	2,0	1,2
40037P005HVSR05	2,0	1,7	1,4
40037P007HVSR07	1,8	2,3	2,3
40037P008HVSR08	2,1	2,2	1,7
40037P009HVSR09	1,6	1,5	1,4
40037P012HVSR12	1,0	1,0	1,0
40037P013HVSR13	1,0	1,0	1,0
40037P014HVSR14	1,0	1,0	1,0
40037P016HVSR16	1,0	1,0	1,0
40037P017HVSR17	2,0	2,3	2,4

L'elaborazione di tali valori ha permesso la redazione delle carte tematiche nelle quali si evidenzia il fattore di amplificazione a cui è soggetta una determinata porzione di territorio. Nel caso specifico, di seguito, viene riportata la legenda utilizzata nella carta di microzonazione sismica Livello 2 (Fa_{PGA}) (fig. 21).

Legenda

Zone stabili

Zone stabili (Fa_{PGA}=1,0)

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Fa_{PGA})

1,1 - 1,2
1,3 - 1,4
1,5 - 1,6
1,7 - 1,8
1,9 - 2,0
2,1 - 2,2
2,3 - 2,4

Zone suscettibili di instabilità

Instabilità di versante e relativo valore di amplificazione locale
Zone suscettibili ad amplificazione topografica con relativo fattore St
Indagine di sito con relativo fattore di amplificazione derivato

Figura 21: Estratto e Legenda della Carta del fattore di amplificazione PGA

12 - TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

12.1 Introduzione ed inquadramento area

Secondo le normative vigenti ed in riferimento agli “Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica”, gli approfondimenti di terzo livello riguardano le zone soggette ad un carico urbanistico e che sono state identificate nel livello precedente come “zone suscettibili di instabilità”. Nel caso specifico del comune in esame, interessano particolarmente le aree instabili o potenzialmente instabili.

Per l’approfondimento del terzo livello, in accordo con l’Amministrazione comunale, è stata scelta in’area ubicata in prossimità della frazione di Gualdo.

Tale area, così come evidenziato nella figura sottostante, coincide con una frana quiescente che partendo dai rilievi adiacenti arriva a delimitare l’abitato di Gualdo.

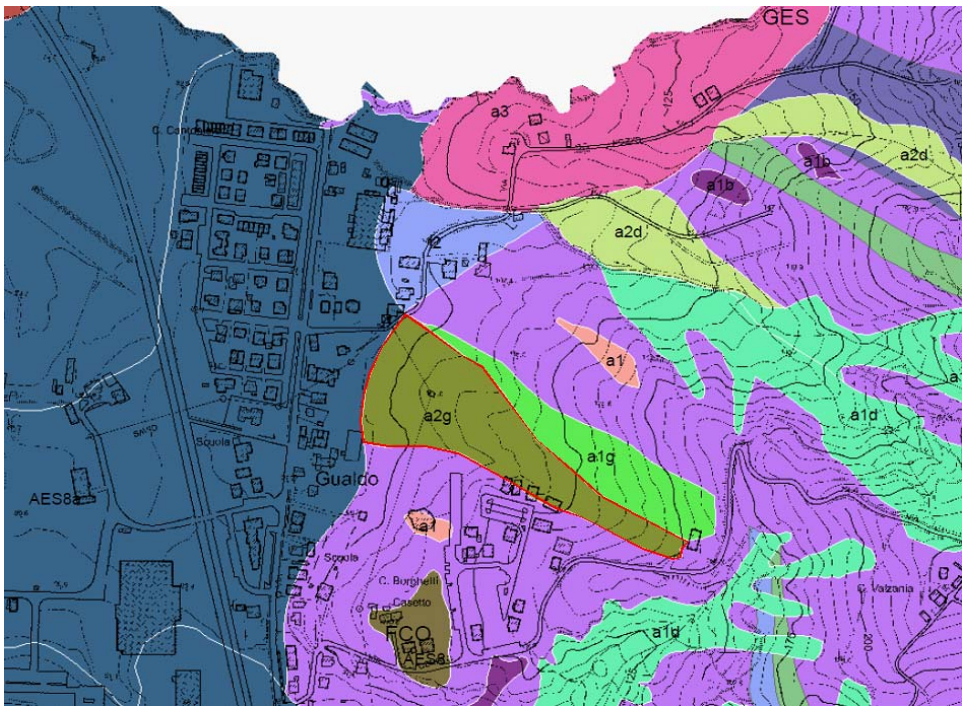


Figura 22: Estratto della Carta Geologica Regione Emilia Romagna

12.2 Indagini integrative per il III° livello

Per poter eseguire gli approfondimenti richiesti, oltre alle indagini raccolte ed a quelle eseguite nell'ambito dei precedenti livelli, sono state eseguite delle ulteriori indagini.

In particolare è stato eseguito un profilo sismico di 240 m (P7 Roncofreddo), ubicato sulla frana e coprendone la quasi totalità dell'estensione, una prova MASW ed una misura HVSR eseguita al centro del profilo sismico.

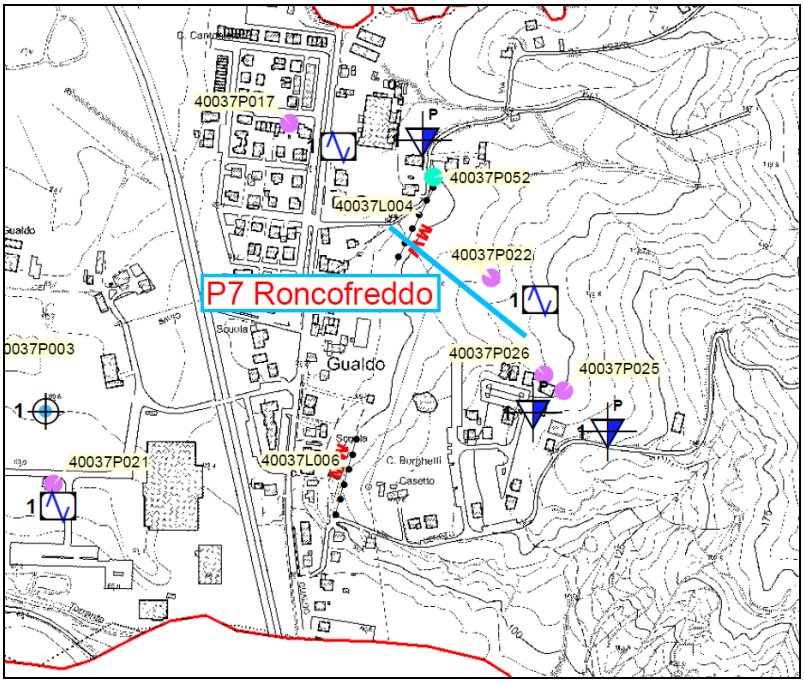


Figura 23: Estratto della Carta delle indagini comprensiva delle indagini integrative per il III° livello

Le prove sismiche integrative abbinate alle prove penetrometriche esistenti, alle prove MASW ed alle misure HVSR eseguite nell'ambito dei precedenti livelli, hanno permesso di evidenziare meglio le caratteristiche della frana quiescente. E' stato perciò individuato un passaggio tra la parte potenzialmente instabile ed i livelli sottostanti stabili posto ad una profondità tra i 4 ed i 6 metri, come risulta evidente dal profilo sotto riportato.

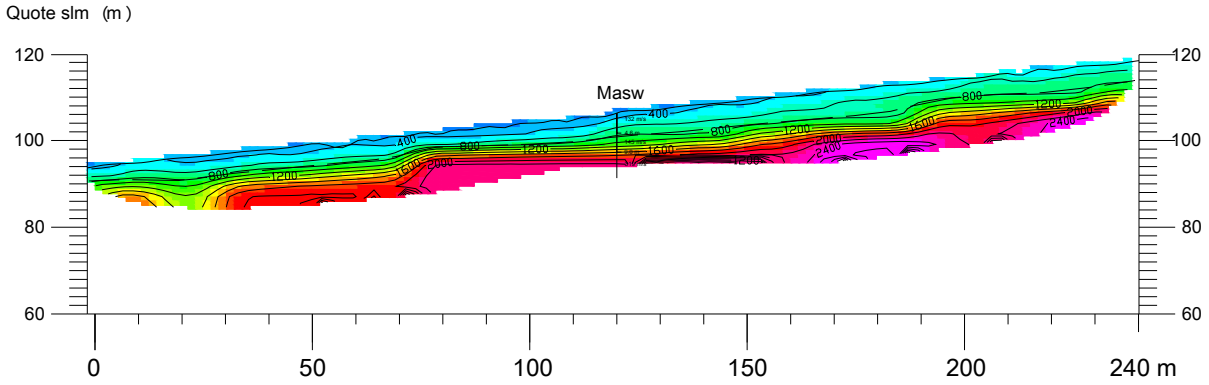


Figura 24: Profilo sismico (P7 Roncofreddo) eseguito presso la località Gualdo

12.3 Dati di base

In riferimento alla Delibera dell'Assemblea Leg. dell'Emilia Romagna n°112 ed ogg. n°3121 del 2 maggio 2007, con attenzione all'allegato A4, l'analisi di risposta sismica locale di terzo livello e' stata svolta impiegando:

- il valore di $\mathbf{a_{refg}}$ assegnato al Comune di Roncofreddo dalla Regione Emilia Romagna pari a 0.189 g;
- lo spettro di risposta al bedrock normalizzato per un periodo di ritorno di anni 475 (con smorzamento del 5%) per l'Emilia Romagna (fig.25) e lo spettro di risposta a probabilità uniforme per il Comune di Roncofreddo (fig.26);
- i fattori di amplificazione sismica relativi al caso di Appennino e margine appenninico padano con un substrato caratterizzato da Vs < 800 m/sec con VsH pari a 200 m/sec ed un valore H pari a m 10;
- i n.3 accelerogrammi di riferimento, assegnati al Comune di Roncofreddo dagli atti di indirizzo della Regione Emilia Romagna.

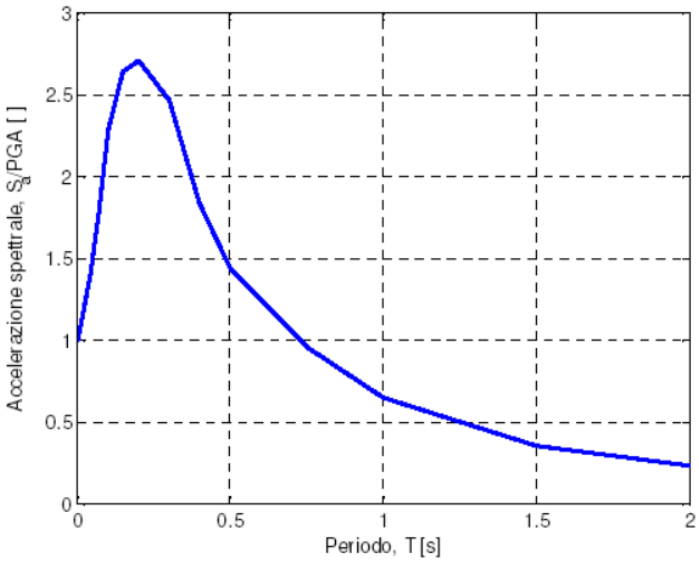


Fig.25 Spettro di risposta normalizzato (Tr = 475 anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia Romagna

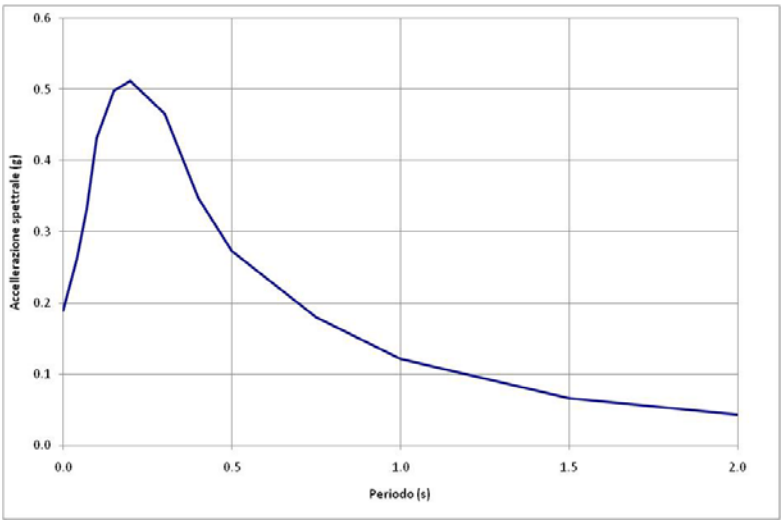


Fig.26 Spettro di risposta a probabilità uniforme (Tr = 475 anni, smorzamento = 5%) per il Comune di Roncofreddo

In riferimento all'allegato A2 della Delibera n°112, la valutazione dei fattori di amplificazione sismica a livello II di approfondimento risulta definito dallo scenario previsto per “APPENNINO e MARGINE APPENNINICO-PADANO”,

nel caso di substrato marino caratterizzato da una Vs minore di 800 m/sec ed indicato dalle seguenti tabelle:

F.A. P.G.A.

Vs_H / H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0
10	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.5	2.2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.3	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
35	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
40	1.7	1.9	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.1s < To < 0.5s

Vs_H / H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.6	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	2.2	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.3	1.1	1.0
35	2.0	2.2	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.5s < To < 1.0s

Vs_H / H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0
15	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0
20	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0
25	2.4	2.4	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0
30	2.8	2.8	2.4	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.0
35	3.0	2.9	2.7	2.1	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3	1.0
40	3.1	3.0	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.0

dove nel caso in esame ricorre la condizione Vs_H = 200 m/sec ed H media = m 10.

I fattori di amplificazione del caso sono pertanto indicati, nella fase di primo approfondimento della risposta sismica di sito, in

FA (PGA) = 2.3

FA IS (0.1-0.5 sec)= 2.2

FA IS (0.5-1.0 sec)= 1.6

Per quanto attiene l'analisi di livello superiore, l'analisi di risposta sismica locale è stata eseguita tramite modellazioni numeriche che simulano il processo di propagazione delle onde sismiche attraverso il substrato ed i depositi superficiali.
L'analisi adottata è del tipo lineare equivalente ed è stata eseguita con il codice di calcolo Shake 91, tramite il software EERA (Equivalent-linear Earthquake Response Analysis), nel quale la procedura iterativa impiegata simula il comportamento non lineare del terreno.
Il codice calcola la risposta di un terreno stratificato composto da strati piano paralleli sovrapposti ad un semispazio uniforme.

Il comportamento dinamico dei terreni del modello geofisico di riferimento viene descritto dalla relazione sforzi / deformazioni di tipo isteretico in un modello lineare equivalente espresso dalla coppia di parametri modulo di taglio (Shear Modulus) e smorzamento (Damping Ratio) espressa in funzione dello stato tensionale del suolo.
Nel caso in esame la stratigrafia di riferimento è composta dalle differenti litologie delle "Formazione a Colombacci", e distinte nelle seguenti litofacies:
a) materiale in frana costituito da argille limose con spessore mediamente pari a 5 metri
b) porzione sismicamente allentata della formazione a Colombacci ovvero Argille marnose fino a profondità di 10-11 metri
c) Formazione a Colombacci: argille marnose con intercalazioni marnose e conglomeratico-arenacee

Dal punto di vista litotecnico, nella profondità' di interesse per la Microzonazione Sismica, il comportamento dinamico del terreno è stato descritto tramite le seguenti curve di degrado/smorzamento reperite all'interno del Progetto VEL e corrispondenti a litologie analoghe a quelle analizzate.

