



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna  
Comune di Montechiarugolo



<p>Regione Emilia-Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p>Direzione tecnica Dott. Geol. Carlo Caleffi Dott. Geol. Francesco Cerutti Collaboratori Dott. Geol. Matteo Baisi Dott. Geol. Alessandro Ferrari Dott.ssa Giulia Mainardi</p>	<p>Data Marzo 2018</p>
-----------------------------------	--	----------------------------

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## INDICE

1.	Introduzione .....	2
1.1	Motivazione dello studio di 3° livello .....	3
1.2	Articolazione dello studio.....	4
2.	Indagini ed analisi .....	6
2.1	Sondaggi a carotaggio continuo .....	6
2.2	Prove di laboratorio.....	7
2.3	Prove Down-Hole.....	7
2.4	Prova con tecnica MASW.....	10
3.	Analisi di risposta sismica locale.....	12
3.1	Pericolosità sismica di base .....	12
3.2	Disaggregazione e magnitudo .....	15
3.3	Segnali in input .....	17
3.4	Modello geofisico del sottosuolo .....	20
3.4.1	Litologia .....	20
3.4.2	Determinazione della Vs e del bedrock sismico .....	21
3.4.3	Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G <sub>0</sub> ) in funzione della deformazione.....	23
3.4.4	Codice di calcolo per la valutazione della RSL .....	26
3.5	Risultati della modellazione numerica .....	26
3.5.1	RSL per il sito di Monticelli.....	27
3.5.2	RSL per il sito di Basilicagoiano .....	31
3.5.3	RSL per il sito di Basilicanova .....	35
3.6	Criticità del metodo.....	39
4.	Elaborati cartografici.....	41
4.1	Carte delle indagini.....	41
4.2	Carte geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	43
4.3	Carte delle frequenze naturali dei terreni .....	45
4.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) .....	47
4.5	Carte delle velocità delle onde di taglio S .....	49
4.6	Carte di microzonazione sismica .....	50
5.	Bibliografia .....	53
6.	Allegati .....	56

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	1 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 1. INTRODUZIONE

Nel presente documento vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello *Studio di microzonazione sismica di 3° livello del Comune di Montechiarugolo*, effettuato su incarico dell'Amministrazione Comunale (cfr. Determinazione n° 436 del 27/07/2017) e finanziato con contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 344/2016 e decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 21 giugno .

Lo studio è stato redatto nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- Allegato A2 “Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 293/2015 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 14 dicembre 2015” della deliberazione di Giunta regionale n. 573 del 28/04/2016 “O.C.D.P.C. 26 Ottobre 2015, N. 293 - Annualità 2014 - Criteri per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di interventi di riduzione del rischio sismico in edifici pubblici strategici e rilevanti, in edifici privati e per studi di microzonazione sismica, di cui all'art. 2, comma 1, lettere A), B) E C). Modalita' di concessione e liquidazione dei contributi (da qui in avanti “Allegato A2 della delibera regionale”)
- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versione 4.0b, Roma, ottobre 2015 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica (da qui in avanti “SRAI”)
- “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti “ICMS”)
- Allegato A della deliberazione di Giunta regionale della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21/12/2015: “Art. 16 della L.R. n° 20 del 24/03/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n° 12” (da qui in avanti “indirizzi regionali”).

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	2 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Quali aree oggetto di studio, d'accordo con l'Amministrazione Comunale e in continuità con gli studi pregressi di primo e secondo livello sono state prese in esame sei siti significativi sull'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile.

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 6.

Essi sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea, in versione digitale (*pdf*, con risoluzione 300 *dpi*).

I dati cartografici sono forniti anche in formato vettoriale (*shapefile*).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della delibera regionale e dagli SRAI (Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica).

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo dell'apposito software: "MS - SoftMS" nella versione 4.0.

Va chiarito che gli standard sopra indicati, negli anni, sono stati soggetti a vari aggiornamenti che hanno portato a profonde modifiche, non solo nella metodologia di archiviazione dei dati e nella rappresentazione grafica dei differenti tematismi, ma anche di natura concettuale.

Per tale motivo, il presente lavoro ha previsto anche la revisione dei precedenti studi di primo e secondo livello, seppure già certificati, creando un nuovo database e rieditando i relativi elaborati cartografici alla luce degli ultimi riferimenti normativi.

## 1.1 Motivazione dello studio di 3° livello

Il Comune di Montechiarugolo è già dotato di uno studio di microzonazione sismica di 1° e 2° livello, certificato dalla Regione Emilia Romagna nel Novembre 2012 (prot. PG.2012.0271097).

Nell'ambito di tale studio, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stata effettuata, tramite le procedure semplificate previste appunto dal 1° e 2° livello, una microzonazione con attribuzione di differenti fattori di amplificazione, che hanno lo scopo di consentire una valutazione comparativa della pericolosità sismica.

Dal punto di vista scientifico, nello studio antecedente, tra le altre cose, si era evidenziato quanto segue:

- Una considerevole variabilità litologica (costituita da fitte alternanze sia laterali che verticali di ghiaie e depositi fini) si rifletteva sulla variabilità dei risultati

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	3 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

delle indagini, rendendo complessa, e talora poco significativa, la correlazione spaziale dei dati.

- Le analisi tomografiche presentavano spesso un picco a frequenza elevata (tipicamente compresa tra 14 e 32 Hz), con rapporto di amplificazione H/V spesso superiore a 3. A frequenze inferiori, tipicamente fino a circa 1.0-1.5 Hz era presente una prolungata inversione del rapporto H/V. Solo a frequenze ancora minori era possibile individuare altri picchi, sebbene considerazioni stratigrafiche avrebbero fatto supporre la presenza di picchi anche in zone intermedie.

Conseguentemente, per migliorare il quadro delle conoscenze locali, si auspicava di poter effettuare, all'interno del territorio comunale, sempre utilizzando il cofinanziamento della Protezione Civile, anche uno studio con approfondimento di terzo livello e poter svolgere delle analisi della risposta sismica locale, in corrispondenza di alcune situazioni stratigrafiche tipo.

## 1.2 Articolazione dello studio

Lo studio di microzonazione di terzo livello è consistito nelle seguenti fasi:

1. individuazione di tre aree rappresentative di situazioni stratigrafiche tipo definite nella analisi precedenti;
2. realizzazione, in due aree di cui al punto 1, di un sondaggio a carotaggio continuo fino alla profondità di 30 m, con prelievo di campioni e realizzazione di prova Down-Hole per la misura in foro delle Vs;
3. realizzazione, nella terza area di cui al punto 1, di una prova con tecnica MASW per la misura delle Vs ed individuazione del bedrock sismico;
4. Aggiornamento delle cartografie di primo e secondo livello con dati delle nuove indagini e secondo gli ultimi standard di rappresentazione e archiviazione:
  - a. Carta delle indagini
  - b. Carta geologico-tecnica (ex Carta lito-morfologica)
  - c. Carta delle MOPS
  - d. Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)
  - e. Carta delle frequenze naturali dei terreni;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	4 di 56

5. realizzazione di prove di colonna risonante sui campioni per la determinazione delle curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione;
6. valutazione della risposta sismica locale mediante il programma Strata che calcola la risposta dinamica monodimensionale di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo;
7. calcolo dei fattori di amplificazione in termini di picco di accelerazione ( $FA_{PGA}$ ), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
8. calcolo del fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità ( $FA_{IS}$ ) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s;
9. stima dei fattori di amplificazione da tabelle regionali per le aree a cui non è possibile assegnare i valori ottenuti mediante risposta sismica locale, a causa del differente assetto sismo-stratigrafico.
10. redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 per i diversi FA:
  - a.  $FA_{PGA}$
  - b.  $FA_{IS\ 0.1-0.5}$
  - c.  $FA_{IS\ 0.5-1.0}$
  - d.  $FA_{IS\ 0.5-1.5}$

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	5 di 56

## 2. INDAGINI ED ANALISI

Di seguito vengono descritte le indagini e le analisi specifiche effettuate per la microzonazione di 3° livello.

Le tre aree di indagine sono state individuate, in accordo con i Tecnici del Comune, principalmente sulla base degli studi di secondo livello.

Il primo sondaggio è stato realizzato a Monticelli Terme, il secondo presso Basilicanova mentre la prova con tecnica MASW in località Basilicagoiano. Nella sottostante Fig. 1 si riportano le ubicazioni su base CTR.



**Fig. 1 - Ubicazione dei punti di indagine**

### 2.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Nella campagna indagine sono stati eseguiti, da parte della ditta Elletipi s.r.l. di Ferrara, due sondaggi verticali a carotaggio continuo (S1 ed S2) entrambi spinti a una profondità di 30.0 metri dal piano campagna.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	6 di 56

Entrambi i sondaggi sono stati attrezzati con un tubo in PVC per l'esecuzione della prova Down-Hole.

Nell'indagine è stata utilizzata una sonda a rotazione impiegando per la perforazione dei carotieri semplici. Nel corso delle operazioni di perforazione sono stati prelevati un totale di n°2 campioni indisturbati (usando campionatori in acciaio a pareti sottili "Shelby") e n°1 di campioni rimaneggiati, successivamente inviati al Laboratorio Elletipi per le analisi.

Nelle litostratigrafie allegare sono riportate:

- le suddivisioni stratigrafiche con relative quote e le descrizioni litologiche effettuate direttamente in campagna con metodi speditivi;
- le quote di prelievo dei campioni indisturbati;
- la determinazione speditiva di campagna del valore di pocket penetrometer, espressi in Kg/cm<sup>2</sup>;
- il livello di falda misurato durante l'esecuzione della perforazione.

## 2.2 Prove di laboratorio

I campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati inviati al Laboratorio Elletipi srl di Ferrara per le analisi geotecniche.

Per ogni campione prelevato sono state eseguite le seguenti prove:

- Descrizione geotecnica;
- Determinazione dei Limiti di Atterberg;
- Determinazione delle caratteristiche granulometriche;
- Determinazione del peso di volume;
- Determinazione dell'umidità naturale.

Inoltre sui due campioni indisturbati sono state eseguite n° 2 prove in colonna risonante per la determinazione dei parametri  $G/G_0$  e D.

I risultati delle prove di laboratorio sono riportati in allegato e descritti nel paragrafo 3.4.3.

## 2.3 Prove Down-Hole

Per misurare la velocità delle onde S nel terreno sono state eseguite due indagini sismiche tipo Down-Hole.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	7 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

A tale scopo i sondaggi, al termine della perforazione, sono stati attrezzati con un tubo in PVC del diametro di 3 pollici. Tale tubo è stato reso solidale con il terreno tramite cementazione con boiaccia di cemento iniettato mediante pompa a bassa pressione.

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

La prova Down-Hole è stata eseguita con cadenza delle misure pari ad un metro, dal p.c. fino a fondo sondaggio, ad una profondità di 30 metri, utilizzando il sismografo digitale DoReMi della Sara Eletronic Instruments collegato ad un geofono da foro tridimensionale Sara SS-BH con 5 canali di cui uno Verticale e quattro orizzontali da 10 Hz.