ISMES GEOTECNICA

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 5377400 - fax 035 5377401 -
Email: ismesgeo@tin.it

PROVA DI COLONNA RISONANTE
Foglio 1

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/11/06	Angeloni	Floravante

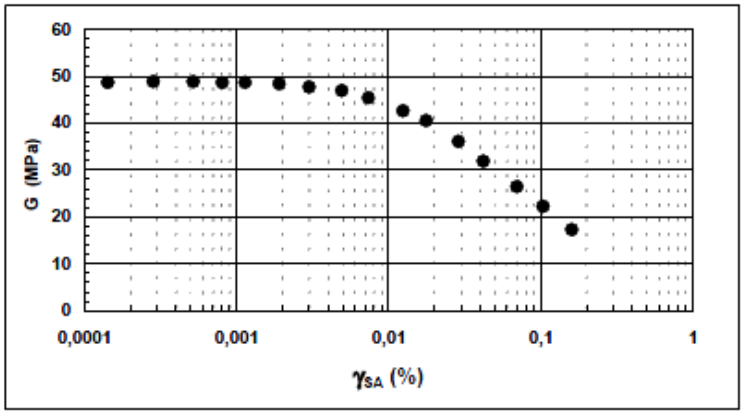
Normativa di riferimento: ASTM D4015/95
N° certificato di prova: 116/06/A/40
N° verbale di accettazione: 116/2006

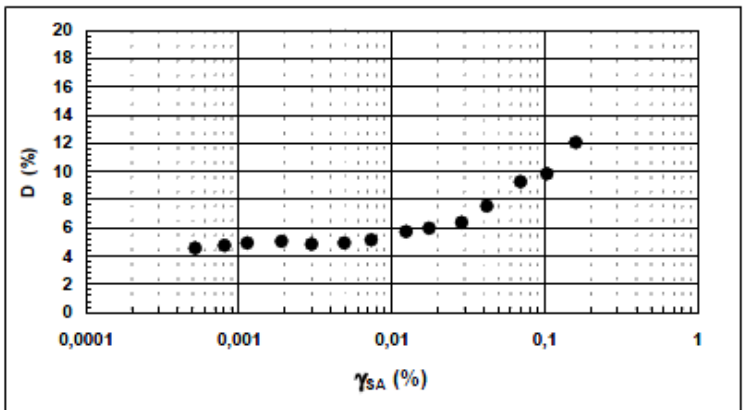
Committente:	REGIONE TOSCANA
Cantiere:	PRATOVECCHIO
Sondaggio:	S4
Campione:	SH1
Profondità prova [m]:	3.46 - 3.56
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	17/11/06

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova									
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e
mm	mm	kN/m³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m³	%	-
50,00	98,60	19,64	26,7	0,708	70,0	70,0	1,0	300,0	0,53	50,0	98,6	19,74	27,3	0,708

Informazioni generali	
tipo di provino	INDISTURBATO
metodo di preparazione	FUSTELLAZIONE
superfice di appoggio	PIETRA POROSA
eccitazione	TORSIONALE





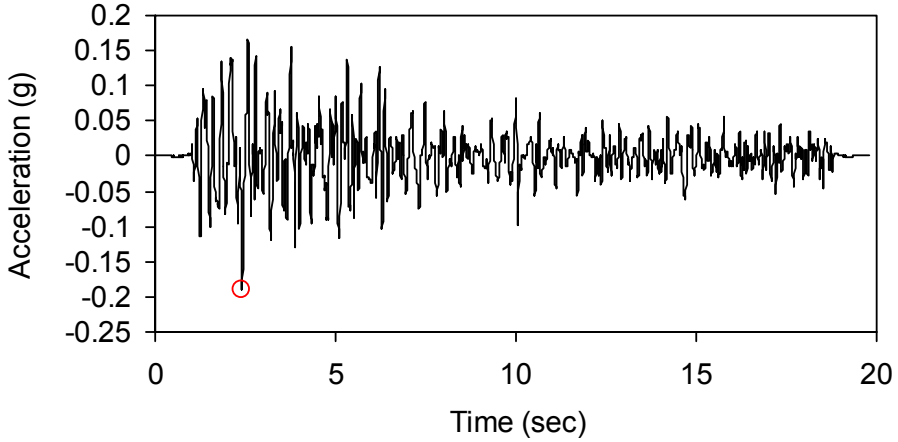
Legenda:
Φ = diametro del provino
H = altezza del provino
γ_w = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
e = indice dei vuoti
σ' = tensioni efficaci
K = σ_r / σ_a
B.P. = back pressure
B = coefficiente di Skempton
G = Modulo di taglio
γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza
D = Rapporto di smorzamento di taglio
Subscritto 'a' = assiale
Subscritto 'r' = radiale

Figura 27: Curve di degrado e smorzamento disponibili da Progetto VEL. Sondaggio S4 Comune di Pratovecchio. Campione costituito da argilla limosa con abbondanti elementi poligenici di arenaria

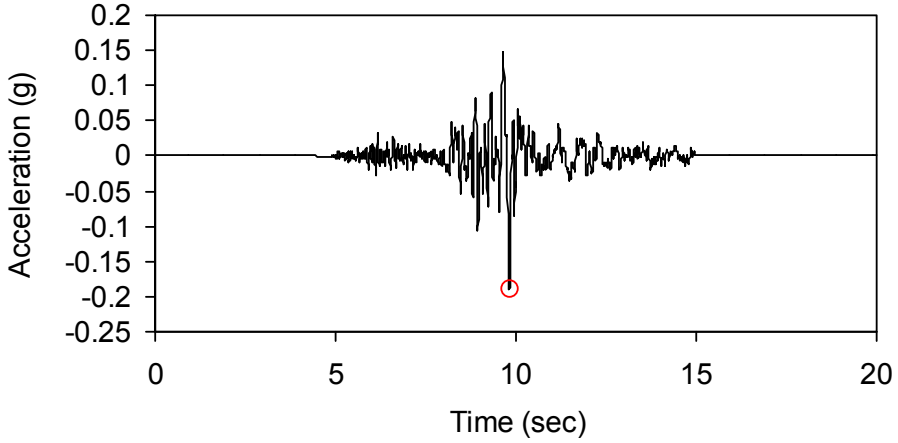
Il moto di input, che viene assegnato al tetto del semispazio che rappresenta il substrato di riferimento, e' rappresentato da onde S incidenti verticalmente, ed e' applicato alla profondità' alla quale, in relazione al gradiente di velocità' del locale substrato, si raggiunge il valore di velocità' delle onde S di 800 m/sec.

Di seguito si riportano i segnali di riferimento per il comune di Roncofreddo ovvero i 3 accelerogrammi selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database " attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD. I segnali di riferimento vengono forniti dalla Regione Emilia Romagna, già scalati per il comune di riferimento, all'indirizzo http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/gli-indirizzi-per-gli-studi-di-microzonazione-sismica-in-emilia-romagna-per-la-pianificazione-territoriale-e-urbanistica.

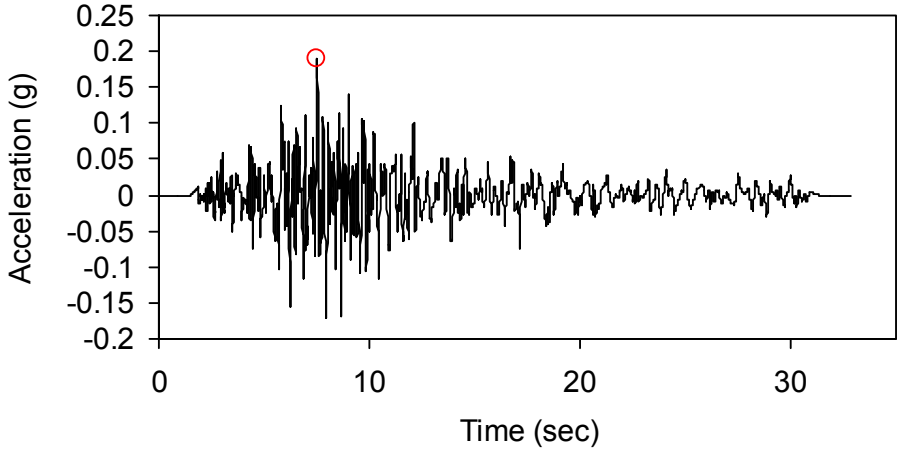
000046xa_040037Roncofreddo



000126xa_040037Roncofreddo



000354xa_040037Roncofreddo



12.4 Analisi di risposta sismica locale

L'analisi di risposta sismica locale, intesa a definire il fattore di amplificazione relativo all'area in esame ed accertare eventuali condizioni di criticità', e' stata condotta mediante l'impiego del codice Shake-91, applicando alla profondità' alla quale il bedrock sismico raggiunge il valore di velocità' delle onde S di 800 m/sec, il moto di riferimento rappresentato dai 3 accelerogrammi assegnati al Comune di Roncofreddo.

Il modello sismo-stratigrafico di riferimento per la verifica della risposta sismica locale, derivato dalle indagini eseguite e coerenti tra loro, risulta definito come segue:

Fundamental period (s) = 0.28
Average shear wave velocity (m/sec) = 339.47
Total number of sublayers = 8

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	4		5.0	31.08		17.50	*132*			2.5	43.75
	2	4		6.0	53.03		18.00	*170*			8.0	141.50
	3	4		2.5	191.90		18.50	*319*			12.3	218.63
	4	4		2.5	301.73		18.50	*400*			14.8	264.88
	5	4		2.5	484.20		19.00	*500*			17.3	311.75
	6	4		2.5	697.25		19.00	*600*			19.8	359.25
	7	4		2.5	974.01		19.50	*700*			22.3	407.38
Bedrock	8	3			1304.79		20.00	*800*	Outcrop		23.5	431.75

Lo spettro di risposta al sito e' stato confrontato con quello derivato dal II° livello di approfondimento, al fine di analizzare le differenze tra la risposta di un modello semplificato con quello di dettaglio indicato per il sito in esame.

Lo sforzo e la deformazione degli strati, restituita dalla funzione di trasferimento per ogni layer e sublayer in cui e' stato discretizzato il sottosuolo dalla quota dell'input del moto sismico alla superficie, e' stata analizzata alla quota del piano campagna, e rapportata a quella di un modello con substrato affiorante con Vs = 800 m/sec, al fine di definire il fattore di amplificazione determinato dalla particolare successione stratigrafica del sottosuolo dell'area di studio.
Lo spettro di risposta sismica locale medio è stato determinato quale valore medio di quelli calcolati in riferimento a ciascuno degli accelerogrammi assegnati al Comune, e raffrontato a quello relativo al medesimo scenario di sito proposto con l'analisi di secondo livello.

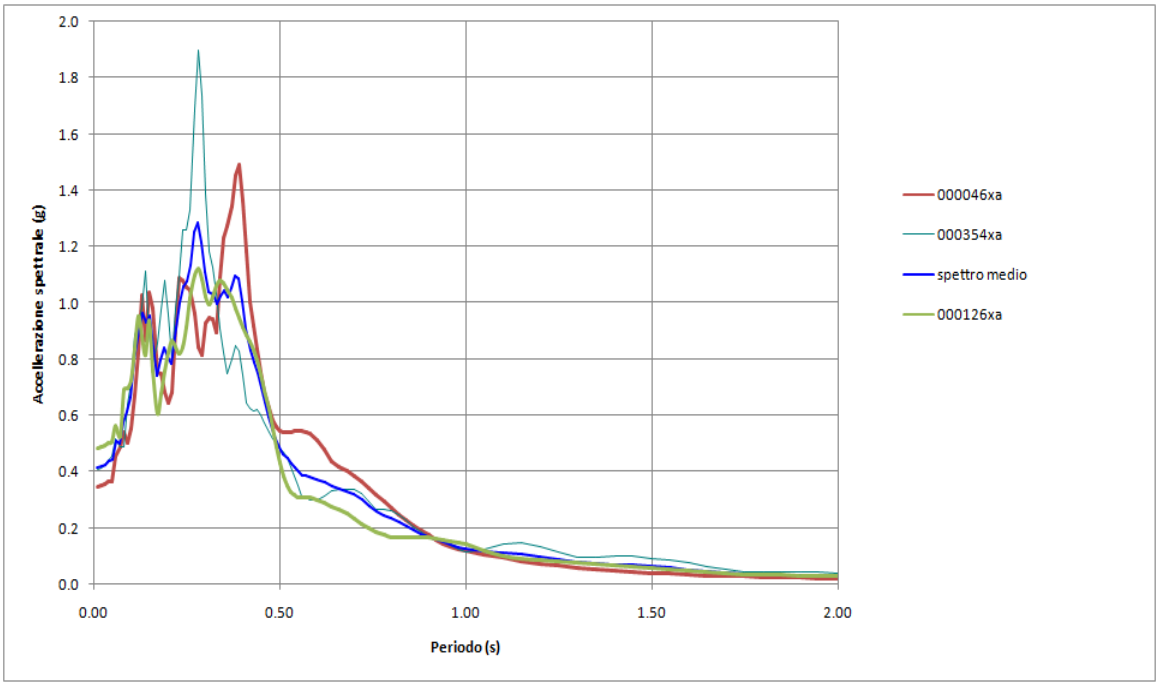


Figura 28 Spettri di risposta sismica locale in accelerazione relativi ai 3 accelerogrammi di input del Comune di Roncofreddo (000046xa, 000354xa,000126xa) e spettro di risposta sismica in accelerazione medio

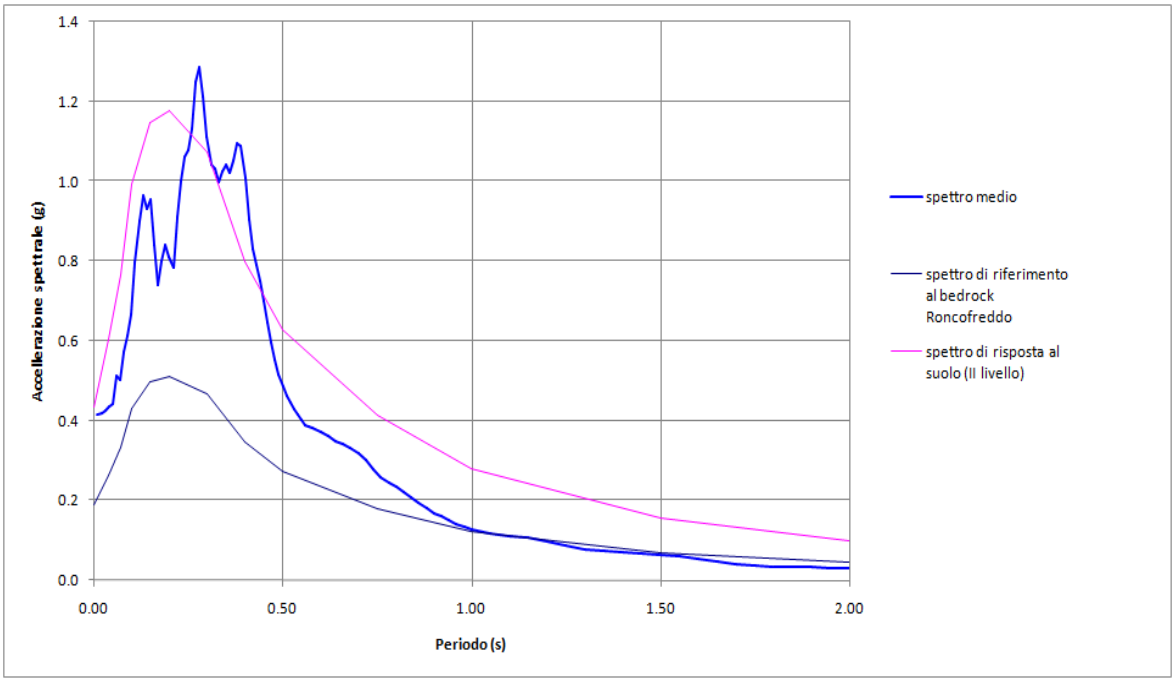


Figura 29 Spettro di risposta sismica in accelerazione medio derivato dall' analisi di risposta sismica locale, spettro di riferimento al Bedrock per il Comune di Roncofreddo e spettro di risposta al suolo derivato dal secondo livello di approfondimento

L'analisi determina un valore di ag_{max} di **1.287 g** al periodo di 0.28 sec, localmente più' elevato del massimo relativo allo scenario di analisi di secondo livello, ed un valore al suolo per T=0 sec di ag_0 di **0.414 g**.
Lo spettro di risposta del moto atteso al piano campagna, mediato su quelli derivati da ciascuno dei n.3 accelerogrammi di input, costituisce lo spettro di riferimento derivato dall' analisi di risposta locale, che rapportato allo spettro determinato nelle medesime condizioni di sollecitazione dinamica per un substrato affiorante con Vs = 800 m/sec, consente di indicare, nei rapporti caratteristici, i fattori di amplificazione al sito.
In particolare si tabellano i rapporti caratteristici di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0) al p.c., e di Intensità' spettrale di Housner (SI/SI0), negli intervalli di periodo di sec 0.1-0.5 e sec 0.5-1.0.