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

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

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

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

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

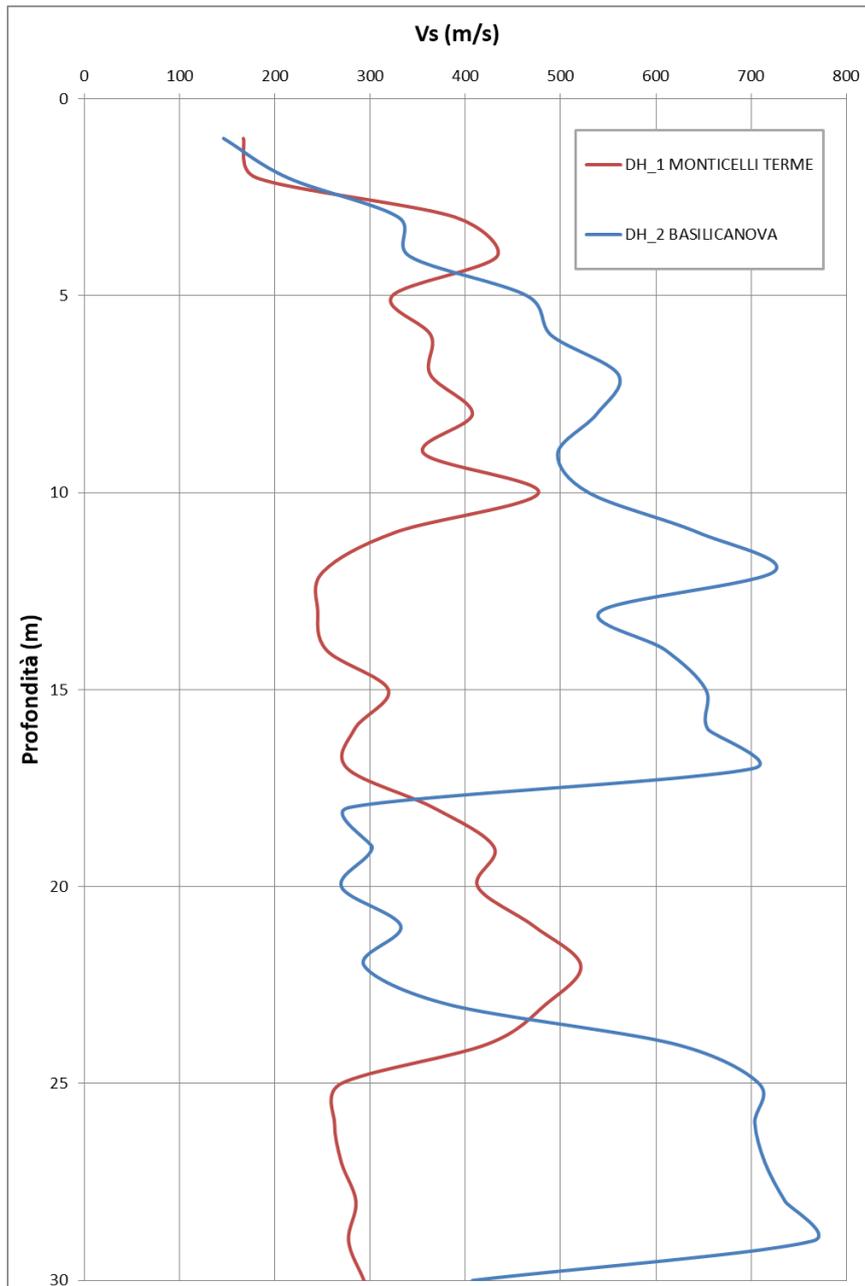
Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungono il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato. Questo passaggio purtroppo costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali, in quanto i geofoni orizzontali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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	8 di 56

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

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

In Fig. 2 viene riportato il grafico, in funzione della profondità della velocità delle sole onde S, necessarie per determinare la categoria sismica del sottosuolo.



**Fig. 2 - Valori di Vs in funzione della profondità misurati con le due prove Down-Hole - Monticelli Terme e Basilicanova**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 2.4 Prova con tecnica MASW

A Montechiarugolo, per misurare la velocità delle onde S nel terreno è stata eseguita una indagine sismica tipo MASW.

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (*Rayleigh*), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S nel sottosuolo, portando quindi a determinare anche il parametro  $V_{s30}$  (velocità media delle onde S nei primi 30m).

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

Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidezza del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

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

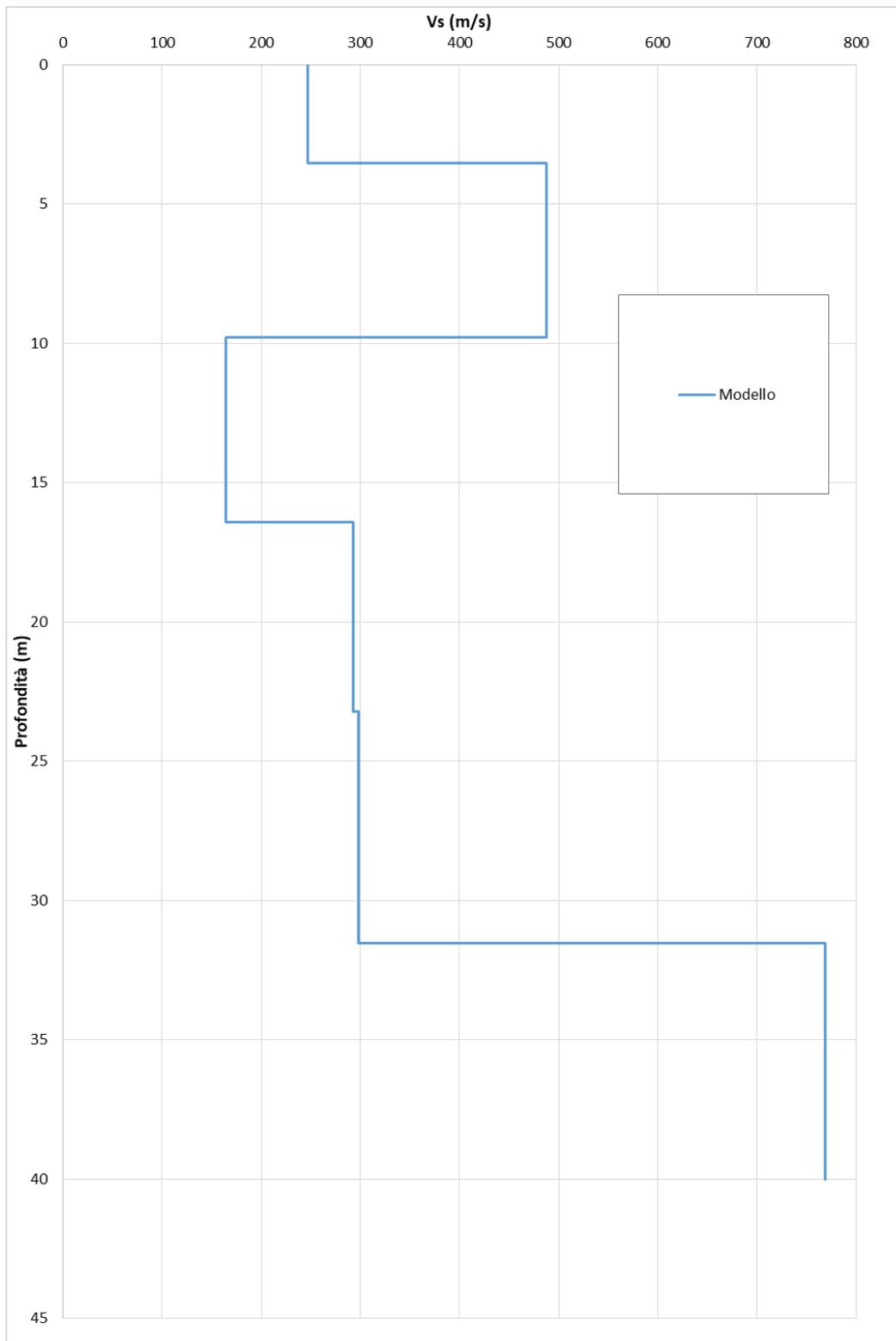
Nel dettaglio, l'indagine è stata realizzata con un sismografo a 16 canali, utilizzando geofoni verticali con frequenza caratteristica di 4.5Hz posizionati a 2 m l'uno dall'altro; come sorgente è stata utilizzata una mazza da 5 Kg battente su piastra metallica.

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

Ulteriori specifiche di acquisizione sono contenute nel report riportato allegato.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	10 di 56

In Fig. 3 viene riportato il grafico, in funzione della profondità, della velocità delle sole onde S degli strati individuati.



**Fig. 3 - Profilo delle velocità delle onde S da prova MASW - Basilicogiano**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	11 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

### 3. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Di seguito vengono fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale, valide per tutti e tre i siti indagati. Nei successivi paragrafi, saranno, poi, illustrati i risultati della RSL per ciascun sito.

#### 3.1 Pericolosità sismica di base

Nel caso della valutazione della risposta sismica locale di 3° livello nell'ambito della microzonazione sismica i parametri di riferimento (PGA su suolo di categoria A, spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento) sono definiti dall'Allegato A4 della DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna.

In particolare l'Allegato A4 contiene:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna;
- le indicazioni per il reperimento e l'utilizzo dei segnali di riferimento selezionati.
- le indicazioni per il calcolo dei valori di  $a_{refg}$  (10% di probabilità di superamento in 50 anni) di ogni sito indagato;

Per i tre punti di indagine il parametro  $a_{refg}$  risulta il seguente (Tab. 1)

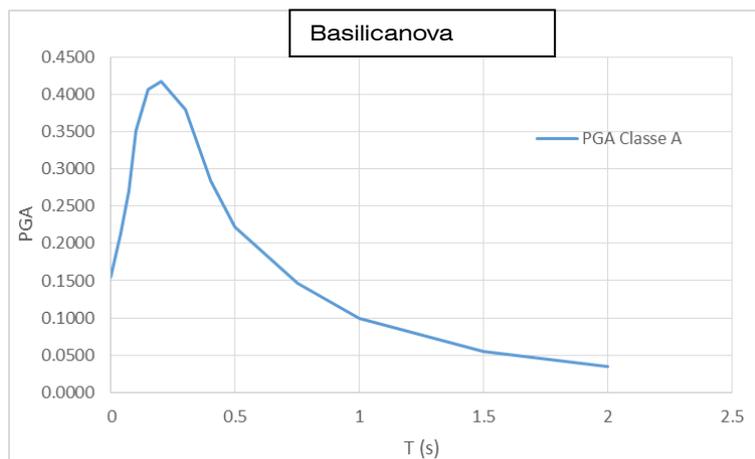
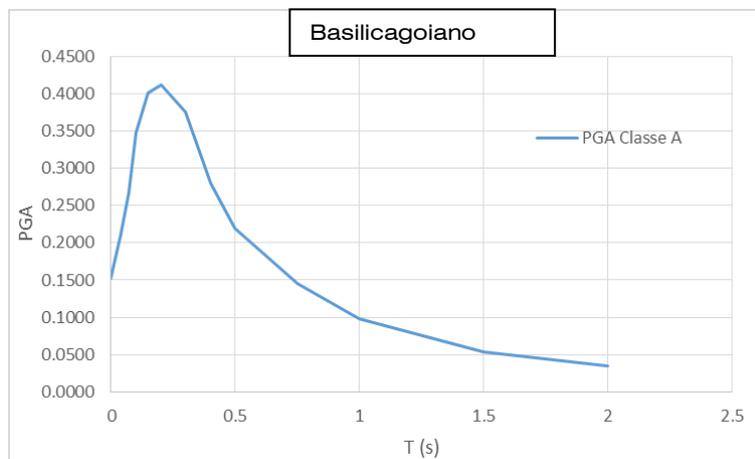
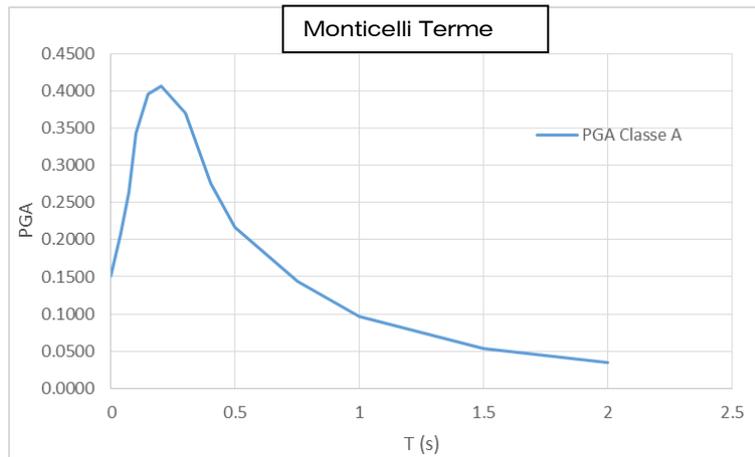
Sito	$a_{refg}$ ( $a_g/g$ )
Monticelli Terme	0.150
Basilicogioiano	0.152
Basilicanova	0.154

**Tab. 1 - Valori di  $a_{refg}$  (10% di probabilità di superamento in 50 anni)**

Di conseguenza, gli spettri elastici di risposta in accelerazione (Fig. 4) di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale, e i conseguenti spettri di risposta in velocità, per il calcolo dell'intensità di Housner, (Fig. 5), calcolati sulla base dei valori di  $a_{refg}$  indicati, sono riportati nelle pagine successive.