Rapporto di Intensità spettrale di Housner - 0,1-0,5s			
accelerogramma	**SI suolo (*dT)**	**SI roccia (*dT)**	**SI/SI0**
000046xa	1773.67	737.56	2.40
000126xa	1580.61	624.82	2.53
000354xa	1670.59	730.76	2.29
		media	**2.41**
Rapporto di Intensità spettrale di Housner - 0,5-1s			
accelerogramma	**SI suolo (*dT)**	**SI roccia (*dT)**	**SI/SI0**
000046xa	1339.94	686.44	1.95
000126xa	973.84	470.32	2.07
000354xa	1031.87	665.41	1.55
		media	**1.86**
Rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0)			
accelerogramma	**Amax suolo**	**Amax0**	**Amax/Amax0**
000046xa	0.347	0.189	1.84
000126xa	0.447	0.189	2.37
000354xa	0.410	0.189	2.17
		media	**2.12**

Di seguito si riportano i valori tabellari degli Spettri di risposta sismica locale in accelerazione relativi ai 3 accelerogrammi di input del Comune di Roncofreddo (000046xa, 000354xa,000126xa) e dello spettro di risposta sismica in accelerazione medio.

000046xa		000126xa		000354xa		SPETTRO MEDIO	
Period (sec)	Absolute Acceleration (g)	Period (sec)	Absolute Acceleration (g)	Period (sec)	Absolute Acceleration (g)	Period (sec)	Absolute Acceleration (g)
0.0100	0.3469	0.0100	0.4846	0.0100	0.4100	0.0100	0.4139
0.0200	0.3507	0.0200	0.4871	0.0200	0.4144	0.0200	0.4174
0.0300	0.3575	0.0300	0.4915	0.0300	0.4229	0.0300	0.4240
0.0400	0.3674	0.0400	0.5019	0.0400	0.4408	0.0400	0.4367
0.0500	0.3657	0.0500	0.5058	0.0500	0.4536	0.0500	0.4417
0.0600	0.4552	0.0600	0.5624	0.0600	0.5160	0.0600	0.5112
0.0700	0.4906	0.0700	0.5257	0.0700	0.4893	0.0700	0.5019
0.0800	0.5409	0.0800	0.6919	0.0800	0.4902	0.0800	0.5743
0.0900	0.5038	0.0900	0.6952	0.0900	0.6376	0.0900	0.6122
0.1000	0.5528	0.1000	0.7247	0.1000	0.7212	0.1000	0.6662
0.1100	0.6736	0.1100	0.8363	0.1100	0.8861	0.1100	0.7987
0.1200	0.8222	0.1200	0.9528	0.1200	0.9258	0.1200	0.9003
0.1300	1.0279	0.1300	0.8826	0.1300	0.9859	0.1300	0.9654
0.1400	0.8672	0.1400	0.8161	0.1400	1.1112	0.1400	0.9315
0.1500	1.0363	0.1500	0.9389	0.1500	0.8861	0.1500	0.9537
0.1600	0.9784	0.1600	0.7588	0.1600	0.7854	0.1600	0.8409
0.1700	0.7556	0.1700	0.6077	0.1700	0.8594	0.1700	0.7409
0.1800	0.7478	0.1800	0.6758	0.1800	0.9752	0.1800	0.7996
0.1900	0.6845	0.1900	0.7565	0.1900	1.0814	0.1900	0.8408
0.2000	0.6457	0.2000	0.8229	0.2000	0.9580	0.2000	0.8089
0.2100	0.6816	0.2100	0.8648	0.2100	0.7999	0.2100	0.7821
0.2200	0.9091	0.2200	0.8451	0.2200	0.9782	0.2200	0.9108
0.2300	1.0899	0.2300	0.8194	0.2300	1.0943	0.2300	1.0012
0.2400	1.0791	0.2400	0.8439	0.2400	1.2573	0.2400	1.0601
0.2500	1.0574	0.2500	0.9158	0.2500	1.2573	0.2500	1.0768
0.2600	1.0450	0.2600	1.0194	0.2600	1.3314	0.2600	1.1319
0.2700	0.9626	0.2700	1.0994	0.2700	1.6887	0.2700	1.2503
0.2800	0.8415	0.2800	1.1229	0.2800	1.8980	0.2800	1.2875

0.2900	0.8133	0.2900	1.0863	0.2900	1.7394	0.2900	1.2130
0.3000	0.9303	0.3000	1.0217	0.3000	1.3864	0.3000	1.1128
0.3100	0.9453	0.3100	0.9958	0.3100	1.1822	0.3100	1.0411
0.3200	0.9417	0.3200	1.0243	0.3200	1.1269	0.3200	1.0310
0.3300	0.8970	0.3300	1.0624	0.3300	1.0332	0.3300	0.9975
0.3400	1.0902	0.3400	1.0776	0.3400	0.9101	0.3400	1.0260
0.3500	1.2324	0.3500	1.0693	0.3500	0.8242	0.3500	1.0420
0.3600	1.2730	0.3600	1.0473	0.3600	0.7476	0.3600	1.0227
0.3700	1.3425	0.3700	1.0167	0.3700	0.7996	0.3700	1.0529
0.3800	1.4541	0.3800	0.9815	0.3800	0.8489	0.3800	1.0948
0.3900	1.4931	0.3900	0.9467	0.3900	0.8270	0.3900	1.0889
0.4000	1.3632	0.4000	0.9144	0.4000	0.7430	0.4000	1.0069
0.4100	1.1859	0.4100	0.8868	0.4100	0.6438	0.4100	0.9055
0.4200	1.0041	0.4200	0.8603	0.4200	0.6260	0.4200	0.8301
0.4300	0.9196	0.4300	0.8316	0.4300	0.6153	0.4300	0.7889
0.4400	0.8338	0.4400	0.7943	0.4400	0.6225	0.4400	0.7502
0.4500	0.7530	0.4500	0.7455	0.4500	0.6012	0.4500	0.6999
0.4600	0.6823	0.4600	0.6862	0.4600	0.5715	0.4600	0.6467
0.4700	0.6258	0.4700	0.6203	0.4700	0.5395	0.4700	0.5952
0.4800	0.5844	0.4800	0.5532	0.4800	0.5160	0.4800	0.5512
0.4900	0.5576	0.4900	0.4889	0.4900	0.5002	0.4900	0.5156
0.5000	0.5433	0.5000	0.4320	0.5000	0.4851	0.5000	0.4868
0.5100	0.5381	0.5100	0.3856	0.5100	0.4679	0.5100	0.4638
0.5200	0.5385	0.5200	0.3509	0.5200	0.4481	0.5200	0.4459
0.5300	0.5419	0.5300	0.3283	0.5300	0.4160	0.5300	0.4288
0.5400	0.5452	0.5400	0.3158	0.5400	0.3860	0.5400	0.4156
0.5500	0.5469	0.5500	0.3099	0.5500	0.3513	0.5500	0.4027
0.5600	0.5462	0.5600	0.3079	0.5600	0.3127	0.5600	0.3889
0.5700	0.5424	0.5700	0.3070	0.5700	0.3079	0.5700	0.3858
0.5800	0.5355	0.5800	0.3062	0.5800	0.3004	0.5800	0.3807
0.6000	0.5127	0.6000	0.3011	0.6000	0.2988	0.6000	0.3709
0.6200	0.4793	0.6200	0.2890	0.6200	0.3154	0.6200	0.3612
0.6400	0.4377	0.6400	0.2758	0.6400	0.3299	0.6400	0.3478
0.6600	0.4190	0.6600	0.2650	0.6600	0.3389	0.6600	0.3410
0.6800	0.4046	0.6800	0.2500	0.6800	0.3357	0.6800	0.3301
0.7000	0.3858	0.7000	0.2329	0.7000	0.3354	0.7000	0.3180
0.7200	0.3644	0.7200	0.2155	0.7200	0.3241	0.7200	0.3013
0.7400	0.3413	0.7400	0.1988	0.7400	0.2951	0.7400	0.2784
0.7600	0.3176	0.7600	0.1846	0.7600	0.2683	0.7600	0.2568

0.7800	0.2941	0.7800	0.1740	0.7800	0.2637	0.7800	0.2439
0.8000	0.2711	0.8000	0.1676	0.8000	0.2624	0.8000	0.2337
0.8200	0.2492	0.8200	0.1671	0.8200	0.2493	0.8200	0.2218
0.8400	0.2283	0.8400	0.1685	0.8400	0.2286	0.8400	0.2085
0.8600	0.2088	0.8600	0.1659	0.8600	0.2059	0.8600	0.1935
0.8800	0.1906	0.8800	0.1654	0.8800	0.1848	0.8800	0.1803
0.9000	0.1739	0.9000	0.1647	0.9000	0.1675	0.9000	0.1687
0.9200	0.1585	0.9200	0.1627	0.9200	0.1632	0.9200	0.1615
0.9400	0.1444	0.9400	0.1592	0.9400	0.1522	0.9400	0.1519
0.9600	0.1320	0.9600	0.1543	0.9600	0.1361	0.9600	0.1408
0.9800	0.1257	0.9800	0.1483	0.9800	0.1232	0.9800	0.1324
1.0000	0.1196	1.0000	0.1413	1.0000	0.1160	1.0000	0.1256
1.0500	0.1057	1.0500	0.1214	1.0500	0.1243	1.0500	0.1171
1.1000	0.0935	1.1000	0.1010	1.1000	0.1413	1.1000	0.1120
1.1500	0.0830	1.1500	0.0900	1.1500	0.1492	1.1500	0.1074
1.2000	0.0739	1.2000	0.0867	1.2000	0.1344	1.2000	0.0983
1.2500	0.0661	1.2500	0.0825	1.2500	0.1138	1.2500	0.0875
1.3000	0.0594	1.3000	0.0779	1.3000	0.0933	1.3000	0.0769
1.3500	0.0536	1.3500	0.0728	1.3500	0.0961	1.3500	0.0742
1.4000	0.0486	1.4000	0.0673	1.4000	0.0998	1.4000	0.0719
1.4500	0.0442	1.4500	0.0616	1.4500	0.0986	1.4500	0.0682
1.5000	0.0404	1.5000	0.0560	1.5000	0.0919	1.5000	0.0628
1.5500	0.0371	1.5500	0.0508	1.5500	0.0880	1.5500	0.0586
1.6000	0.0342	1.6000	0.0462	1.6000	0.0764	1.6000	0.0523
1.6500	0.0316	1.6500	0.0423	1.6500	0.0630	1.6500	0.0456
1.7000	0.0294	1.7000	0.0391	1.7000	0.0523	1.7000	0.0402
1.7500	0.0274	1.7500	0.0364	1.7500	0.0450	1.7500	0.0363
1.8000	0.0256	1.8000	0.0343	1.8000	0.0428	1.8000	0.0342
1.8500	0.0240	1.8500	0.0325	1.8500	0.0455	1.8500	0.0340
1.9000	0.0225	1.9000	0.0310	1.9000	0.0458	1.9000	0.0331
1.9500	0.0212	1.9500	0.0296	1.9500	0.0439	1.9500	0.0316
2.0000	0.0200	2.0000	0.0283	2.0000	0.0407	2.0000	0.0297
2.0500	0.0190	2.0500	0.0271	2.0500	0.0370	2.0500	0.0277
2.1000	0.0180	2.1000	0.0259	2.1000	0.0328	2.1000	0.0256
2.1500	0.0171	2.1500	0.0248	2.1500	0.0301	2.1500	0.0240
2.2000	0.0163	2.2000	0.0237	2.2000	0.0285	2.2000	0.0228
2.2500	0.0155	2.2500	0.0227	2.2500	0.0290	2.2500	0.0224
2.3000	0.0148	2.3000	0.0217	2.3000	0.0294	2.3000	0.0220
2.3500	0.0142	2.3500	0.0207	2.3500	0.0290	2.3500	0.0213

2.4000	0.0136	2.4000	0.0198	2.4000	0.0279	2.4000	0.0204
2.5000	0.0125	2.5000	0.0182	2.5000	0.0246	2.5000	0.0184
2.6000	0.0116	2.6000	0.0167	2.6000	0.0219	2.6000	0.0168
2.7000	0.0108	2.7000	0.0155	2.7000	0.0208	2.7000	0.0157
2.8000	0.0101	2.8000	0.0144	2.8000	0.0207	2.8000	0.0150
2.9000	0.0094	2.9000	0.0134	2.9000	0.0205	2.9000	0.0145
3.0000	0.0088	3.0000	0.0125	3.0000	0.0198	3.0000	0.0137
3.1000	0.0083	3.1000	0.0118	3.1000	0.0183	3.1000	0.0128
3.2000	0.0079	3.2000	0.0110	3.2000	0.0171	3.2000	0.0120
3.3000	0.0075	3.3000	0.0104	3.3000	0.0164	3.3000	0.0114
3.4000	0.0071	3.4000	0.0097	3.4000	0.0146	3.4000	0.0105
3.5000	0.0067	3.5000	0.0092	3.5000	0.0122	3.5000	0.0094
3.6000	0.0064	3.6000	0.0086	3.6000	0.0108	3.6000	0.0086
3.7000	0.0061	3.7000	0.0081	3.7000	0.0105	3.7000	0.0083
3.8000	0.0058	3.8000	0.0077	3.8000	0.0102	3.8000	0.0079
3.9000	0.0056	3.9000	0.0073	3.9000	0.0098	3.9000	0.0075
4.0000	0.0054	4.0000	0.0069	4.0000	0.0094	4.0000	0.0072
4.1000	0.0051	4.1000	0.0065	4.1000	0.0089	4.1000	0.0069
4.2000	0.0049	4.2000	0.0062	4.2000	0.0085	4.2000	0.0066
4.3000	0.0048	4.3000	0.0059	4.3000	0.0081	4.3000	0.0063
4.4000	0.0046	4.4000	0.0057	4.4000	0.0077	4.4000	0.0060
4.5000	0.0044	4.5000	0.0054	4.5000	0.0072	4.5000	0.0057
4.6000	0.0043	4.6000	0.0052	4.6000	0.0068	4.6000	0.0054
4.7000	0.0041	4.7000	0.0050	4.7000	0.0064	4.7000	0.0052
4.8000	0.0040	4.8000	0.0048	4.8000	0.0060	4.8000	0.0049
4.9000	0.0039	4.9000	0.0046	4.9000	0.0057	4.9000	0.0047
5.0000	0.0037	5.0000	0.0045	5.0000	0.0053	5.0000	0.0045
5.1000	0.0036	5.1000	0.0043	5.1000	0.0050	5.1000	0.0043
5.2000	0.0035	5.2000	0.0042	5.2000	0.0047	5.2000	0.0041
5.4000	0.0033	5.4000	0.0039	5.4000	0.0042	5.4000	0.0038
5.6000	0.0031	5.6000	0.0037	5.6000	0.0038	5.6000	0.0035
5.8000	0.0030	5.8000	0.0035	5.8000	0.0034	5.8000	0.0033
6.0000	0.0028	6.0000	0.0033	6.0000	0.0031	6.0000	0.0031
6.2000	0.0027	6.2000	0.0032	6.2000	0.0029	6.2000	0.0029
6.4000	0.0026	6.4000	0.0030	6.4000	0.0026	6.4000	0.0028
6.6000	0.0025	6.6000	0.0029	6.6000	0.0025	6.6000	0.0026
6.8000	0.0024	6.8000	0.0028	6.8000	0.0023	6.8000	0.0025
7.0000	0.0023	7.0000	0.0027	7.0000	0.0022	7.0000	0.0024
7.2000	0.0022	7.2000	0.0026	7.2000	0.0021	7.2000	0.0023

7.4000	0.0021	7.4000	0.0025	7.4000	0.0020	7.4000	0.0022
7.6000	0.0020	7.6000	0.0024	7.6000	0.0019	7.6000	0.0021
7.8000	0.0019	7.8000	0.0023	7.8000	0.0019	7.8000	0.0020
8.0000	0.0019	8.0000	0.0022	8.0000	0.0018	8.0000	0.0020
8.5000	0.0017	8.5000	0.0021	8.5000	0.0016	8.5000	0.0018
9.0000	0.0016	9.0000	0.0019	9.0000	0.0015	9.0000	0.0017
9.5000	0.0015	9.5000	0.0018	9.5000	0.0014	9.5000	0.0015
10.0000	0.0014	10.0000	0.0017	10.0000	0.0013	10.0000	0.0014

Per quanto riguarda le frequenze di risonanza del sito, ovvero le frequenze in corrispondenza delle quali in caso di terremoto ci si attende la maggiore amplificazione del sisma, oltre ai risultati dell'analisi di risposta sismica locale è necessario fare riferimento alla misura del rumore sismico ambientale T27 eseguita nell'ambito del terzo livello di approfondimento.

Le frequenze di risonanza caratteristiche del profilo stratigrafico analizzato, derivate dalla misura sperimentale del rumore sismico ambientale coincidono con 13,7Hz e 3,5Hz, corrispondenti alle due discontinuità presenti nel sottosuolo: la base della frana ed il passaggio dalle argille allentate alle argille compatte.

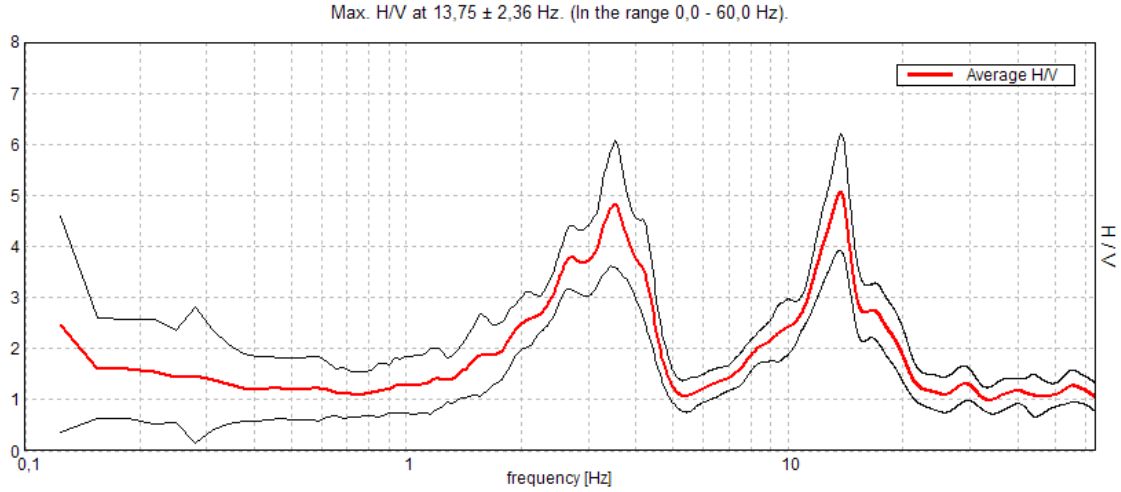


Figura 30 Misura HVRS T27 eseguita nell'ambito del terzo livello di approfondimento nel settore centrale della frana di Gualdo

L'area analizzata, trattandosi di un'area caratterizzata dalla presenza di una frana quiescente, è presumibilmente esclusa da previsioni di nuove edificazioni. Nel caso in cui vengano comunque previste delle nuove strutture, le frequenze di risonanza di sito dovranno essere tenute nella adeguata considerazione al fine di evitare il fenomeno della doppia risonanza tra terreno e strutture. Lo spettro di progettazione dovrà tenere conto dei risultati dell'analisi di risposta sismica locale di terzo livello, dato che per talune frequenze risulta maggiore dello spettro derivato dall'analisi semplificata di secondo livello e quindi maggiormente cautelativo.

12.5 Verifiche di stabilità e determinazione degli spostamenti

Tra i vari requisiti che dovranno essere forniti con il terzo livello di approfondimento, vi è il grado stabilità e gli spostamenti attesi del corpo franoso.

Per valutare il grado di stabilità sono state eseguite delle verifiche in condizioni sismiche secondo il metodo pseudo-statico.

Le verifiche sono state eseguite sulla base di una caratterizzazione geotecnica dei terreni ottenuta dal complesso di tutte le indagini precedenti e di quelle attualmente eseguite.

Le verifiche di stabilità e la parametrizzazione dei terreni vengono eseguite sulla base delle norme tecniche per le costruzioni (D. M. 14 gennaio 2008). Secondo tale normativa le verifiche di stabilità vengono di norma eseguite secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2) che rispetto alle altre combinazioni è la più severa nella parametrizzazione geotecnica.

Di seguito vengono riassunte le caratteristiche fisico-meccaniche dei vari litotipi presenti nell'area.

- Argilla limosa (frana quiescente):

peso di volume	γ = 18,5 kN/m^3
coesione	C = 5 kPa
angolo di attrito	φ = 21°

- Argilla a Colombacci allentata:

peso di volume	γ = 19,0 kN/m^3
coesione	C = 10 kPa
angolo di attrito	φ = 23°

- Argilla a Colombacci:

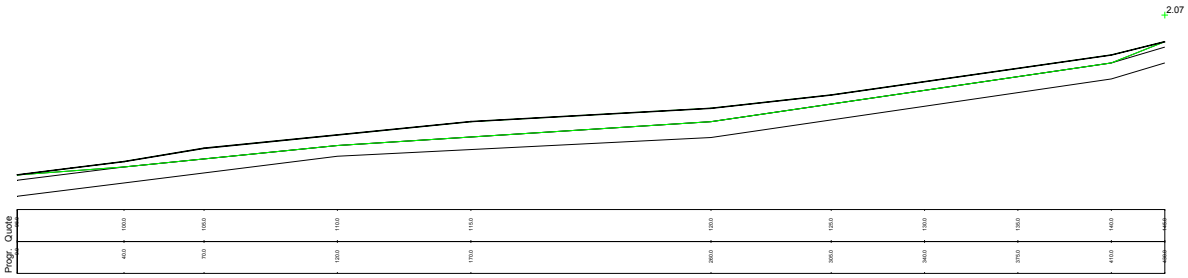
peso di volume	γ = 20 kN/m^3
coesione	C = 20 kPa
angolo di attrito	φ = 24°

Entrando nel dettaglio dei calcoli, le verifiche sono state eseguite per mezzo di uno programma computerizzato predisposto dalla G*eo&Soft;* tale software valuta la stabilità tramite il metodo "Sarma" basato sulla ricerca delle condizioni di equilibrio, attraverso il calcolo del coefficiente di sicurezza di superfici di scivolamento definite arbitrariamente. Nel caso specifico viene considerata come metodologia quella di una superficie planare coincidente con l'ipotizzato piano di scivolamento ed anche di una superficie circolare passante per un punto. Il coefficiente di sicurezza coincide con il valore che assume un parametro riduttivo Pr delle caratteristiche geotecniche reattive (tangente dell'angolo di attrito e coesione) quando esso porta all'annullamento dell'accelerazione critica. Le superfici di scivolamento definite arbitrariamente sono considerate stabili quando il coefficiente di sicurezza $>$ 1,1 (colore verde); si considerano prossime alla instabilità con il fattore di sicurezza compreso tra 1 e 1,1 (colore giallo) e instabili con il coefficiente di sicurezza $<$ 1 (colore rosso).

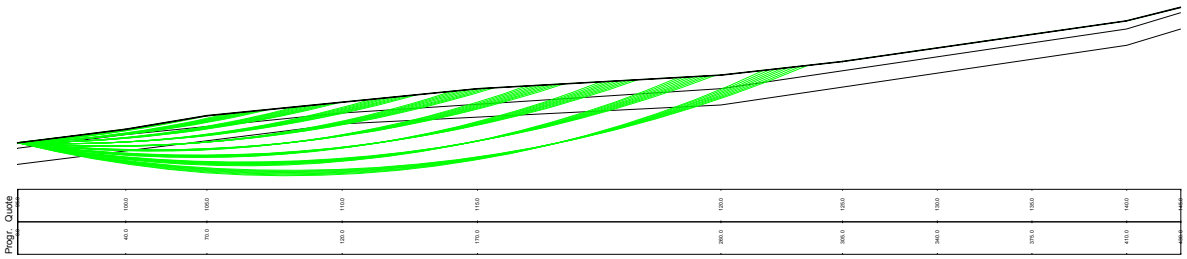
Il territorio del Comune di Roncofreddo, secondo la normativa sismica vigente, è inserito in zona 2.
La determinazione dell'accelerazione orizzontale massima è stata eseguita con l'analisi di risposta sismica, sulla base del profilo stratigrafico locale ed utilizzando come moto di input gli accelerogrammi di riferimento per il Comune di Roncofreddo.

Il valore ottenuto dovrà essere corretto con un fattore topografico (S_T), che nel caso specifico non produrrà variazioni essendo uguale a 1 per la modesta pendenza.
Per determinare la componente sismica orizzontale, cioè il parametro da inserire nel programma di calcolo, l'accelerazione sismica prevista per il sito in esame deve essere ridotta per mezzo di un coefficiente di riduzione sismica anche dipendente della categoria di suolo. Nel caso specifico il coefficiente riduttivo è pari a 0,28.
In riferimento a tutto quanto sopra, le verifiche di stabilità sono state effettuate utilizzando la componente sismica orizzontale pari a 0,110 e quella verticale pari a 0,055, essendo convenzionalmente la metà di quella orizzontale.

Per ciò che riguarda la sezione analizzata e considerando la superficie di scivolamento planare, emerge il coefficiente di sicurezza è pari a 2,07.



Ipotizzando invece delle superfici di potenziale scivolamento circolare, emerge che delle 80 superfici di potenziale scivolamento, quella con il coefficiente di sicurezza più basso è la n° 73, con un coefficiente pari a 2,18.



Complessivamente, si può affermare che con entrambe le superfici di potenziale scivolamento (planare e circolare) l'area analizzata risulta stabile.

Per il calcolo degli spostamenti permanenti indotti dall'azione sismica, viene adottato uno dei metodi semplificati ed in particolare l'approccio originario di Newmark, dove lo spostamento S è il prodotto di S_0 (spostamento di un blocco rigido equivalente al corpo di frana su un piano orizzontale) ed A (fattore di forma che dipende dalle geometria del versante, dalle caratteristiche del sistema e dalla forma della superficie di scorrimento)

$$S = S_0 \cdot A$$

ovvero

$$S = S_0 \frac{\cos(\phi - \alpha)}{\cos \phi}$$

dove

α = inclinazione della superficie di scorrimento

ϕ = angolo di resistenza al taglio del terreno

$$S_{0\,(max)} = \frac{v^2_{max}}{2a_c} (a_{max} / a_c)$$

a_{max} = accelerazione massima del moto alla base del pendio (g)
ν_{max} = velocità massima del moto alla base (cm/sec)
$a_c = K_c$ g accelerazione critica

Dai calcoli effettuati risulta che, per la frana in esame, lo spostamento S in caso di evento sismico è pari a 3,6 cm.