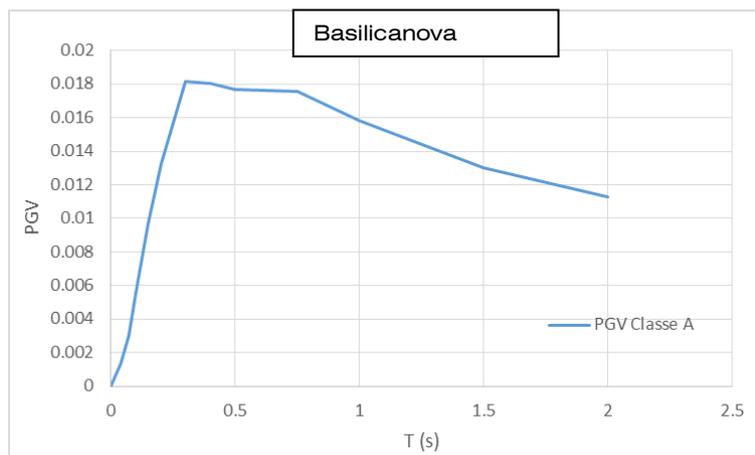
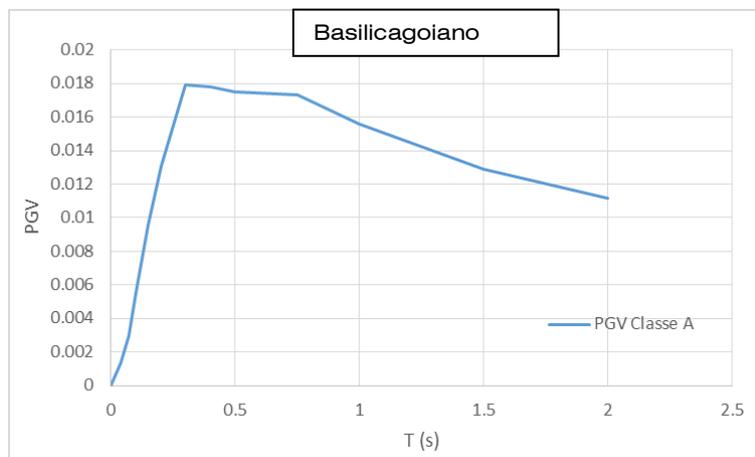
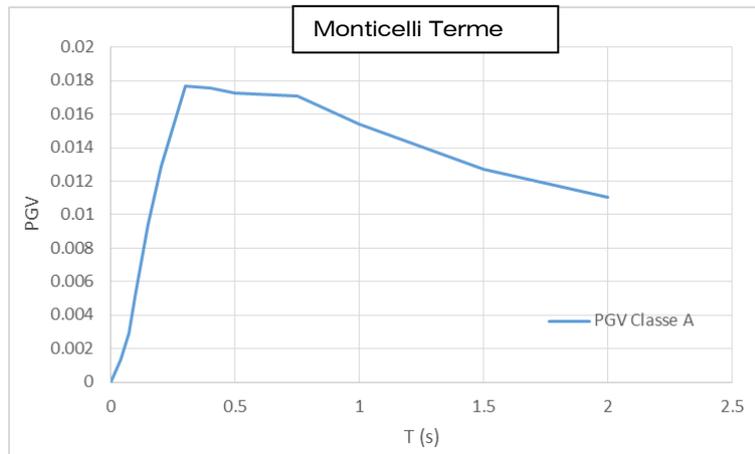
Come si può facilmente constatare, essendo le accelerazioni su suolo di tipo A (suolo rigido) molto simili tra loro, i grafici si differenziano di poco.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	12 di 56



**Fig. 4 - Spettri di risposta elastici in accelerazione su suolo rigido (475Y) per i tre siti indagati**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	13 di 56



**Fig. 5 - Spettri di risposta elastici in velocità su suolo rigido (475Y) per i tre siti indagati**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	14 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

### 3.2 Disaggregazione e magnitudo

Per poter selezionare i terremoti naturali da un catalogo, da utilizzare come base per le successive elaborazioni di RSL, è necessario dapprima definire le caratteristiche sismogenetiche del sito, cioè definire la coppia di dati magnitudo-distanza che meglio caratterizzano il sito stesso. Tale operazione, nota come disaggregazione, consiste nell'individuazione, a partire da uno studio di pericolosità sismica con metodo probabilistico, le coppie di dati (appunto magnitudo e distanza) che maggiormente concorrono alla sismicità di un sito.

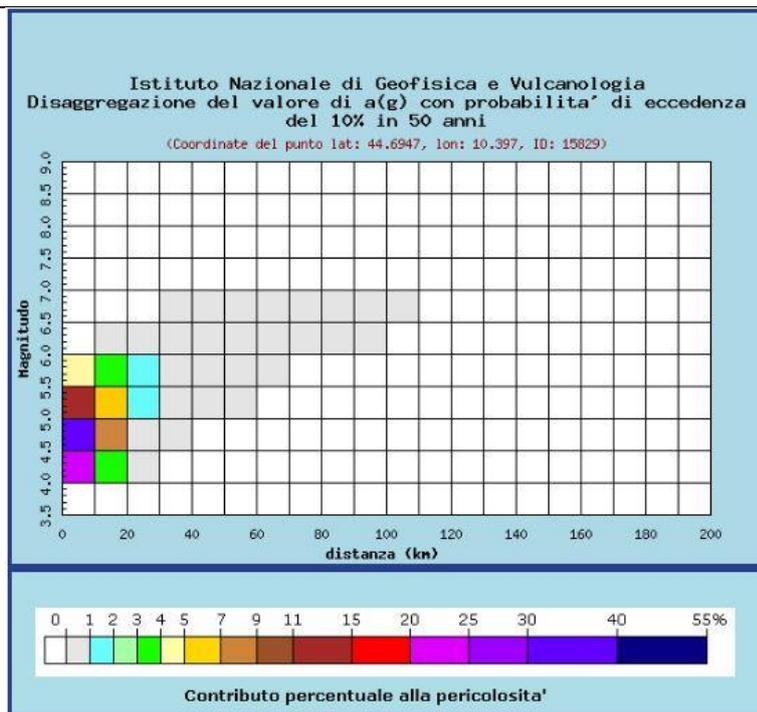
A tale scopo, si sono utilizzati i dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che fornisce i valori disaggregati magnitudo-distanza, ovvero, il contributo percentuale delle diverse coppie di dati magnitudo-distanza alla pericolosità di base con riferimento ai nodi del reticolo di riferimento, individuato dall'Allegato A delle NTC 2008.

Nel caso in esame, si è considerato il solo nodo 15829, in quanto è il più prossimo a tutti i tre siti in esame.

Come si osserva in Fig. 6 il sito INGV fornisce direttamente i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon, ma anche i dati che consentono di ricostruire la curva di probabilità di accadimento di un evento che tiene conto di tutte le coppie magnitudo-distanza vicine all'area di interesse.

Per il sito in questione si constata che il massimo contributo percentuale alla pericolosità sismica di base è fornita per terremoti di magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 nel range di distanza tra 0 e 10 Km. Importanti contributi sono però forniti anche da sismi con magnitudo tra 4.0-4.5 e 5.0-6.0 sempre nel range 0-10 Km, ed in misura leggermente minore da sismi con magnitudo 4.5-5.5 nel range tra 10 e 20 Km.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	15 di 56



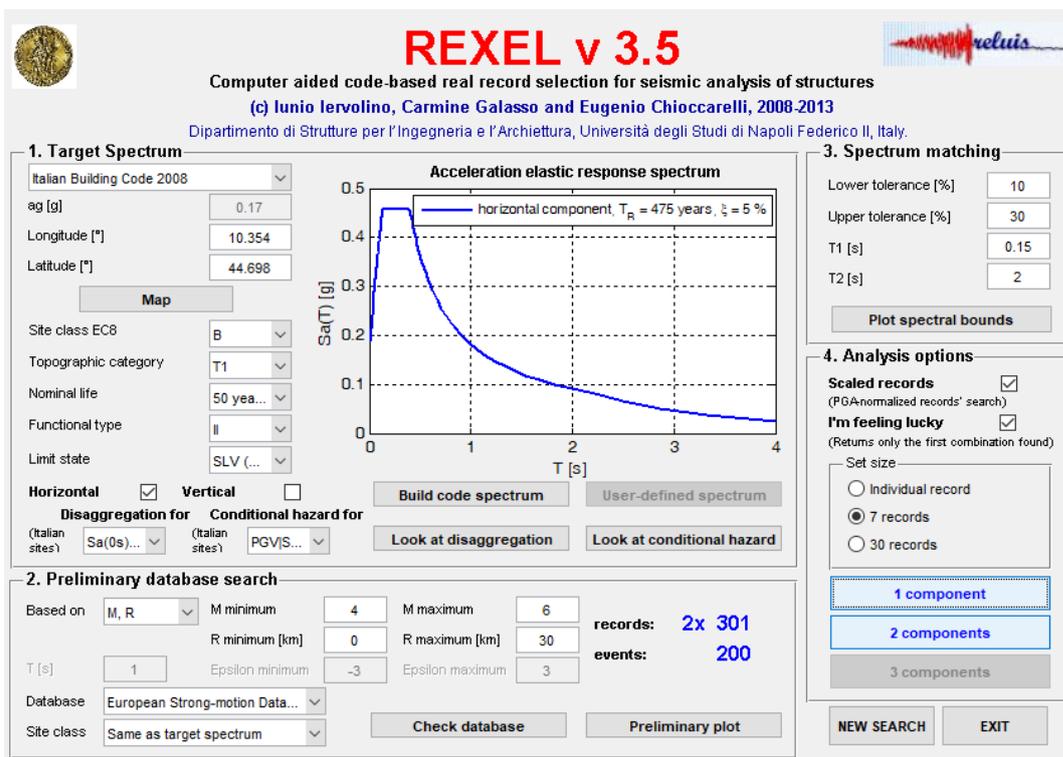
Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.850	8.220	0.841

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.6947, lon: 10.397, ID: 15829)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	20.900	32.800	14.500	4.380	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.620	8.890	6.770	3.150	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.071	0.898	1.580	1.170	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.015	0.283	0.438	0.101	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.017	0.130	0.112	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.050	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.014	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

**Fig. 6 - Disaggregazione magnitudo-distanza per il nodo 15829 da INGV**

### 3.3 Segnali in input

Quali dati di input sismico sono stati utilizzati, oltre a quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DGR 2193/2015<sup>1</sup>, anche quelli forniti dal programma REXEL<sup>2</sup>, che consente di individuare un numero a scelta di accelerogrammi spettro compatibili con il sito di riferimento, in relazione alla disaggregazione magnitudo-distanza discussa nel paragrafo precedente. La ricerca mediante REXEL è stata fatta nel database European Strong-Motion Data<sup>3</sup>.



**Fig. 7 – Esempio schermata di impostazione della ricerca dei sismi per il sito di Basilicanova**

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati.

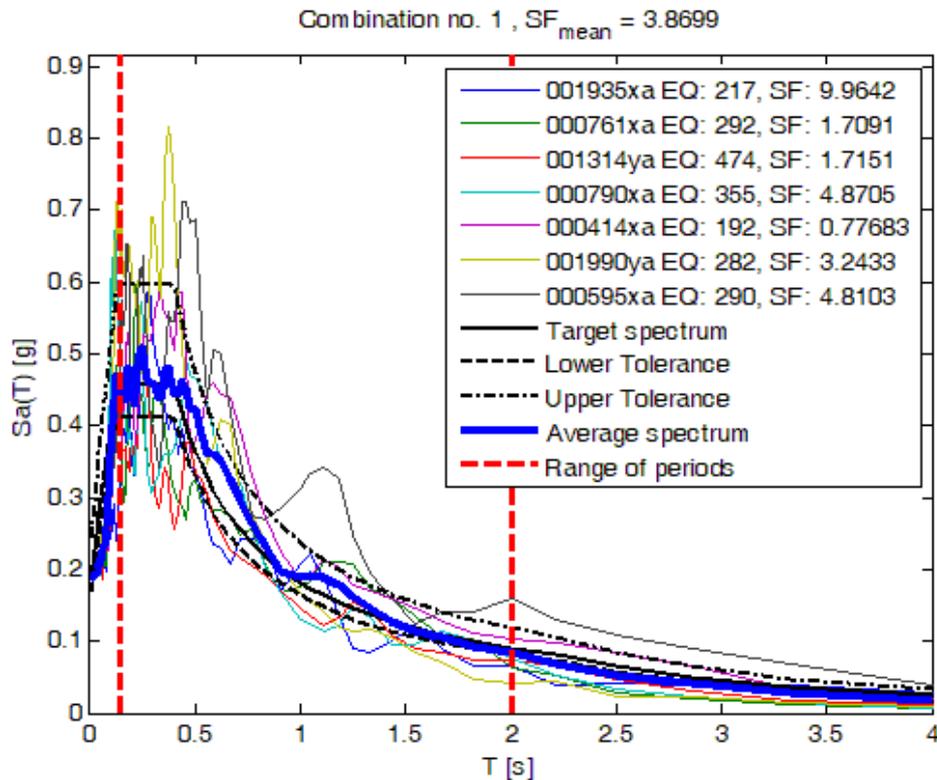
<sup>1</sup> disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica)

<sup>2</sup> Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E. (2010) “REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis”. Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362, 2010 DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

<sup>3</sup> Ambraseys, N., Smit, P., Sigbjornsson, R., Suhadolc, P. and Margaris, B. (2002) “Internet-Site for European Strong-Motion Data”, European Commission, Research-Directorate General, Environment and Climate Programme

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	17 di 56

Sia nel caso dei sismogrammi RER che tramite Rexel, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.