Siena, Settembre 2013

Dr. Geol. Antonio Maria Baldi

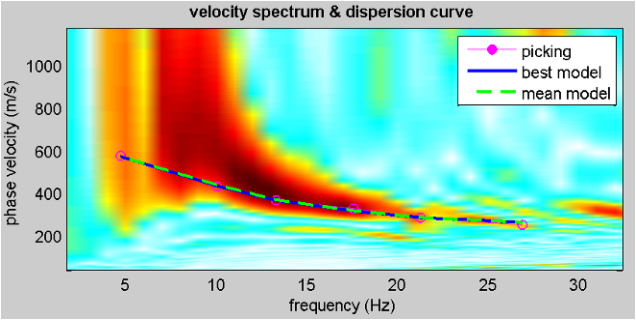
Appendice

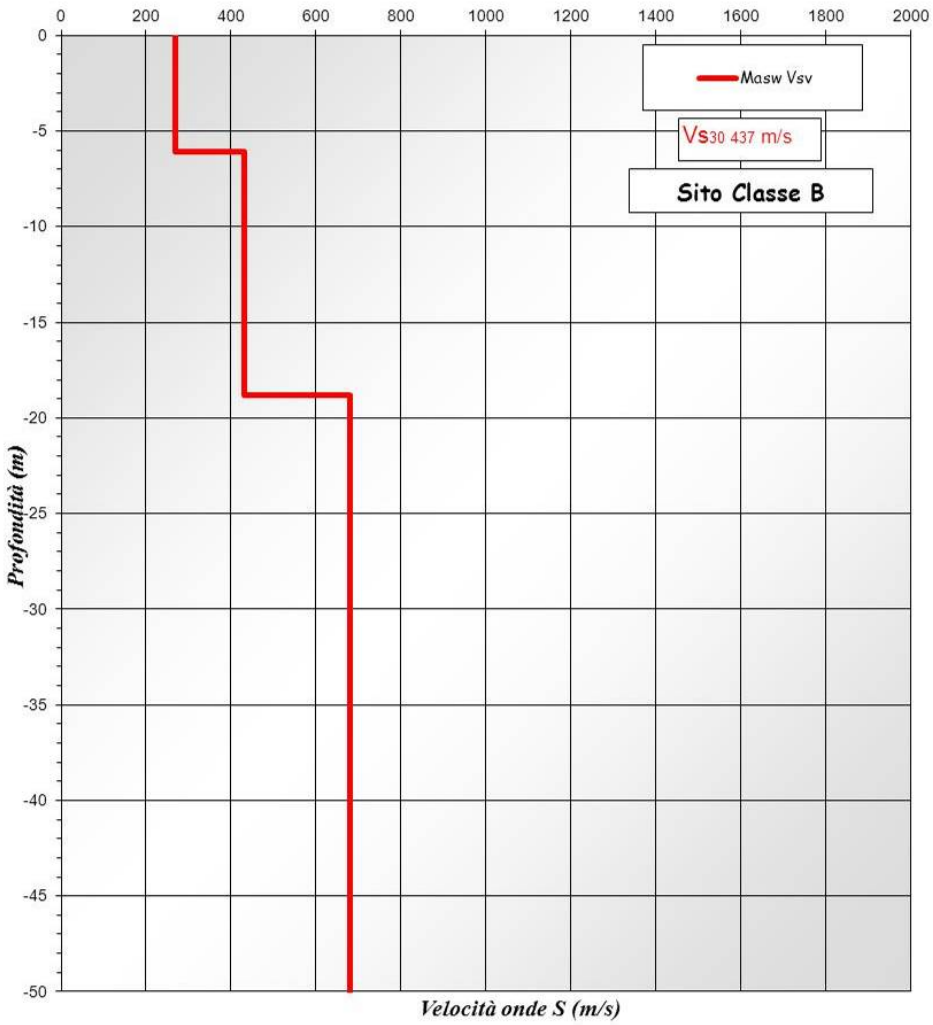
Indagini I° e II° livello

- **Prove MASW** Pag. 74
- **Misure HVSR** Pag. 81
- **Prove penetrometriche** Pag. 87