**Fig. 8 - Dimostrazione della spettro-compatibilità degli accelerogrammi selezionati per il sito di Basilicanova**

Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce 3 segnali per ciascun comune. Rexel, invece, ha fornito 7 accelerogrammi uguali per i siti di Monticelli e Basilicogiano ed altri 7 per il sito di Basilicanova.

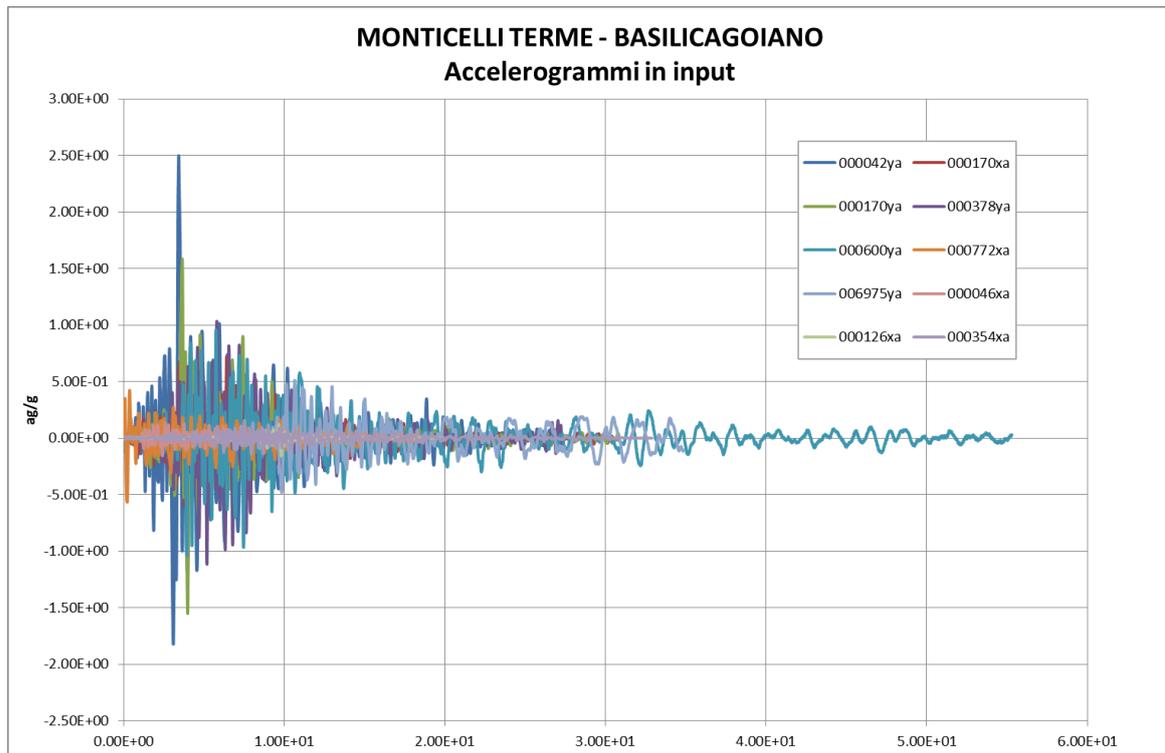
Nel complesso, quindi, per ciascun sito, sono stati utilizzati 10 accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale (tabelle e figure seguenti). Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalla RER e indicato in Tab. 1.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	18 di 56

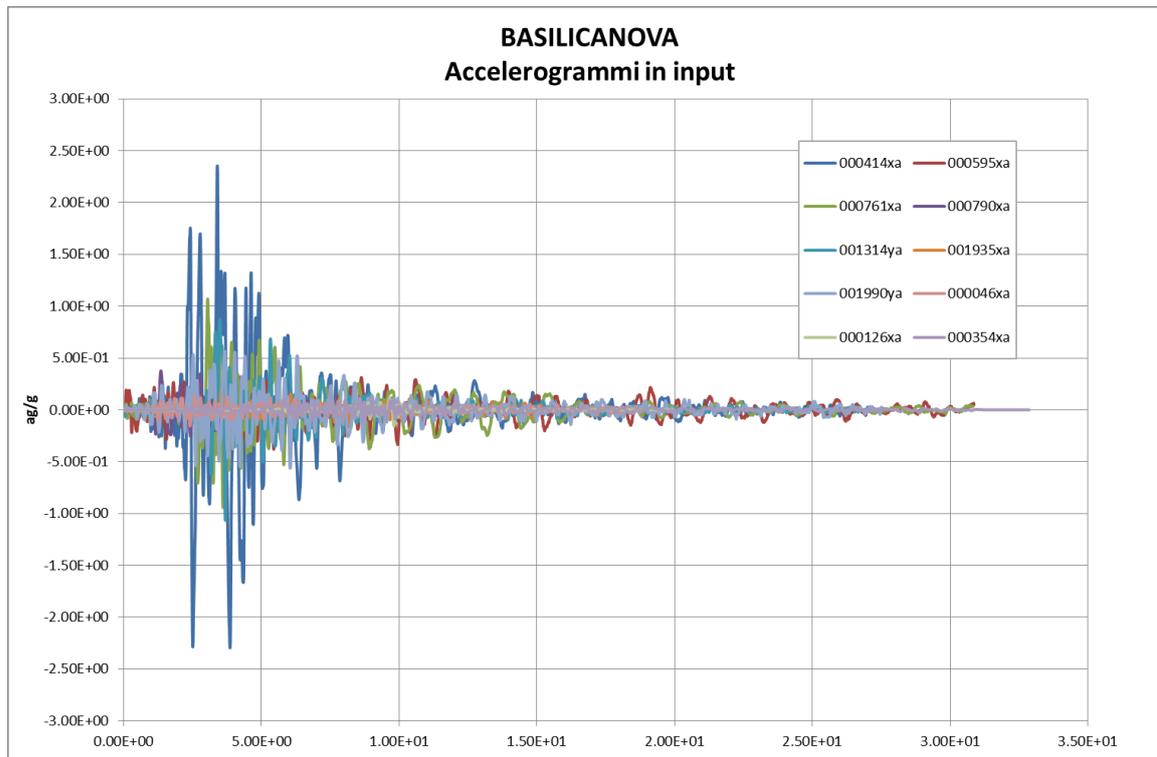
<b>MONTICELLI TERME - BASILICAGOIANO</b>	
<b>Segnali RER</b>	<b>Segnali Rexel</b>
000046xa_034023Montechiarugolo.xy	000042ya
000126xa_034023Montechiarugolo.xy	000170xa
000354xa_034023Montechiarugolo.xy	000170ya
	000378ya
	000600ya
	000772xa
	006975ya

<b>BASILICANOVA</b>	
<b>Segnali RER</b>	<b>Segnali Rexel</b>
000046xa_034023Montechiarugolo.xy	000414xa
000126xa_034023Montechiarugolo.xy	000595xa
000354xa_034023Montechiarugolo.xy	000761xa
	000790xa
	001314ya
	001935xa
	001990ya

**Tab. 2 – Segnali in input utilizzati nelle analisi di RSL**



**Fig. 9 – Segnali di input nelle analisi di RSL per i siti di Monticelli e Basilicagoiano**



**Fig. 10 – Segnali di input nelle analisi di RSL per il sito di Basilicanova**

### 3.4 Modello geofisico del sottosuolo

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

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

Tale modellazione va spinta in profondità fino a raggiungere il bedrock sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità  $V_s > 800$  m/s.

#### 3.4.1 Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati, per quanto riguarda Monticelli Terme e Basilicanova, i dati delle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo integrati da stratigrafie note, quando necessario; situazione diversa

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	20 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

per il sito di Basilicagoiano dove sono state impiegate stratigrafie di pozzi limitrofi l'area di studio e forniti dal database geologico della Regione Emilia Romagna.

### ***3.4.2 Determinazione della Vs e del bedrock sismico***

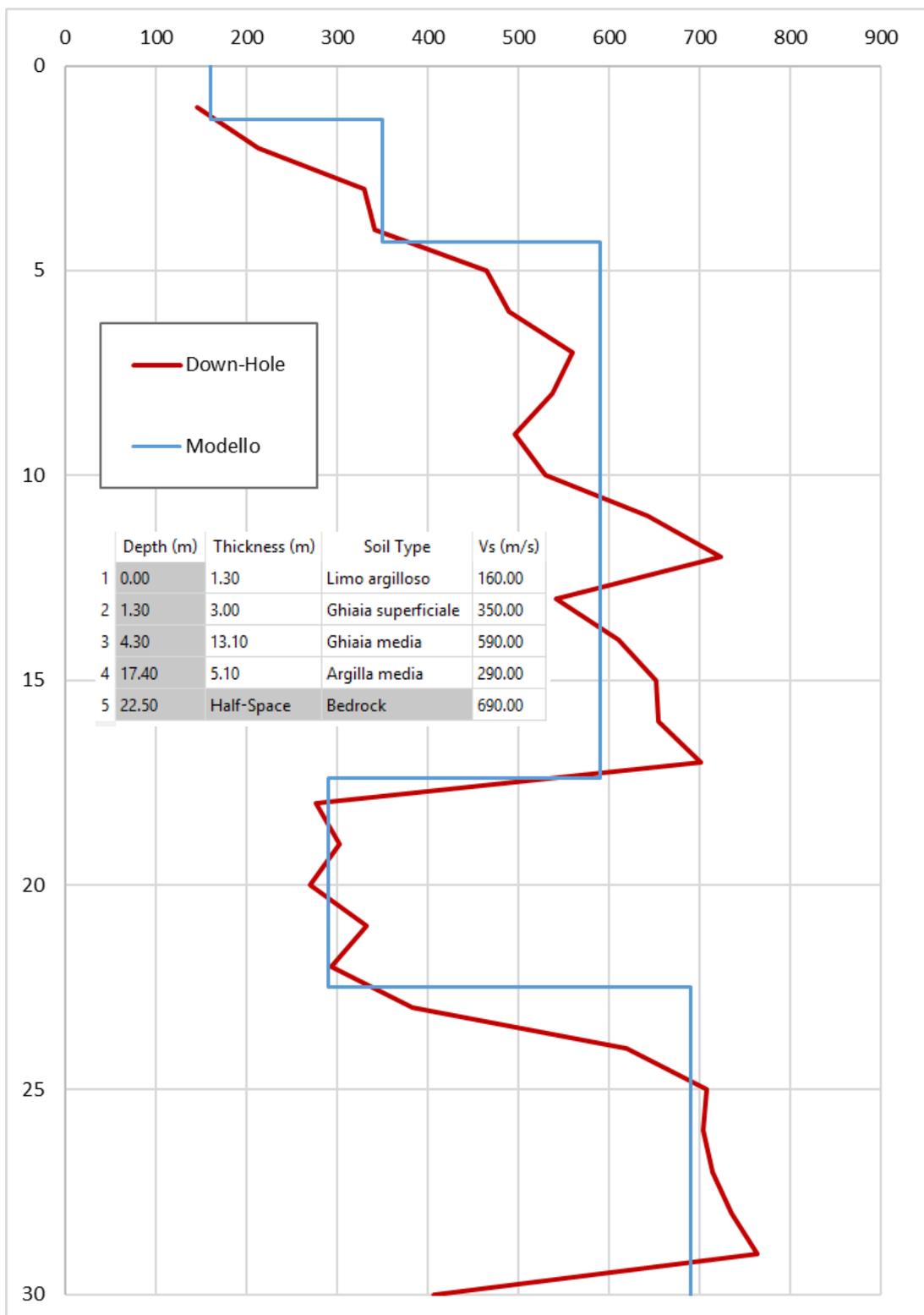
Per quanto riguarda la velocità delle onde S in funzione della profondità si è fatto riferimento alle misure delle tre prove (due DH ed una MASW) fino alla massima profondità indagata.

Per Monticelli Terme e Basilicagoiano, inoltre, è stato introdotto un bedrock sismico dedotto dalle stratigrafie integrative descritte nel capitolo precedente. Per il sito di Basilicanova il bedrock è stato individuato all'interno delle misure di Vs effettuate nella prova DH.

I dati di Vs registrati nel corso delle prove sono stati discretizzati per ottenere un modello semplificato, necessario per l'utilizzo nel codice di calcolo.

A titolo esemplificativo in Fig. 11 si riporta il confronto tra le misure di Vs in sito e la relativa discretizzazione per il sito di Basilicanova.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	21 di 56



**Fig. 11 - S2 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo Basilicanova**

### **3.4.3 Curve di variazione dello smorzamento ( $D$ ) e della rigidezza ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione**

Per la valutazione delle curve di variazione del rapporto di smorzamento ( $D$ ) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza,  $G/G_0$ ) in funzione della deformazione di taglio  $\gamma$ , sono state realizzate, come illustrato precedentemente, n° 2 prove di laboratorio in colonna risonante sui campioni prelevati nel corso del sondaggio S1 presso Monticelli Terme. I parametri sismici per le ghiaie, invece, sono stati desunti da letteratura (Rollins<sup>4</sup>).

Tali prove hanno fornito dati sperimentali che hanno consentito di definire le leggi di variazione dei parametri  $D$  e  $G/G_0$  mediante il modello iperbolico di Yokota (1981).

Le leggi di variazione proposte da Yokota sono le seguenti:

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

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

Dove:

$G/G_0$  = modulo di taglio normalizzato

$D$  = rapporto di smorzamento

$\gamma$  = deformazione di taglio

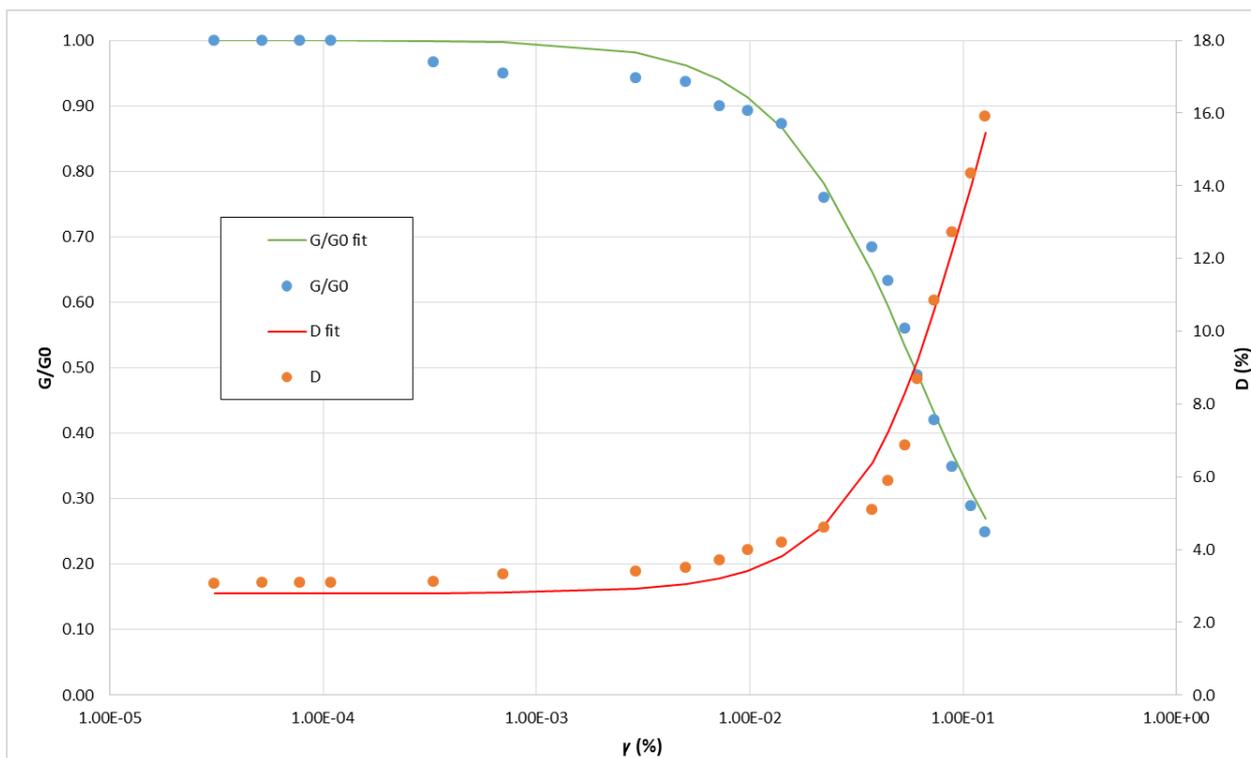
$\alpha, \beta, \eta, \lambda$  = parametri sperimentali del modello

Il fit dei dati sperimentali alle funzioni sopra descritte è stato effettuato con il metodo dei minimi quadrati ( $X^2$ ).

In Fig. 12 è riportato un grafico esemplificativo della procedura di normalizzazione utilizzata per il campione DH1SH1.

<sup>4</sup> Rollins, K.M., Evans, M.D., Diehl, N.B. & Dally, W.D. (1998) "Shear modulus and damping relationships for gravels". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*. 124(5): 396-405.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	23 di 56



**Fig. 12 - Grafico dei dati sperimentali e delle curve di interpolazione per il campione DH1SH1**

In Fig. 13 e Fig. 14 sono riportate le curve sintetiche ottenute utilizzando i fattori caratteristici,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\eta$  e  $\lambda$  (riassunti sinteticamente in Tab. 3) utili all'applicazione delle formule espresse sopra.

Camp.	Prof. (m)	litologia (UNI)	Parametri curve G/G0 e D					
			prova	$G_0$ (MPa)	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
DH1SH1	18.00-18.50	Limo con argilla ghiaioso	RC	58.00	40.65	1.31	28.99	2.34
DH1SH2	24.00-24.70	Argilla con limo	RC	76.91	12.99	1.03	25.81	2.66

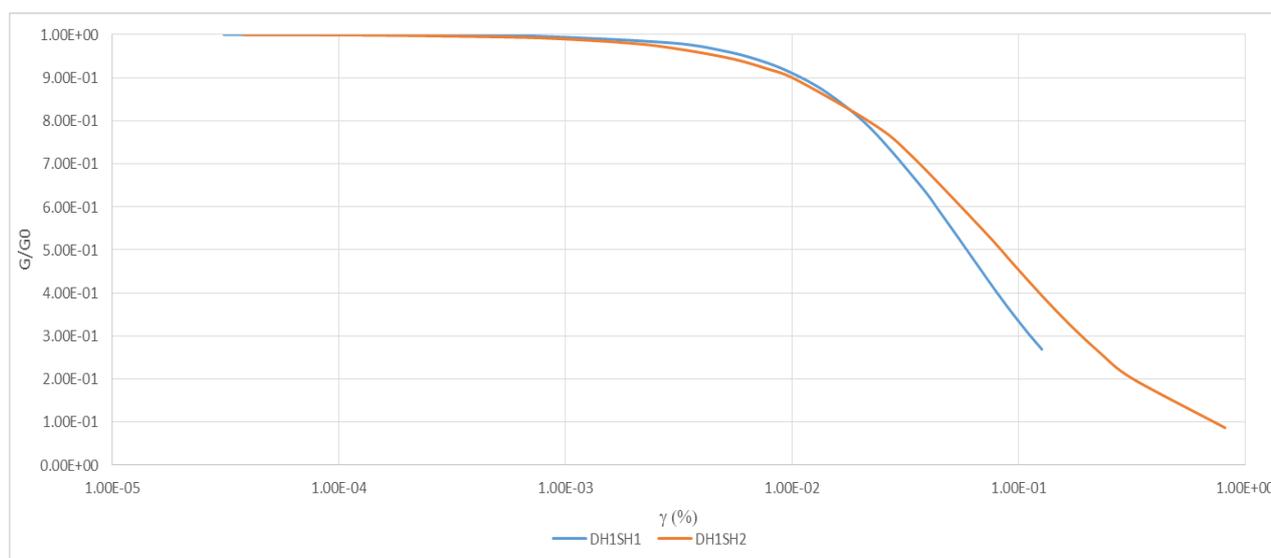
**Tab. 3 - Riepilogo dei risultati della ricostruzione delle curve sperimentali**

In Tab. 4 sono riportati i valori delle proprietà indice dei terreni analizzati. Va precisato che nel corso delle perforazioni sono stati prelevati 2 campioni, tutti caratterizzati al fine di verificare l'estensibilità delle prove RC ai diversi strati.

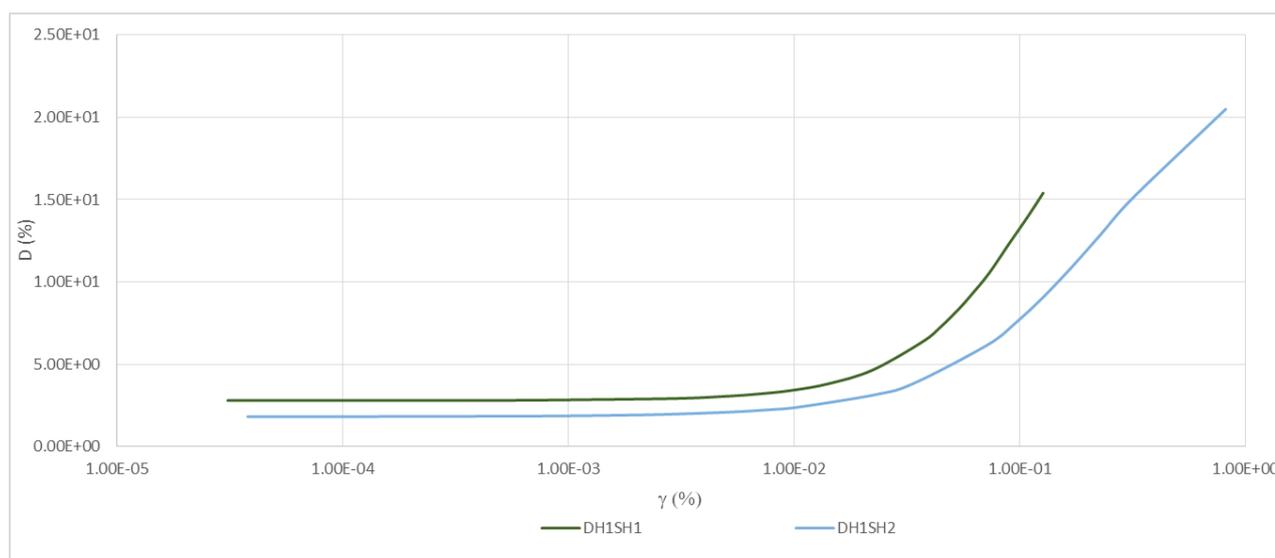
	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	24 di 56

Camp.	Prof.	Litologia (AGI)	Valori indice						Granulometria (UNI)			
			W	$\gamma_{nat}$	$\gamma_{sec}$	LL	LP	IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
			%	Mg/m <sup>3</sup>	Mg/m <sup>3</sup>	%	%	%	%	%	%	%
DH1SH1	18.00-18.50	Limo con argilla ghiaioso	37.8	0.82	1.31	62	26	36	16.7	9.9	37.5	35.9
DH1SH2	24.00 – 24.70	Argilla con limo	32.6	0.91	1.44	85	37	48	0.0	0.9	40.3	58.8

**Tab. 4 – Riepilogo delle proprietà indice dei terreni analizzati**



**Fig. 13 – Grafico delle curve di interpolazione di G/G<sub>0</sub> per i campioni indisturbati**



**Fig. 14 – Grafico delle curve di interpolazione di D per i campioni indisturbati**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

### 3.4.4 Codice di calcolo per la valutazione della RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo Strata<sup>5</sup> sviluppato da A. Kottke e E. Rathje<sup>6</sup>. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer<sup>7</sup>, 2001), con esito soddisfacente.

Strata calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo.