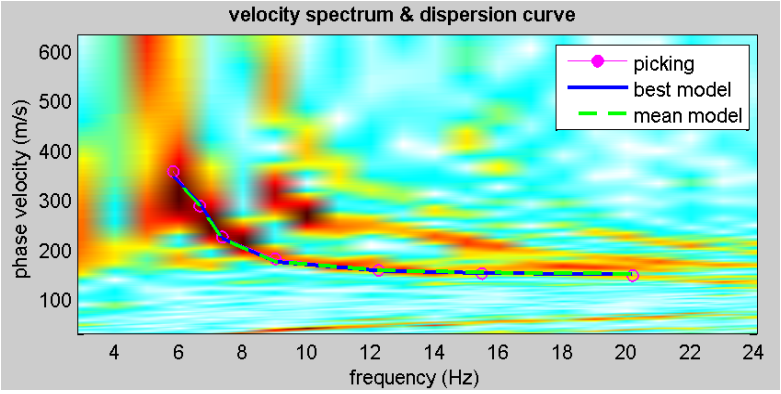
PROVE MASW

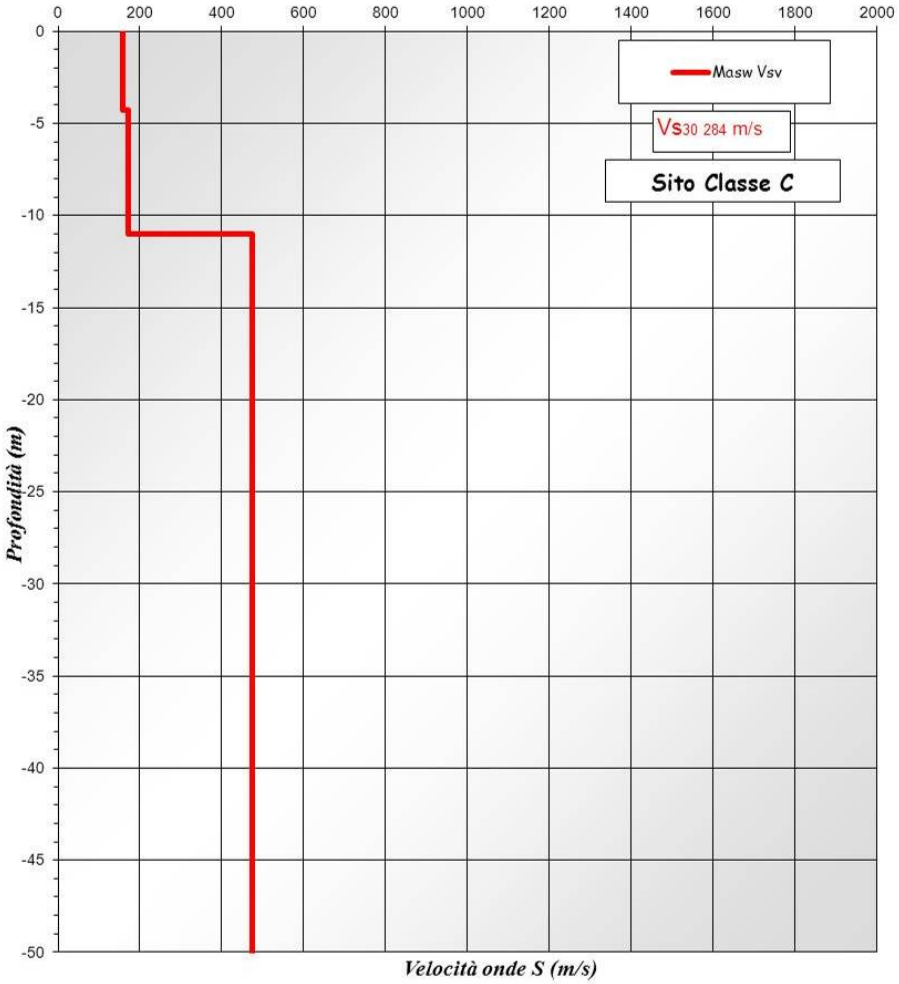
40037L003MASW03



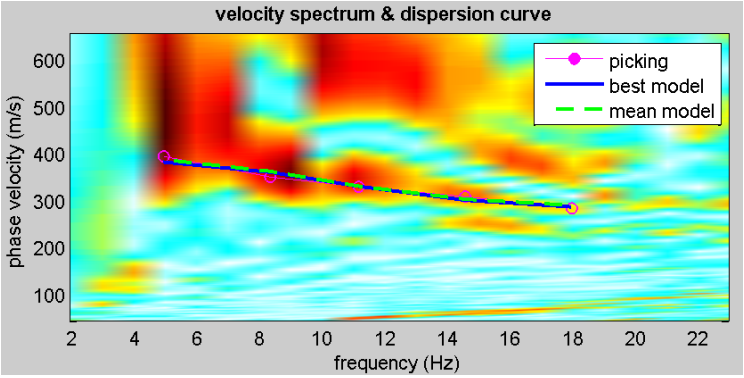


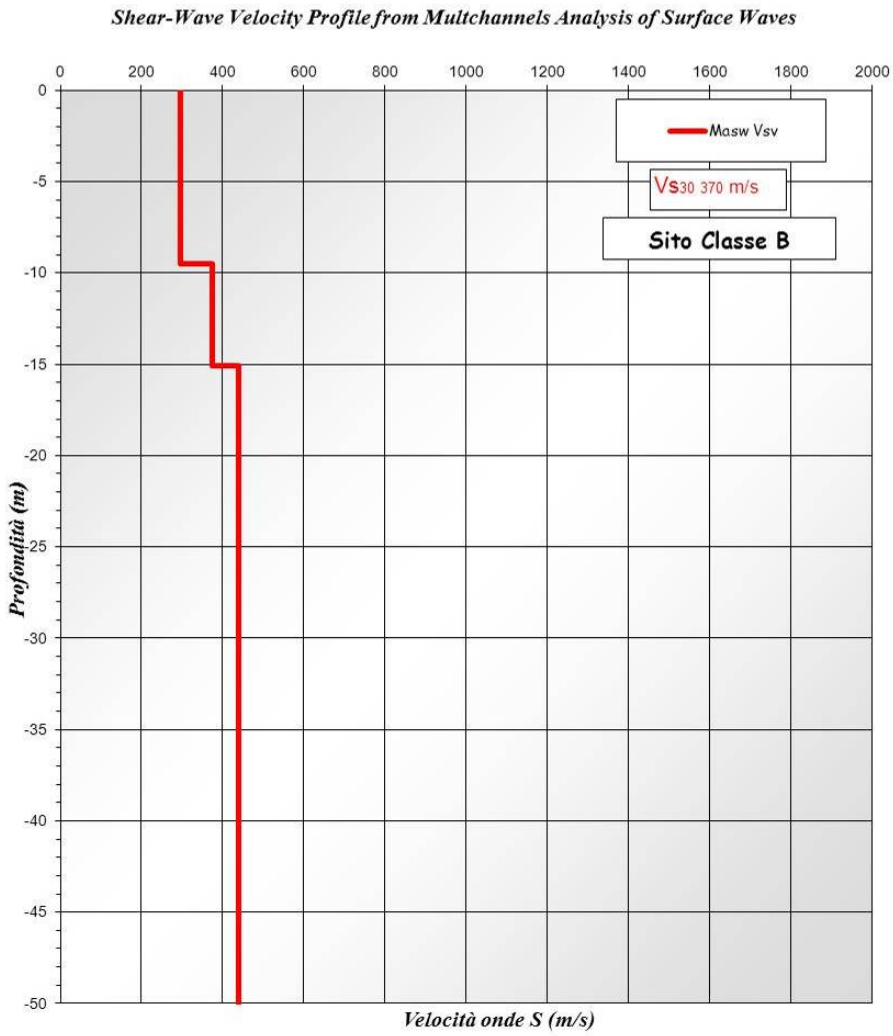
40037L004MASW04



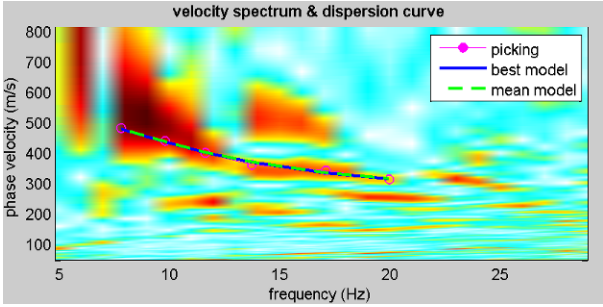


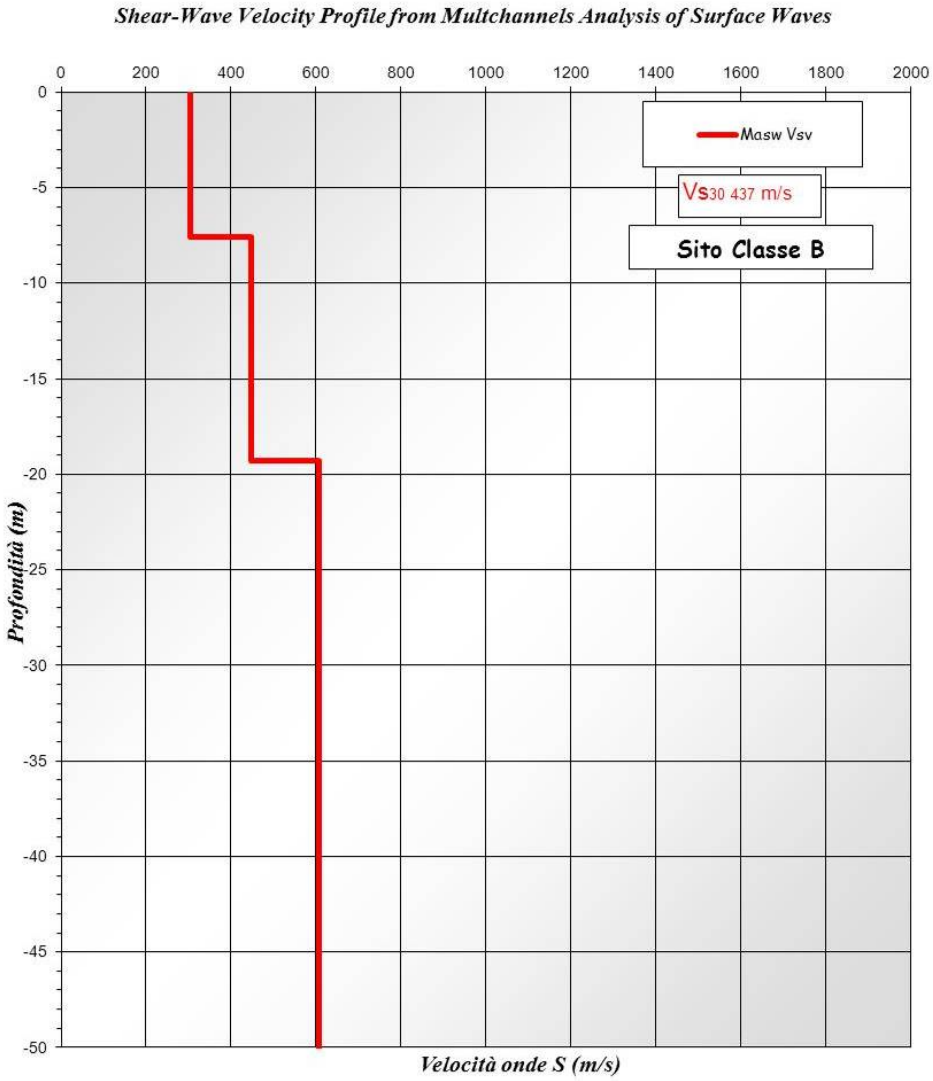
40037L005MASW05



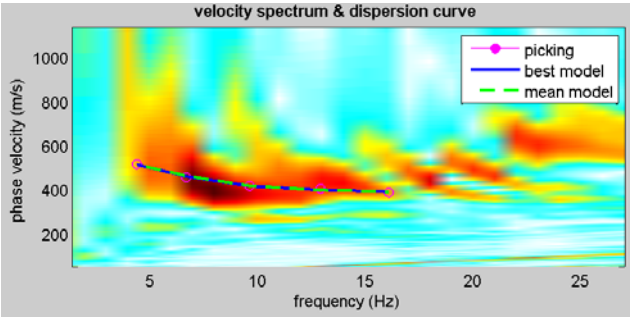


40037L006MASW06

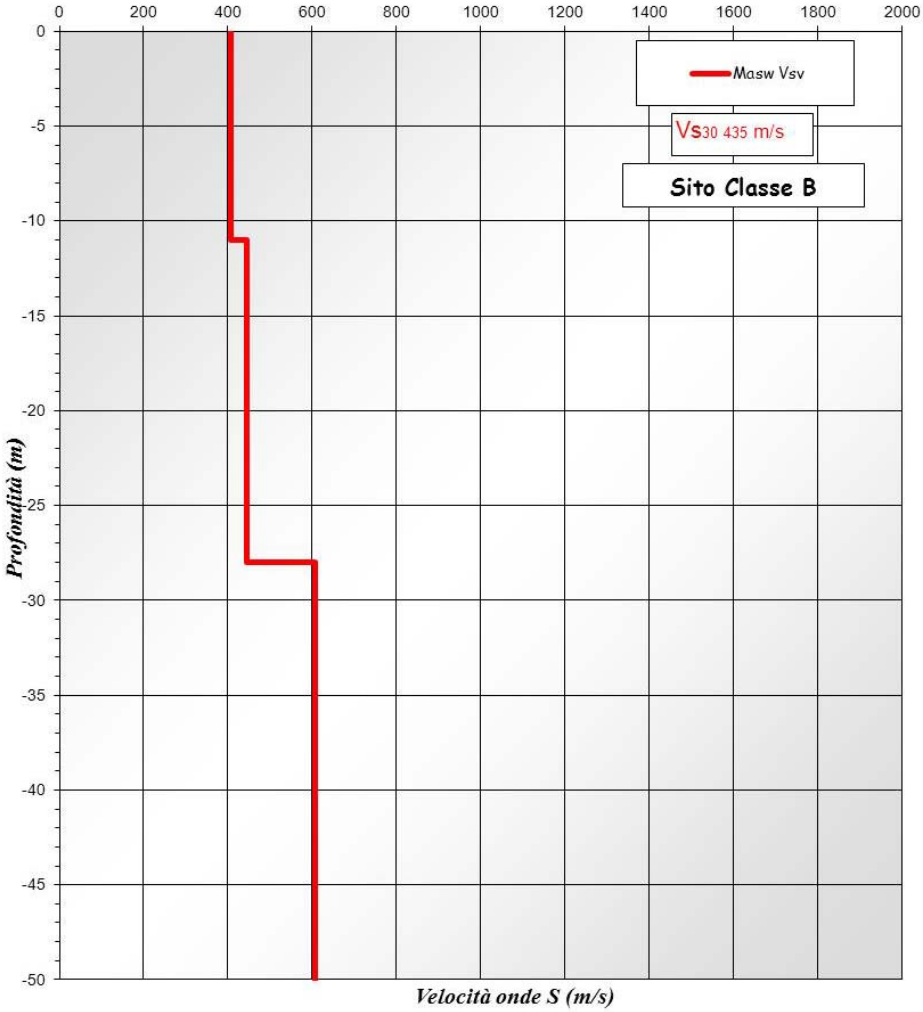




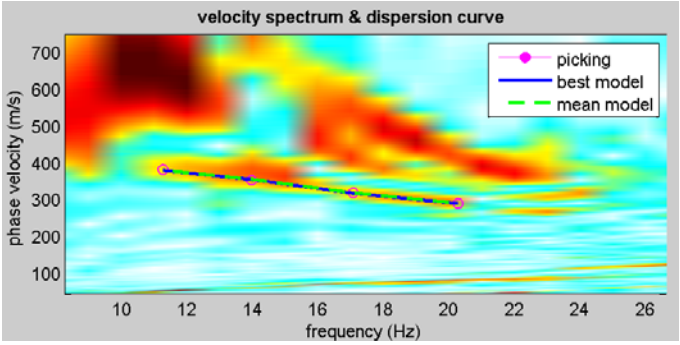
40037L007MASW07



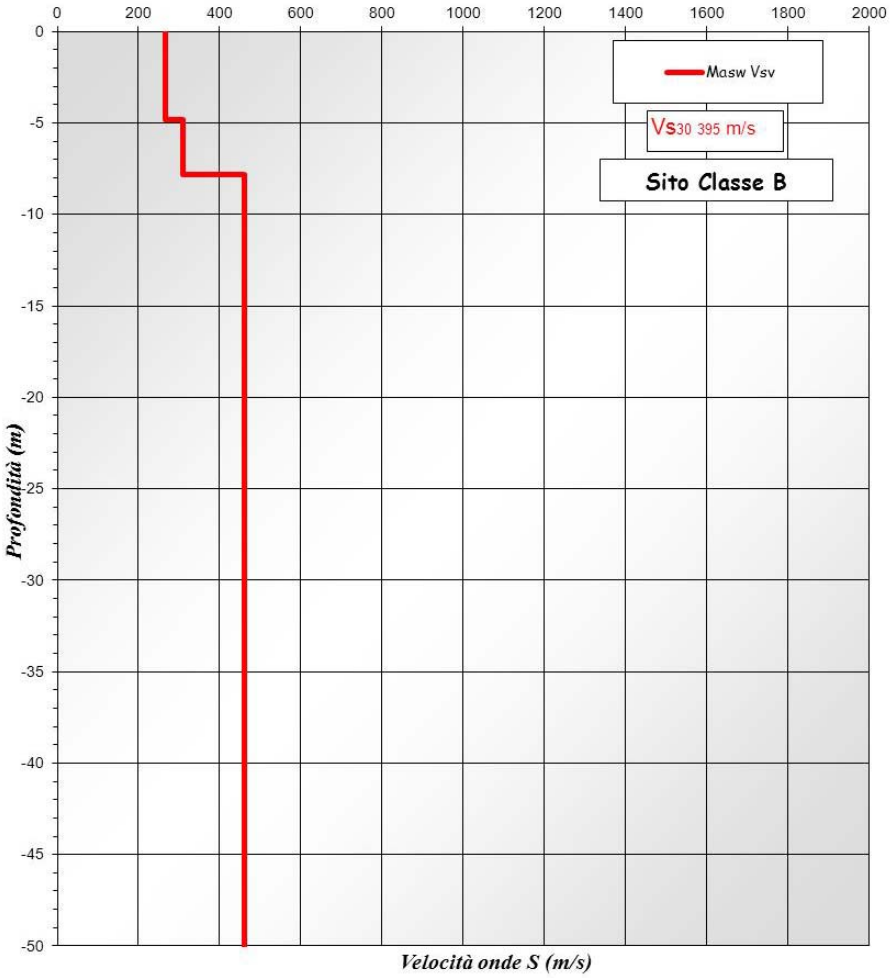
Shear-Wave Velocity Profile from Multchannels Analysis of Surface Waves



40037L008MASW08



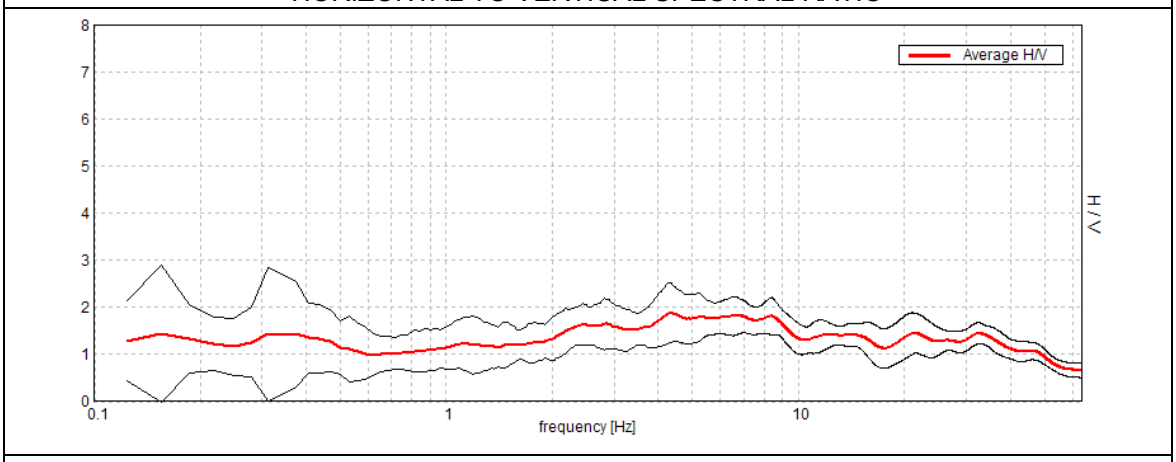
Shear-Wave Velocity Profile from Multchannels Analysis of Surface Waves