Il programma adotta le seguenti convenzioni:

- La risposta del deposito è causata da onde di taglio polarizzate orizzontalmente che si propagano verticalmente nel *bedrock* verso la superficie lungo una colonna verticale monodimensionale di terreno;
- Le superfici di stratificazione sono orizzontali;
- Le superfici del *bedrock* e delle stratificazioni si estendono lateralmente all'infinito;
- La stratificazione è lateralmente omogenea;
- La superficie topografica è priva di irregolarità.

La valutazione della RSL è stata effettuata utilizzando il modello "lineare equivalente" (EQL), che considera la variazione dei parametri di rigidità e smorzamento dei terreni in funzione della deformazione indotta dal sisma.

## 3.5 Risultati della modellazione numerica

I risultati della analisi condotte con il codice STRATA, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire, per ciascun sito comunale:

- La funzione di trasferimento del segnale sismico dal *bedrock* alla superficie;
- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA), da cui è stato derivato, mediante la formula  $PSV(Ti)=Ti*PSA(Ti)/2\pi$ , lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output.
- La curva di variazione dell'accelerazione con la profondità;

<sup>5</sup> Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.

<sup>6</sup> Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California

<sup>7</sup> Treasure island geotechnical array – case study for site response analysis. 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 23–26, 2011 · University of California Santa Barbara

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	26 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione ( $FA_{PGA}$ ), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità ( $FA_{IS}$ ) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido (cfr. Fig. 5). In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

$$FA_{IS\ 0.1-0.5} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.0} = \frac{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.5} = \frac{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

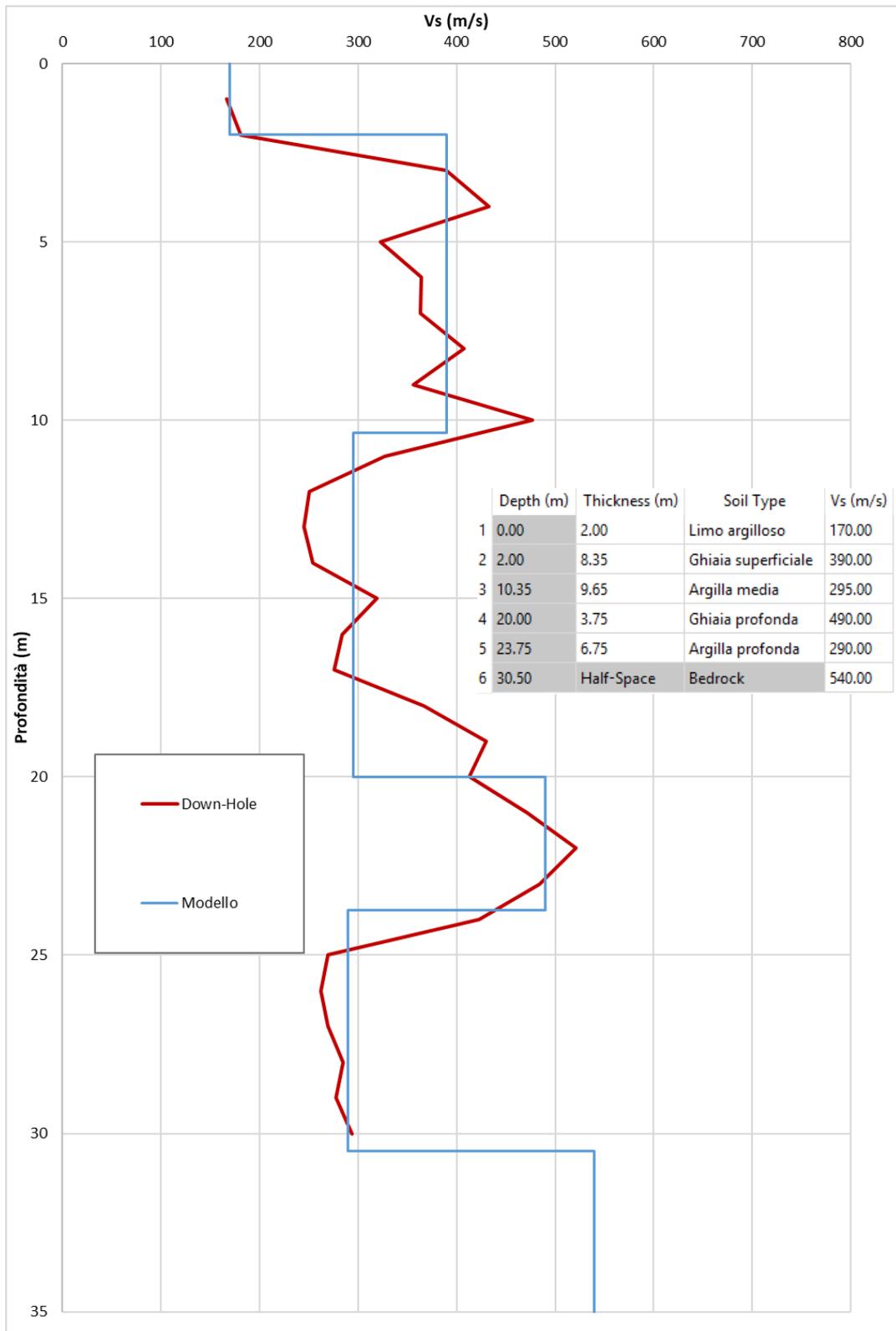
### 3.5.1 RSL per il sito di Monticelli

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

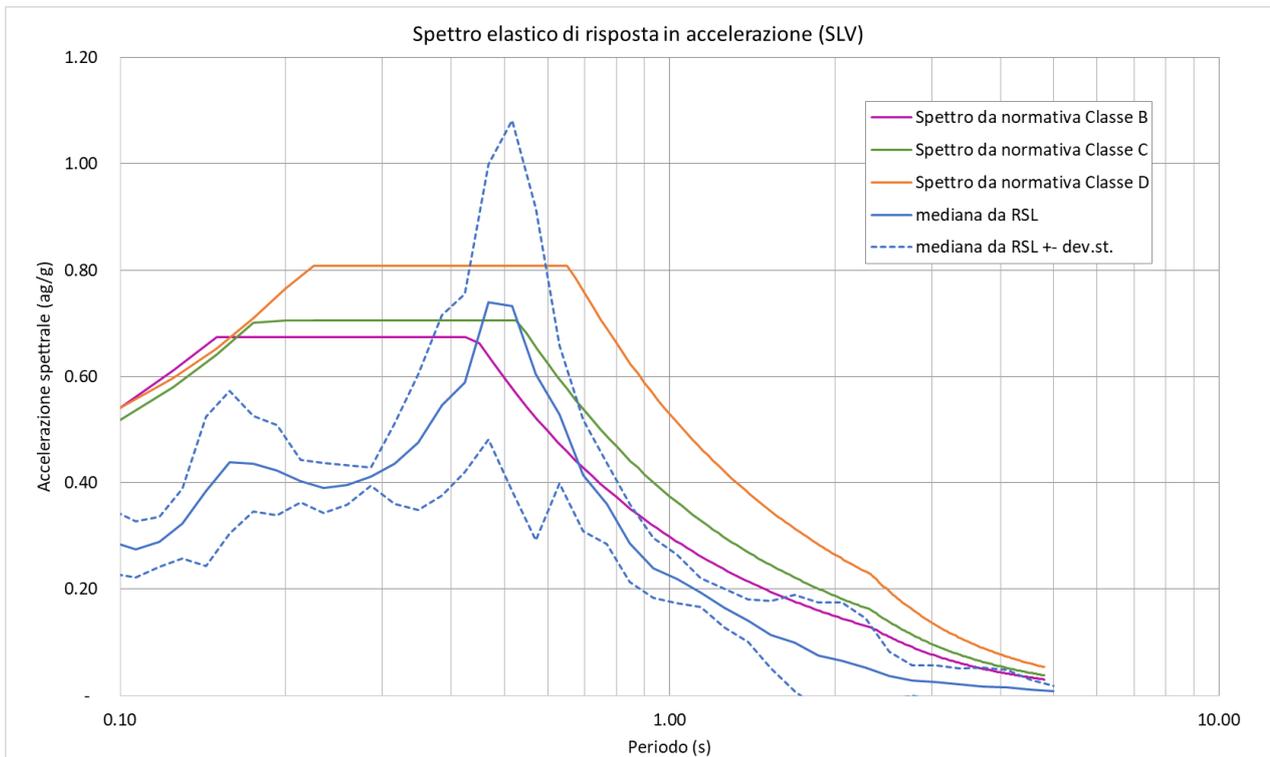
Litologia	Spess.	Prof.	$\gamma$	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(m/s)	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
Limo argilloso	2.00	0.00	18.00	170.00	8.48	0.87	20.16	2.29
Ghiaia superficiale	8.35	2.00	20.00	390.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla media	9.65	10.35	19.00	295.00	17.99	1.07	39.92	3.32
Ghiaia profonda	3.75	20.00	21.00	490.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla profonda	6.75	23.75	19.00	290.00	12.99	1.03	25.81	2.66
Bedrock		30.50	22.00	540.00				

**Tab. 5 - Modello geofisico Monticelli Terme**

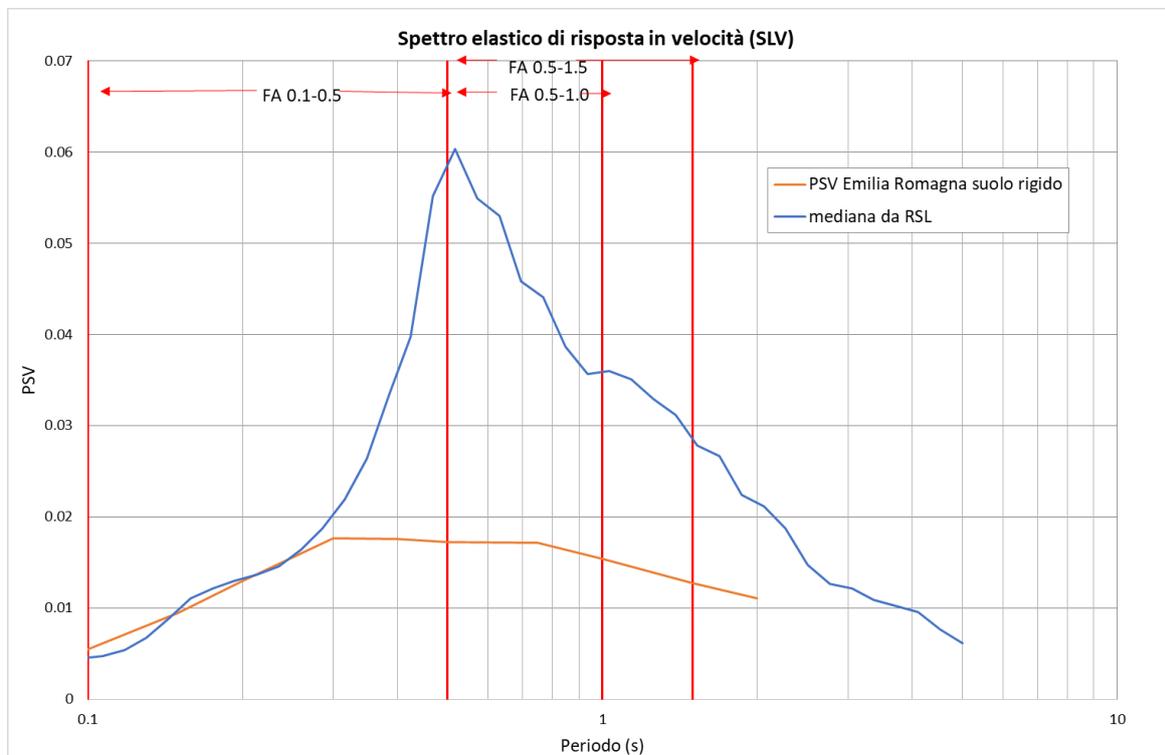
 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	27 di 56