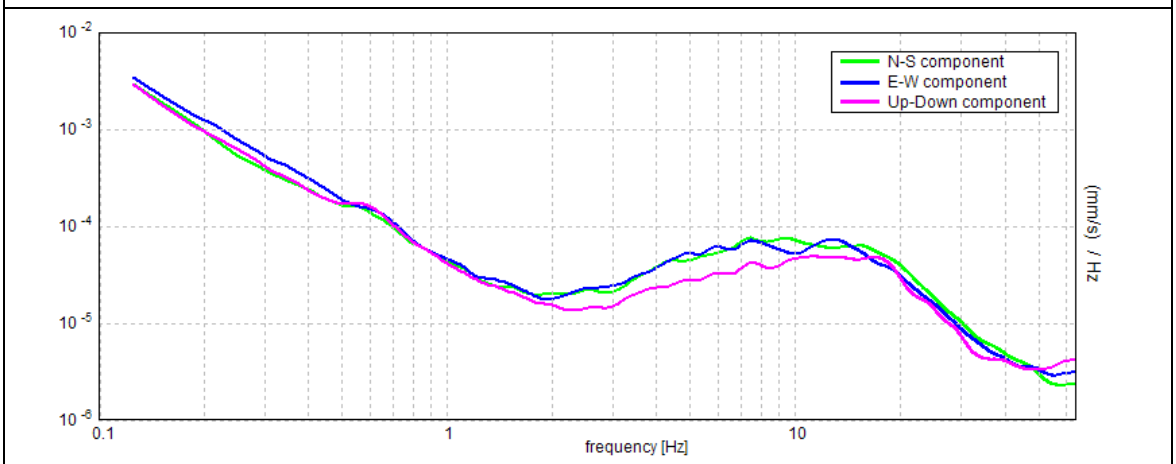


PROVE HVSR

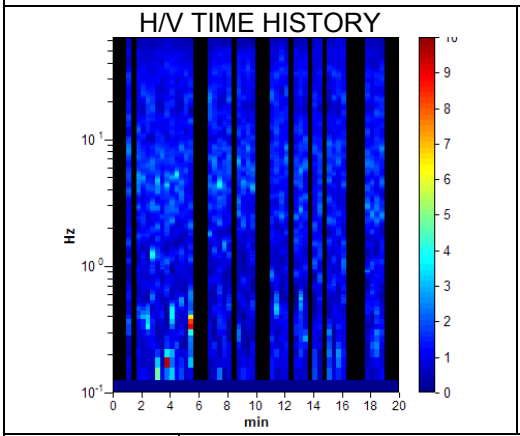
Misura 40037P036HVSR37

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

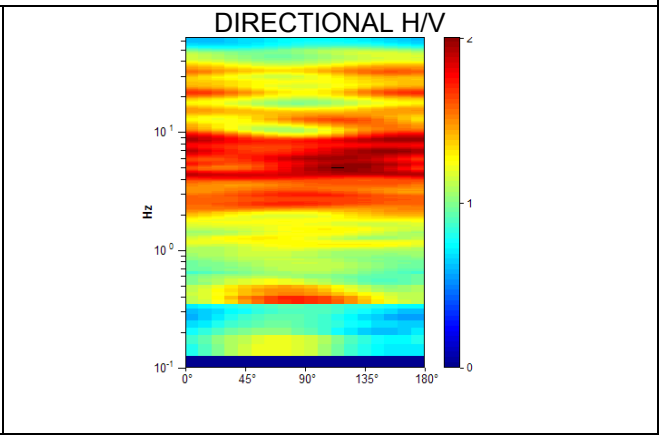




H/V TIME HISTORY



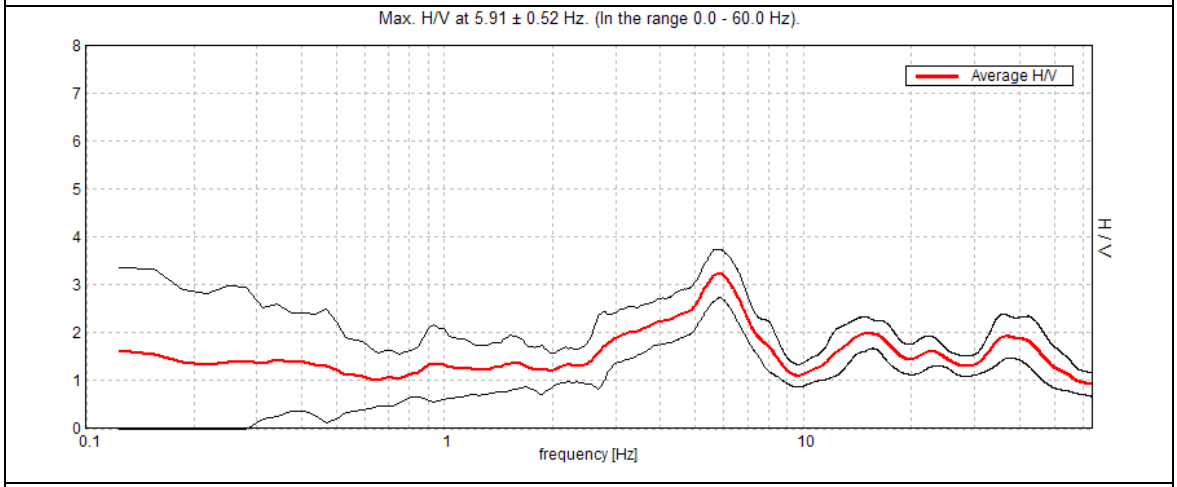
DIRECTIONAL H/V

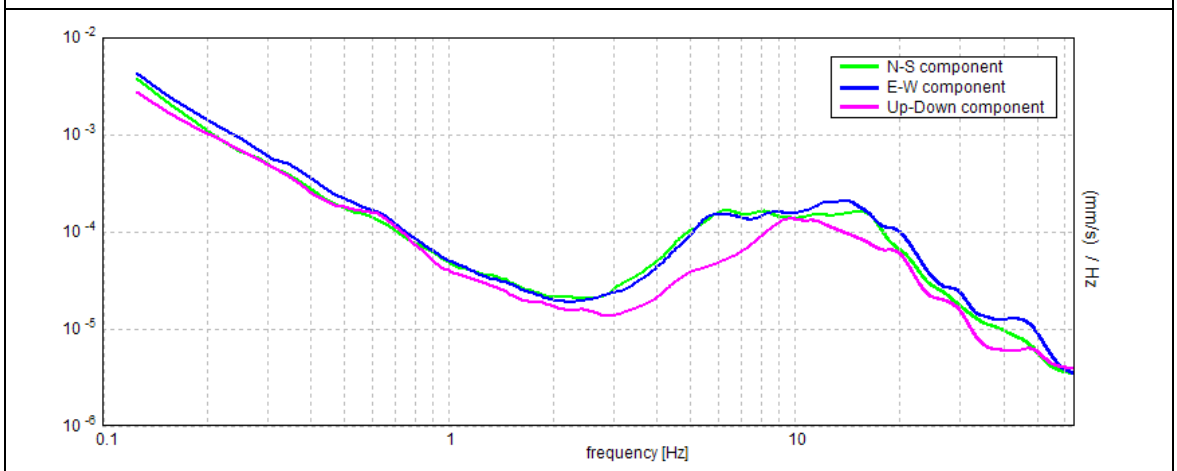


f_0 (Hz)
assente

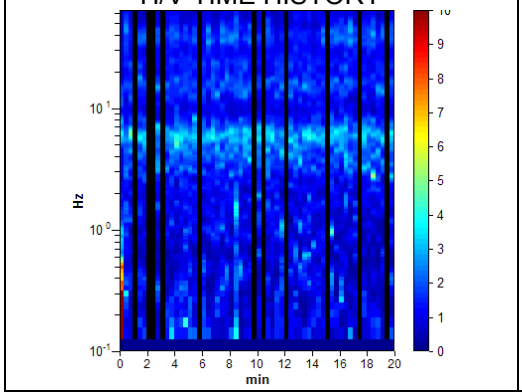
Misura 40037P037HVSR38

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

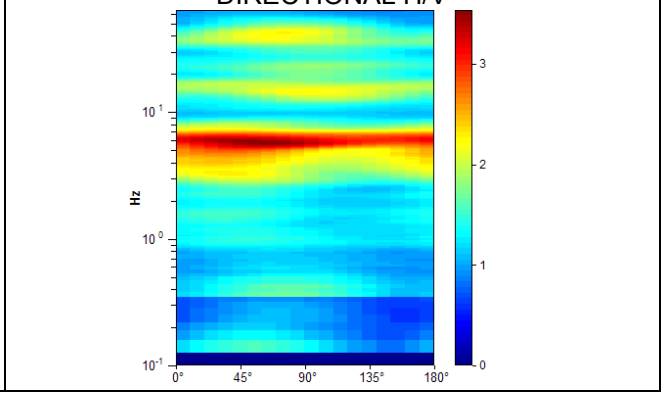




H/V TIME HISTORY



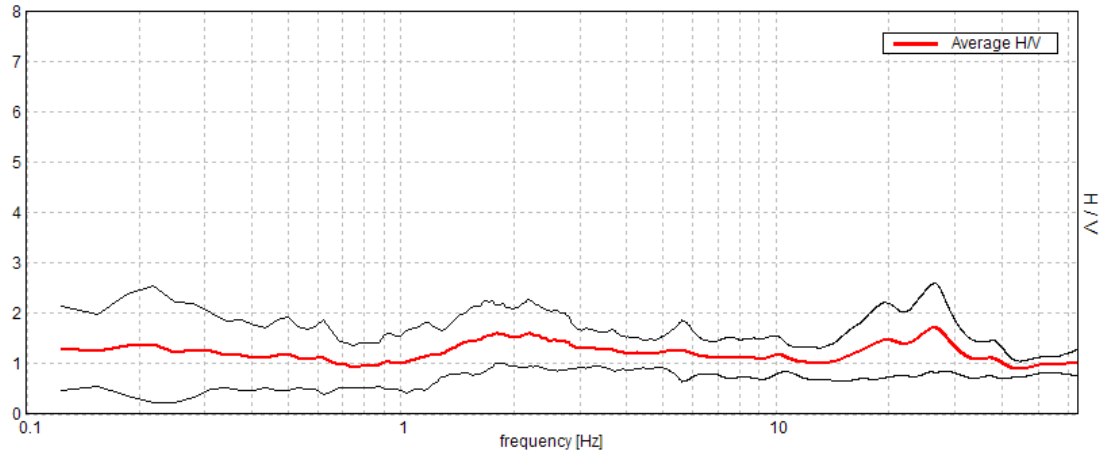
DIRECTIONAL H/V

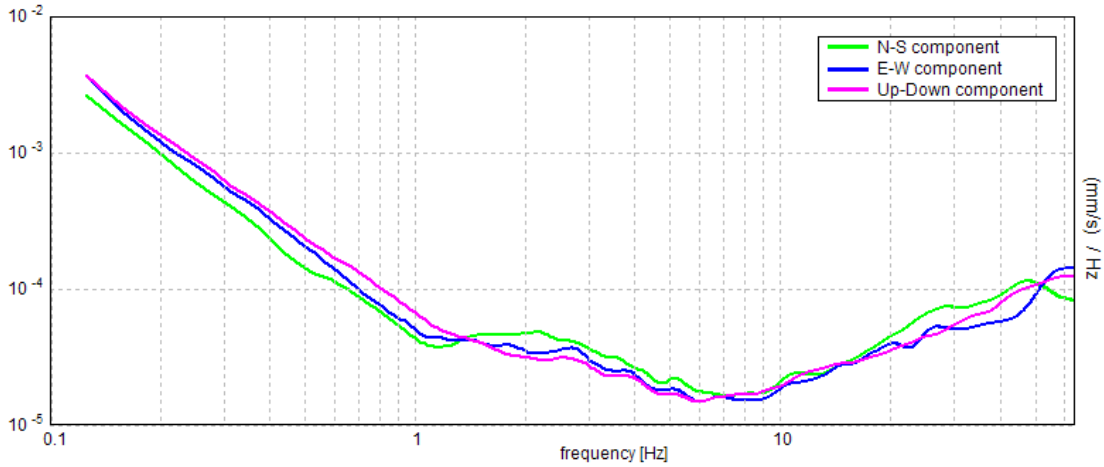


f_0 (Hz)
5,91

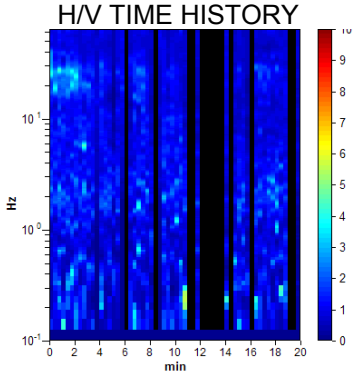
Misura 40037P038HVSR39

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

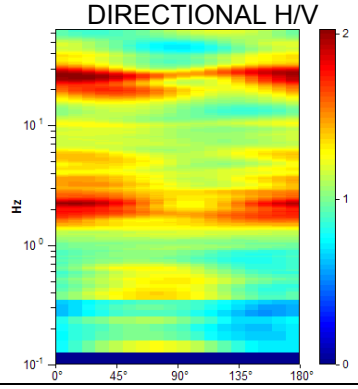




H/V TIME HISTORY



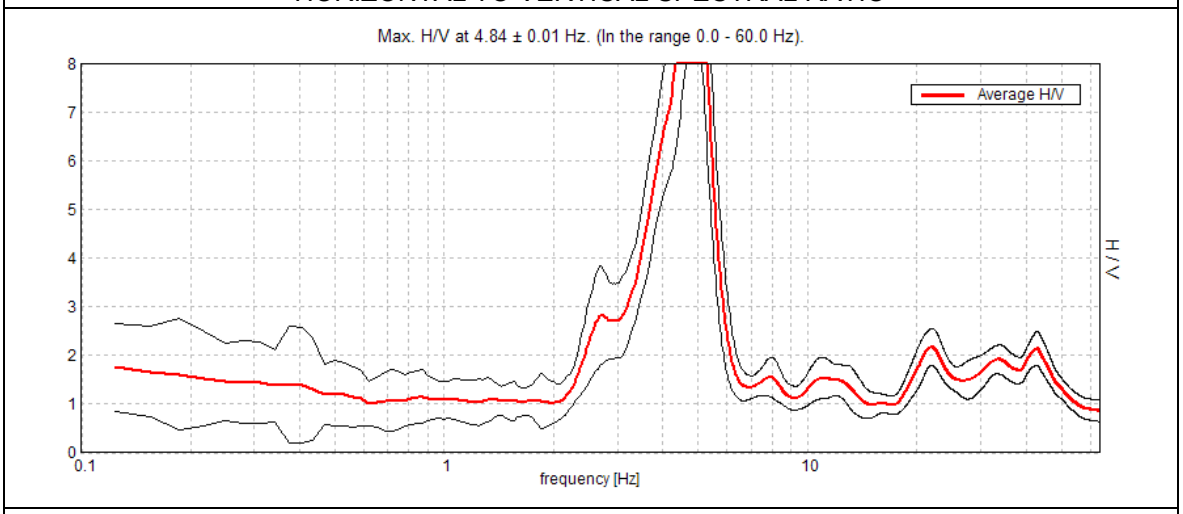
DIRECTIONAL H/V

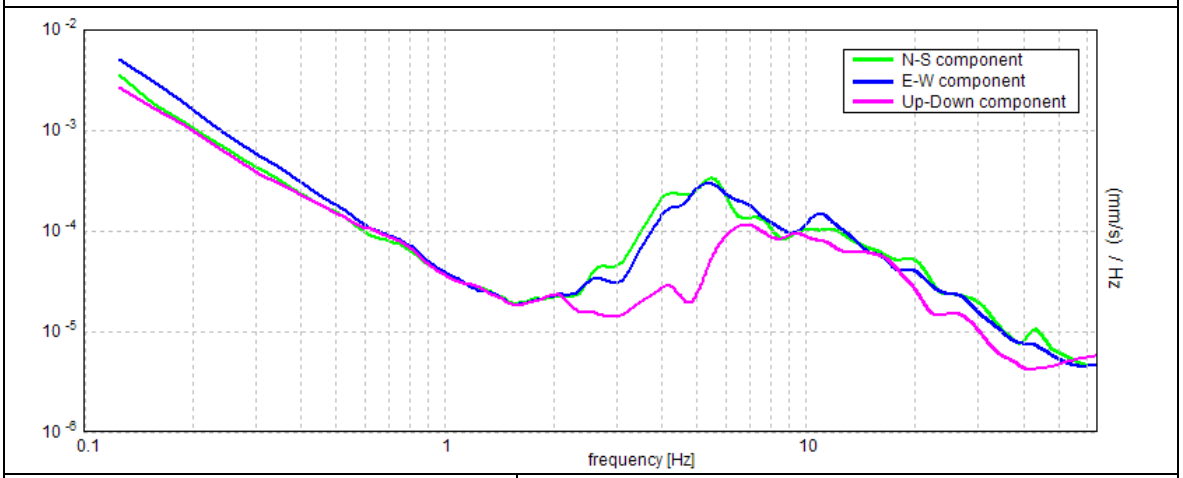


f_0 (Hz)
assente

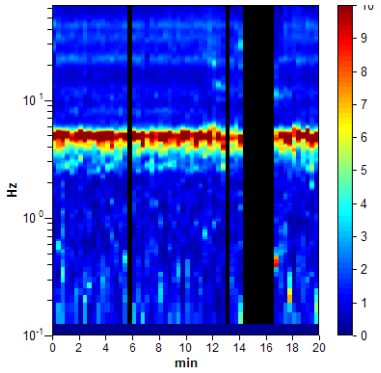
Misura 40037P039HVSR40

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

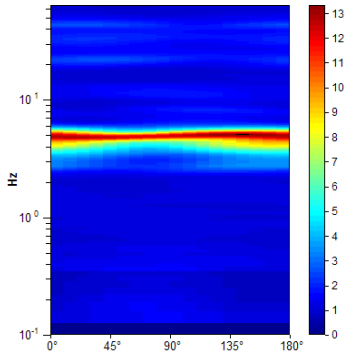




H/V TIME HISTORY



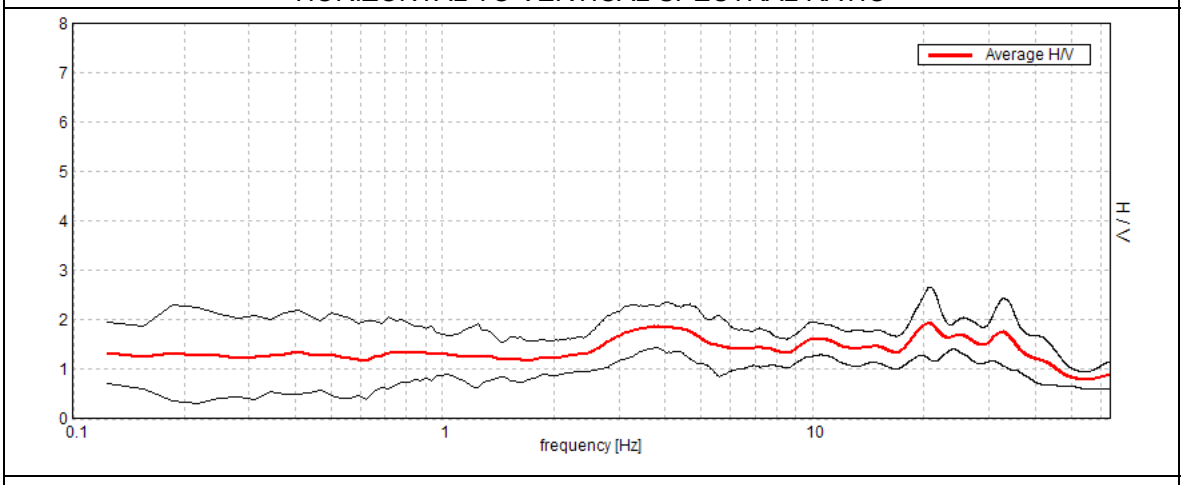
DIRECTIONAL H/V

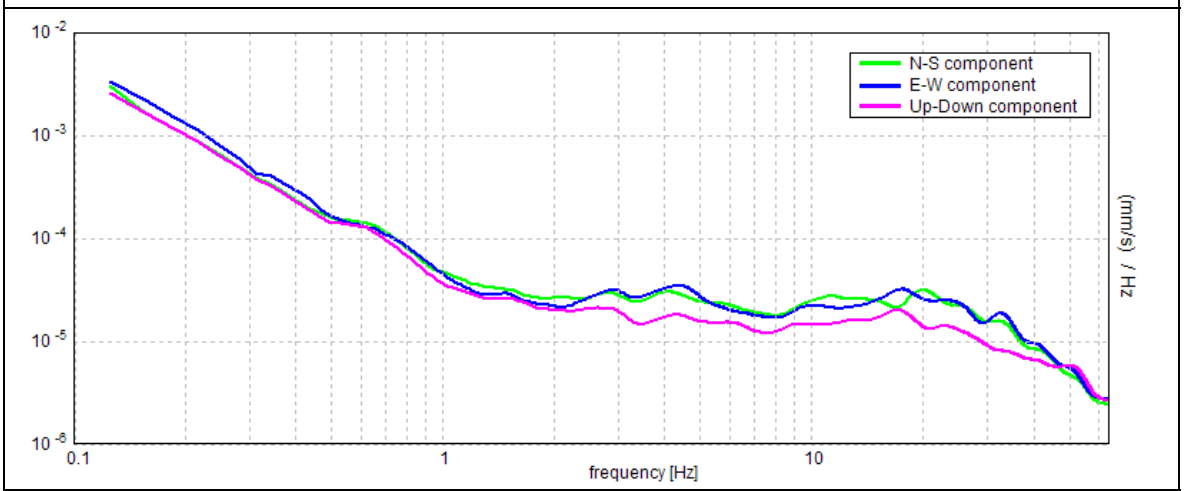


f_0 (Hz)
4,84

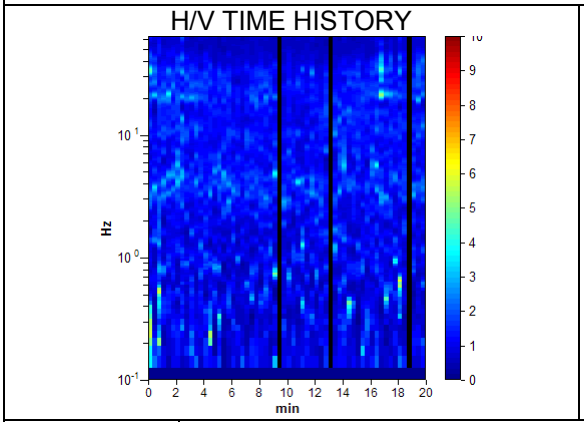
Misura 40037P040HVSR41

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

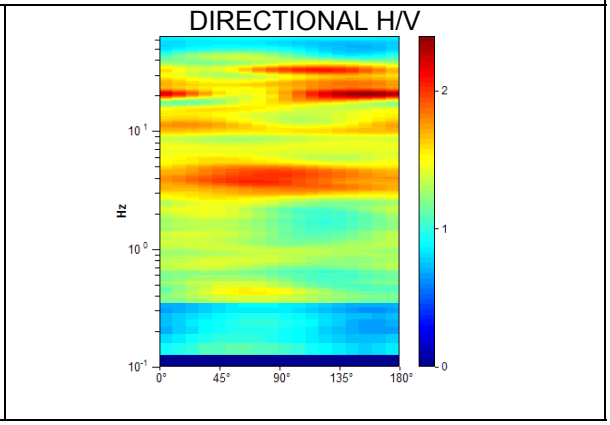




H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



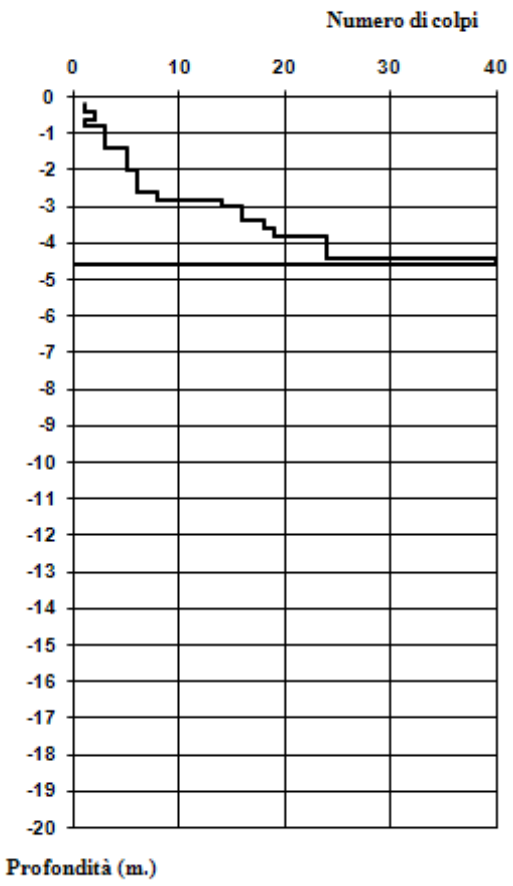
f_0 (Hz)
assente

PROVE PENETROMETRICHE

40037P050DP55

GEOECOTER associated engineers
GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax 0547/95080
www.geoecoter.com
P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