**Fig. 15 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo Monticelli Terme**

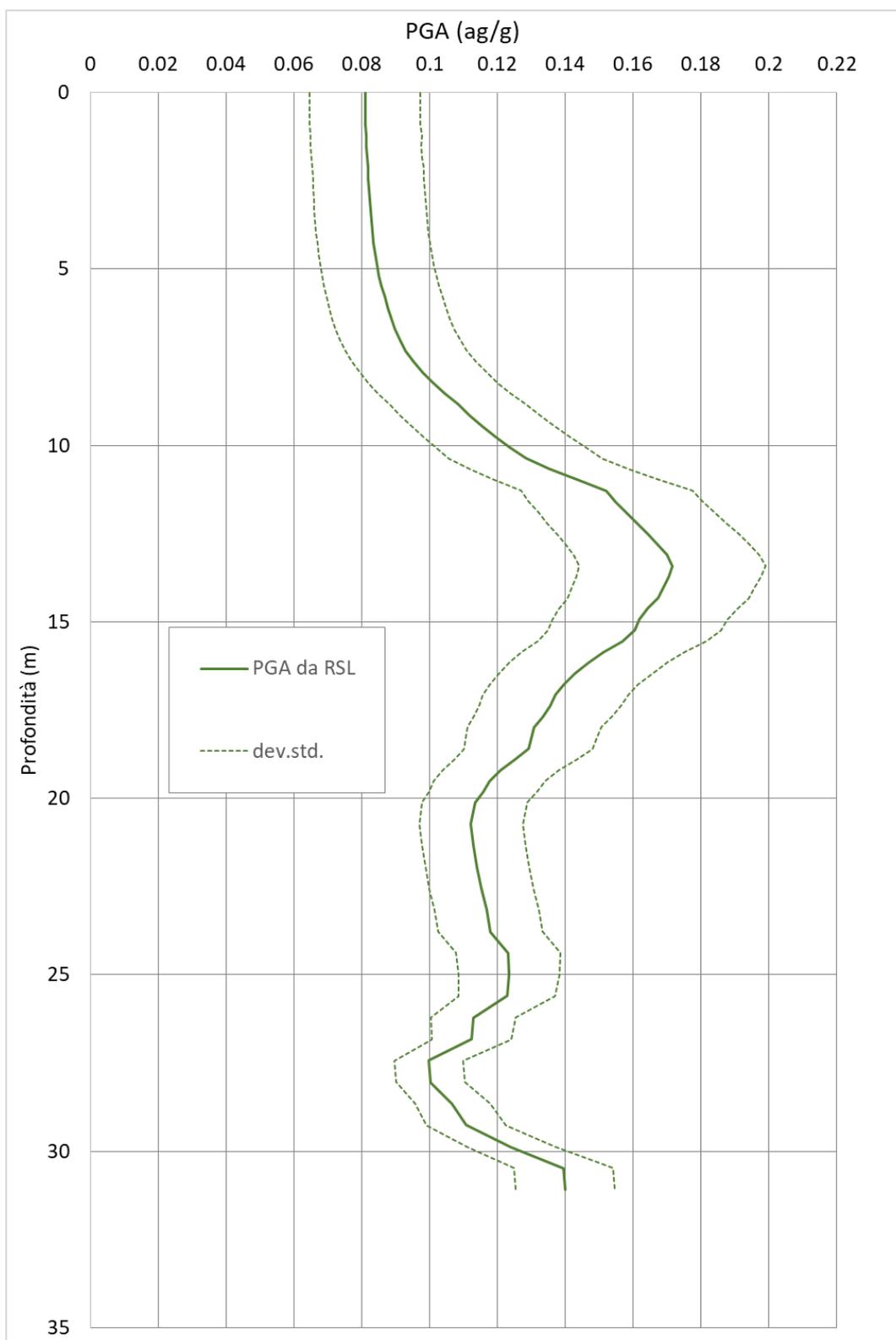


**Fig. 16 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione Monticelli Terme**



**Fig. 17 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità Monticelli Terme**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	29 di 56



**Fig. 18 - Variazione dell'accelerazione con la profondità Monticelli Terme**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	30 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

	RSL
$FA_{PGA}$	1.46
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.77
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	2.59
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	2.45

**Tab. 6 - Fattori di amplificazione Monticelli Terme**

### 3.5.2 RSL per il sito di Basilicogiano

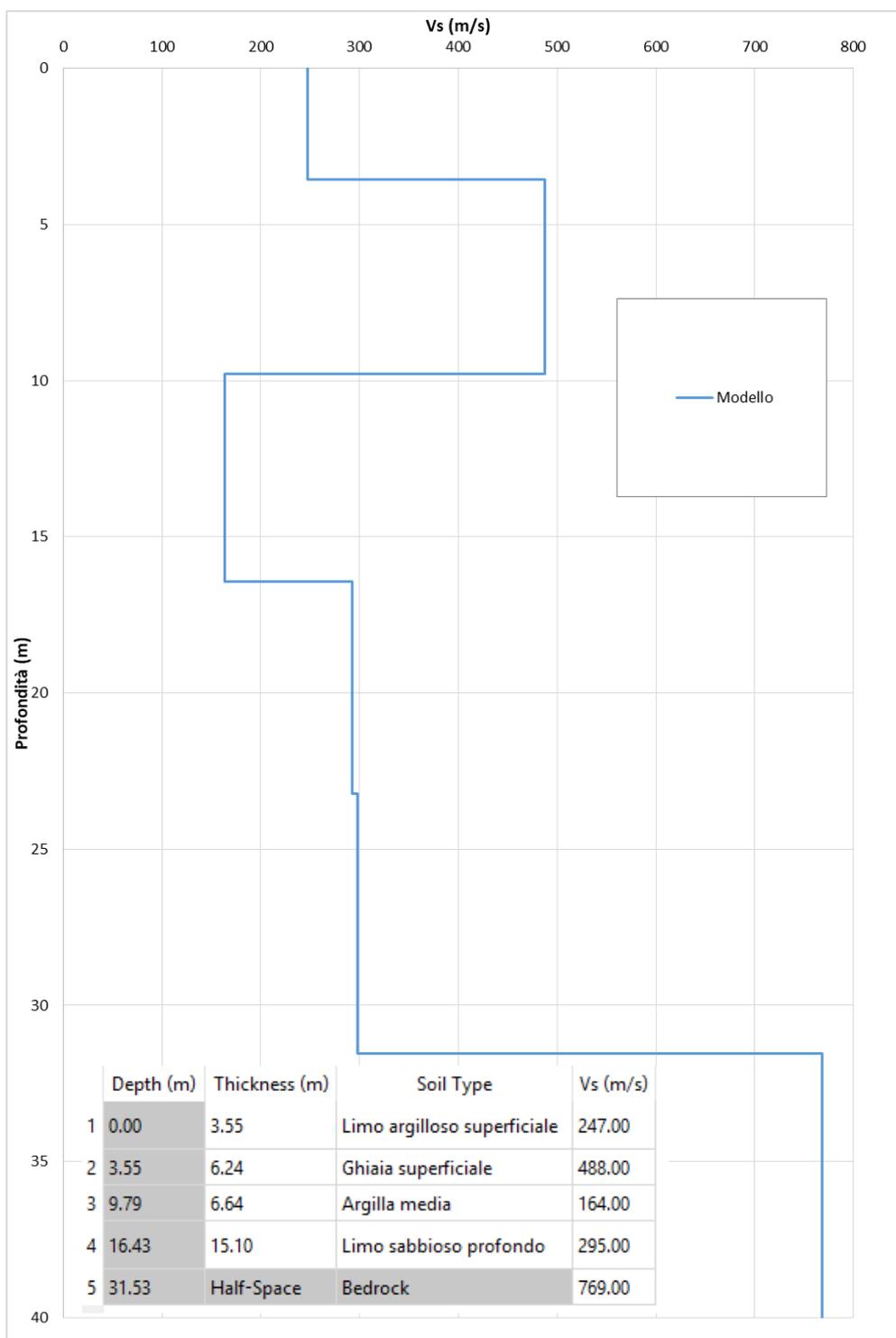
I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	$\gamma$	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(M)	(kN/m <sup>3</sup> )	(m/s)	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
Limo argilloso superficiale	3.55	0.00	18.00	247.00	8.48	0.87	20.16	2.29
Ghiaia superficiale	6.24	3.55	20.00	488.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla media	6.64	9.79	18.50	164.00	40.65	1.31	28.99	2.34
Limo sabbioso profondo	15.10	16.43	19.00	293.00	19.28	0.98	20.59	1.96
Bedrock		31.53	22.00	769.00				

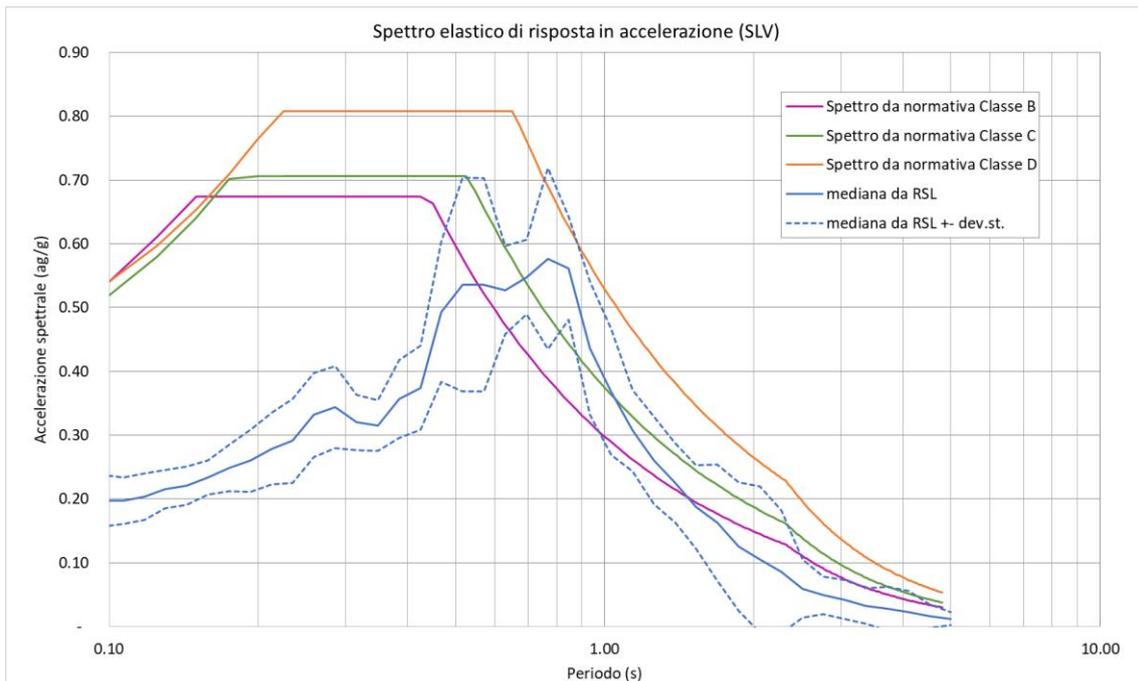
**Tab. 7 - Modello geofisico Basilicogiano**

A proposito del modello di Basilicogiano, si fa presente che, vista la discretizzazione degli strati effettuata dalla MASW, il modello stesso coincide con la misura di Vs.

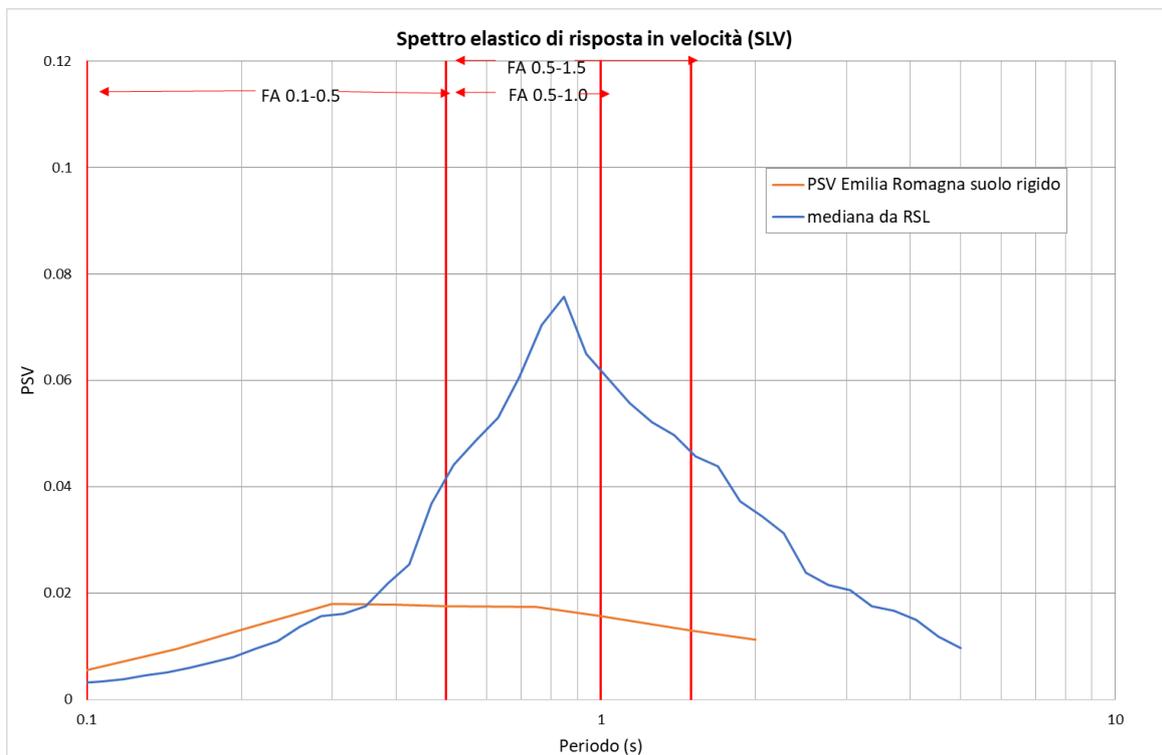
 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	31 di 56