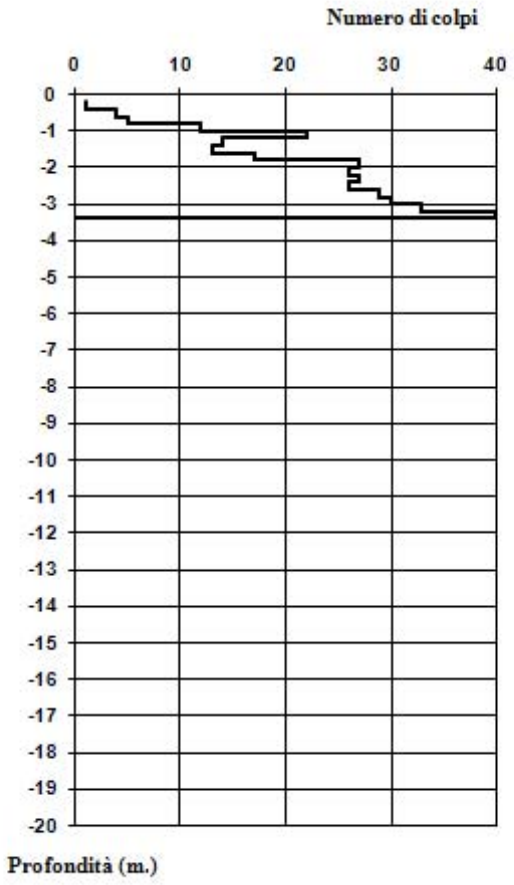
PROVA DINAMICA DPSH 101 r		Caratteristiche del penetrometro	
Committente	Studio di geologia e geofiisica srl	Peso del maglio	63,5
Cantiere	Zona urbanizzabile 1	Altezza di caduta	75 cm
Località	Roncofreddo	Angolo punta conica	60 °
Data	13-03-2013	Sezione punta conica	20,43 cmq
Quota	piano campagna	Diametro aste	32 mm
Livello Falda	4.00	Peso aste	6,31 Kg/ml



40037P051DP56

GEOECO TER associated engineers
GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geoecoter.com
P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

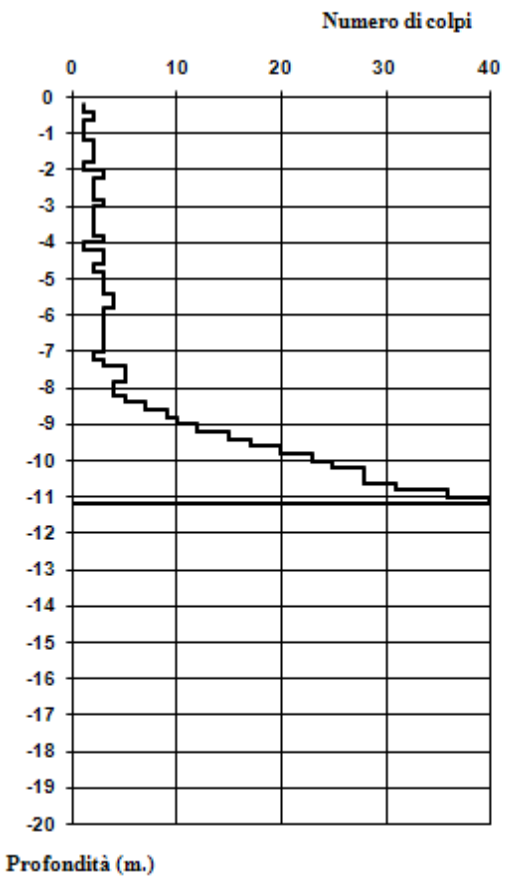
PROVA DINAMICA DPSH 102 r		Caratteristiche del penetrometro	
Committente	Studio di geologia e geofiisica srl	Peso del maglio	63,5
Cantiere	Zona Urbanizzabile 2	Altezza di caduta	75 cm
Località	Roncofreddo	Angolo punta conica	60 °
Data	13-03-2013	Sezione punta conica	20,43 cmq
Quota	piano campagna	Diametro aste	32 mm
Livello Falda		Peso aste	6,31 Kg/ml



40037P052DP57

GEOECOTER associated engineers
GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geoecoter.com
P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

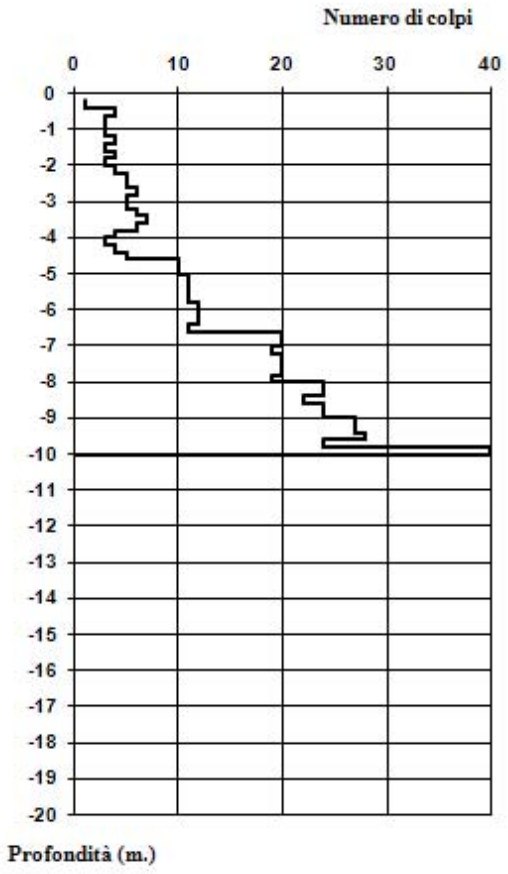
PROVA DINAMICA DPSH 103 r		Caratteristiche del penetrometro	
Committente	Studio di geologia e geofiisica srl	Peso del maglio	63,5
Cantiere	Gualdo	Altezza di caduta	75 cm
Località	Roncofreddo	Angolo punta conica	60 °
Data	11-03-2013	Sezione punta conica	20,43 cmq
Quota	piano campagna	Diametro aste	32 mm
Livello Falda	4.00	Peso aste	6,31 Kg/ml



40037P053DP58

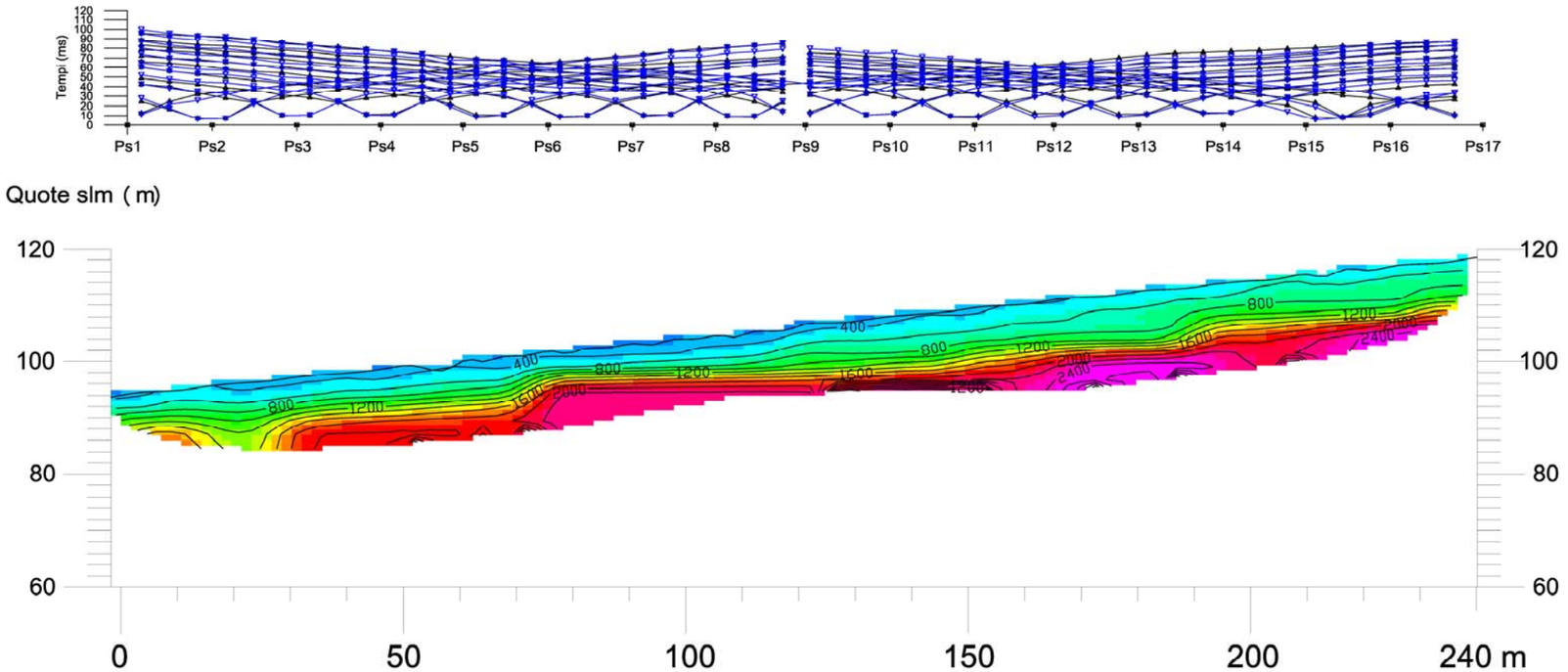
GEOECO TER associated engineers
GEOECOTER s.c.a.r.l. - Ingegneria Civile e Geologia Applicata
Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geoecoter.com
P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

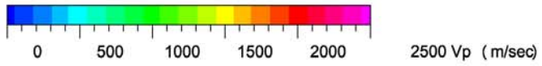
PROVA DINAMICA DPSH 107 r		Caratteristiche del penetrometro	
Committente	Studio di geologia e geofiisica srl	Peso del maglio	63,5
Cantiere	Cimitero	Altezza di caduta	75 cm
Località	Roncofreddo	Angolo punta conica	60 °
Data	13-03-2013	Sezione punta conica	20,43 cmq
Quota	piano campagna	Diametro aste	32 mm
Livello Falda	4.00	Peso aste	6,31 Kg/ml



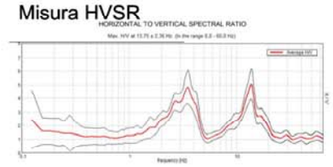
Indagini III° livello

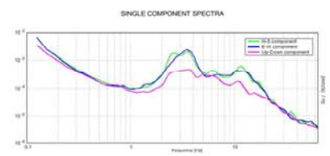
P7 Gualdo - Roncofreddo

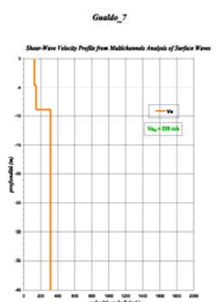


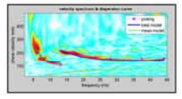


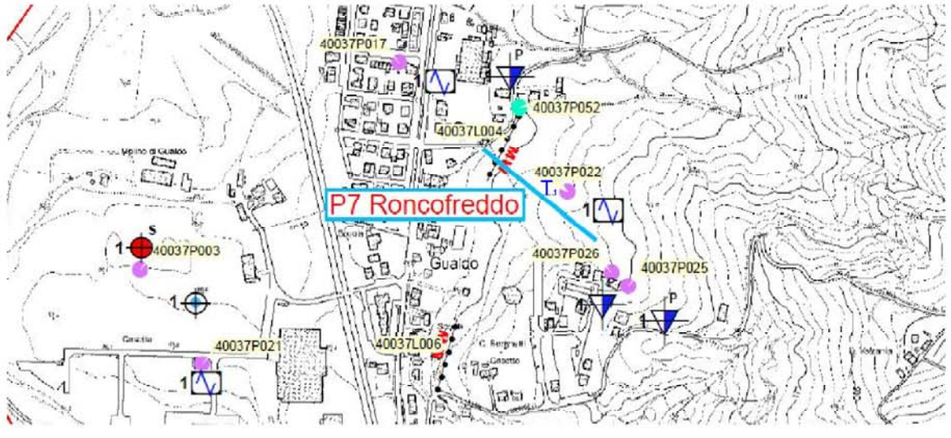
Misura HVSR











LEGENDA

Dromocrone — dati sperimentali; valori calcolati con l'interpretazione tomografica

Punto di scoppio

Superficie topografica

Curve di isovelocità sismica e relativo valore (m/s) (equidistanza 200 m/s)

Maglia cella tomografica 1,8x0,9 m

LEGENDA

Ubicazione linea sismica, nome identificativo e posizione dei punti di scoppio

Ubicazione prova Masw

Ubicazione misura HVSR

Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	30 - Agosto - 2013	De Luca	Rizzi	Baldi

COMMITTENTE : Comune di Roncofreddo — Commessa n° T 718

LOCALITA': Gualdo-Roncofreddo

INDAGINE: Studio di microzonazione sismica

OGGETTO: Prove integrative - III Livello

TAVOLA: Tomografia sismica a rifrazione P7 - Prova MASW - Misura HVSR — FORMATO A1

4 3 7 1 S G G 1 6 A — 30 Ago 2013

nome file :

PRECISIONE:	UNITA'	SCALA
Distanze:	m	1:500
Quote:	m	1:2.000
Profondita':	m	

STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA S.r.l.
STRADA MASSETANA ROMANA , 56 – SIENA – ITALY –
Tel. +39 057749276 – Fax +39 0577287254 – e.mail: info@sgg.it

DATA — CONTROLLO QUALITA'

Tutti i diritti sono riservati. La riproduzione e la divulgazione a terzi è vietata.