**Fig. 19 - Profilo Vs da prova MASW e modello geofisico con codice di calcolo Basilicogiano**



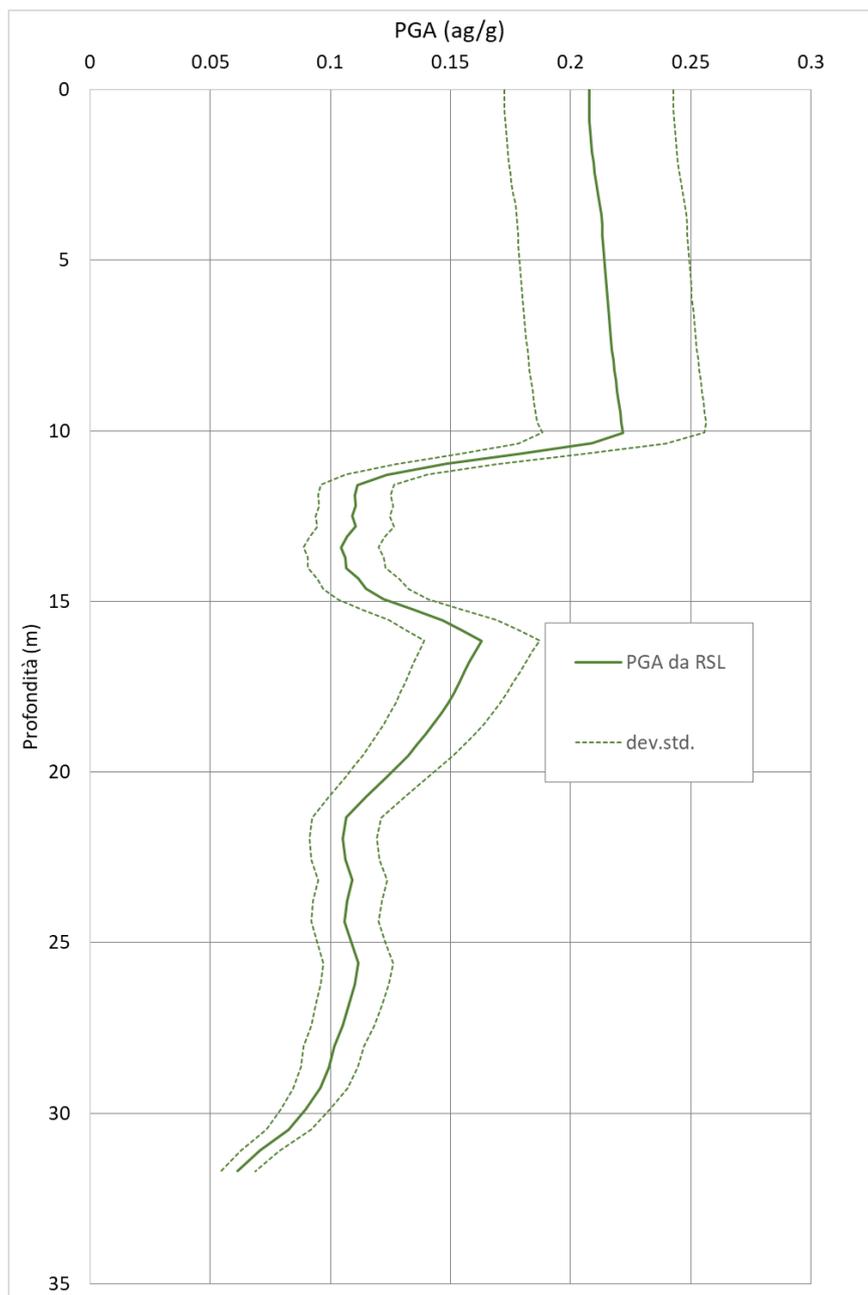
**Fig. 20 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione Basilicogiano**



**Fig. 21 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità Basilicogiano**

	RSL
$FA_{PGA}$	1.20
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.21
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	3.80
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	3.74

**Tab. 8 - S2 - Fattori di amplificazione**



**Fig. 22 - Variazione dell'accelerazione con la profondità Basilicogiano**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	34 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

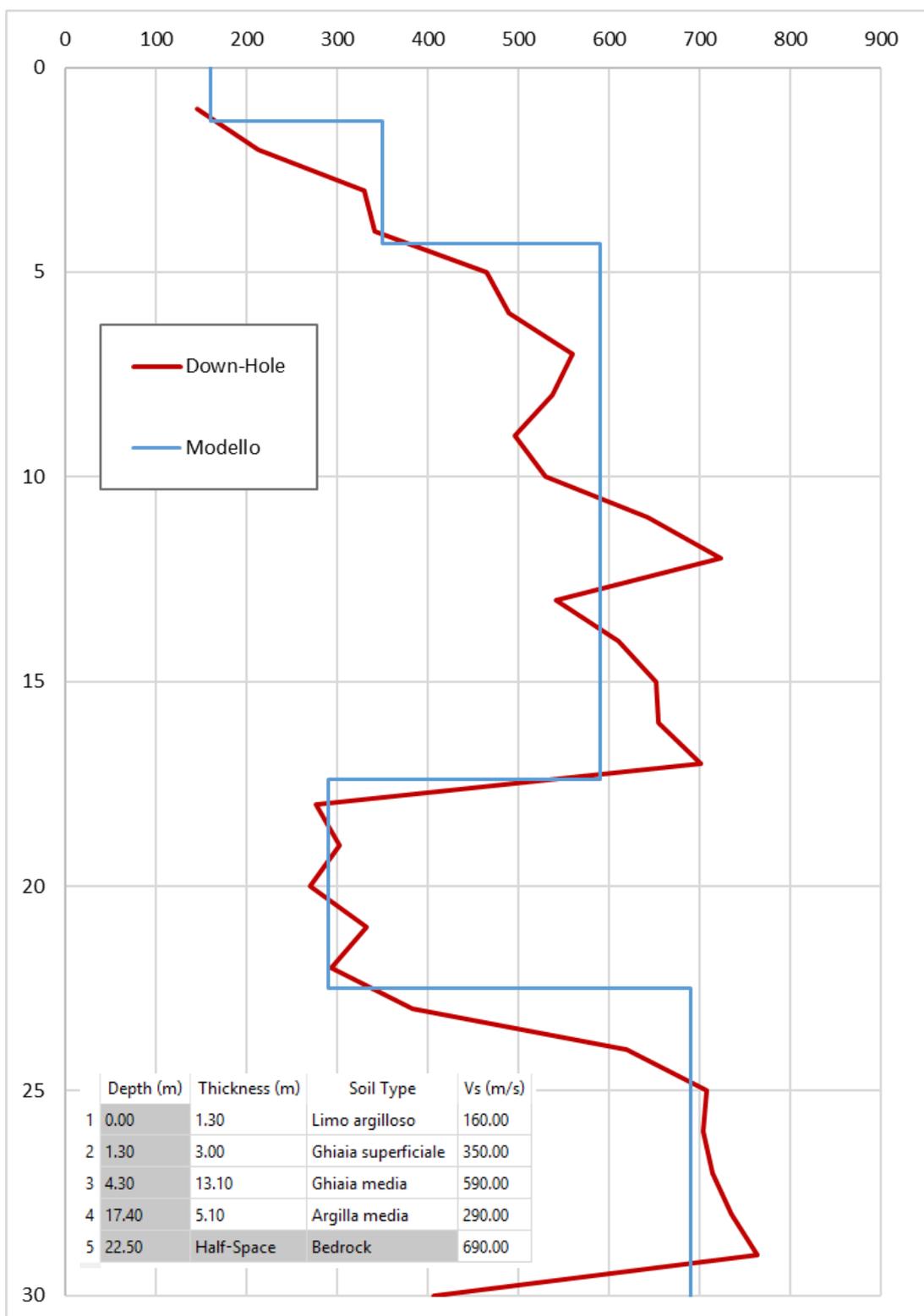
### 3.5.3 RSL per il sito di Basilicanova

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

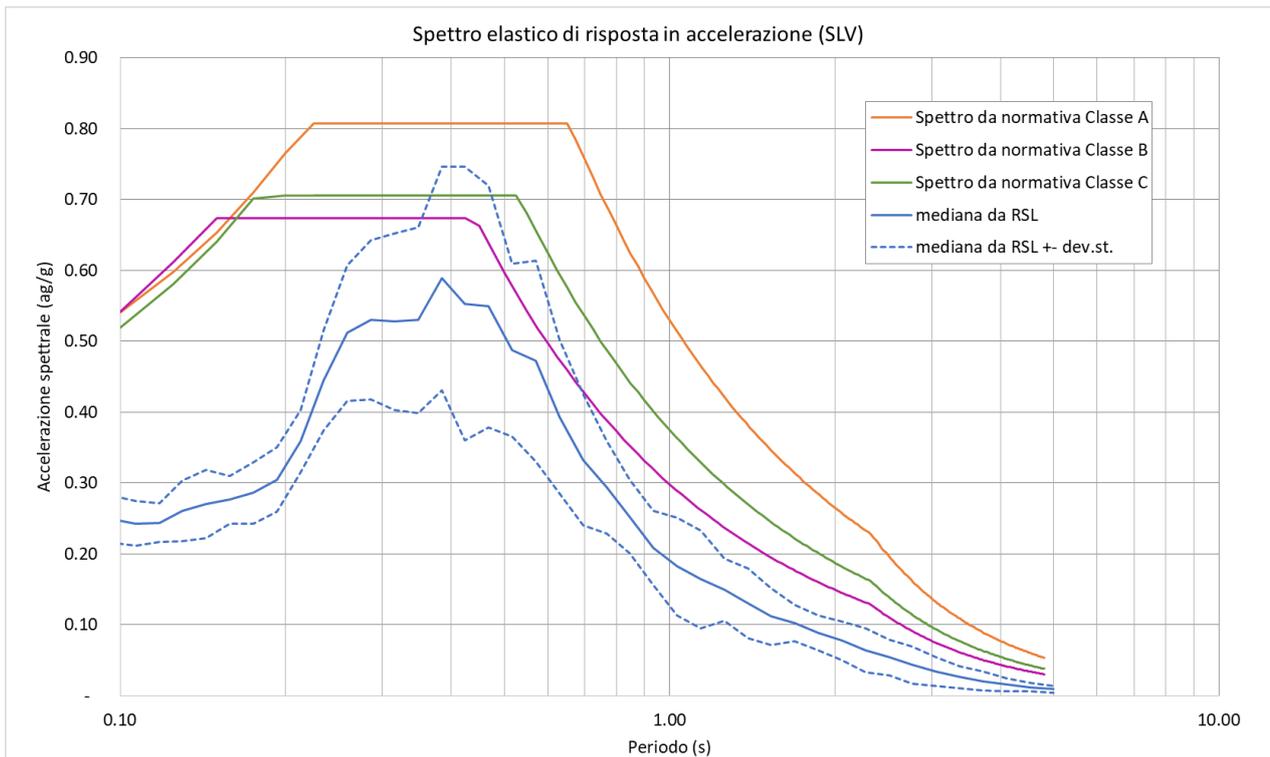
Litologia	Spess.	Prof.	$\gamma$	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(M)	(kN/m <sup>3</sup> )	(m/s)	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
Limo argilloso	1.30	0.00	18.00	160.00	8.48	0.87	20.16	2.29
Ghiaia superficiale	3.00	1.30	20.00	350.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Ghiaia media	13.10	4.30	20.50	590.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla media	5.10	17.40	18.00	290.00	40.65	1.31	28.99	2.34
Bedrock		22.50	22.00	690.00				

**Tab. 9 - Modello geofisico Basilicanova**

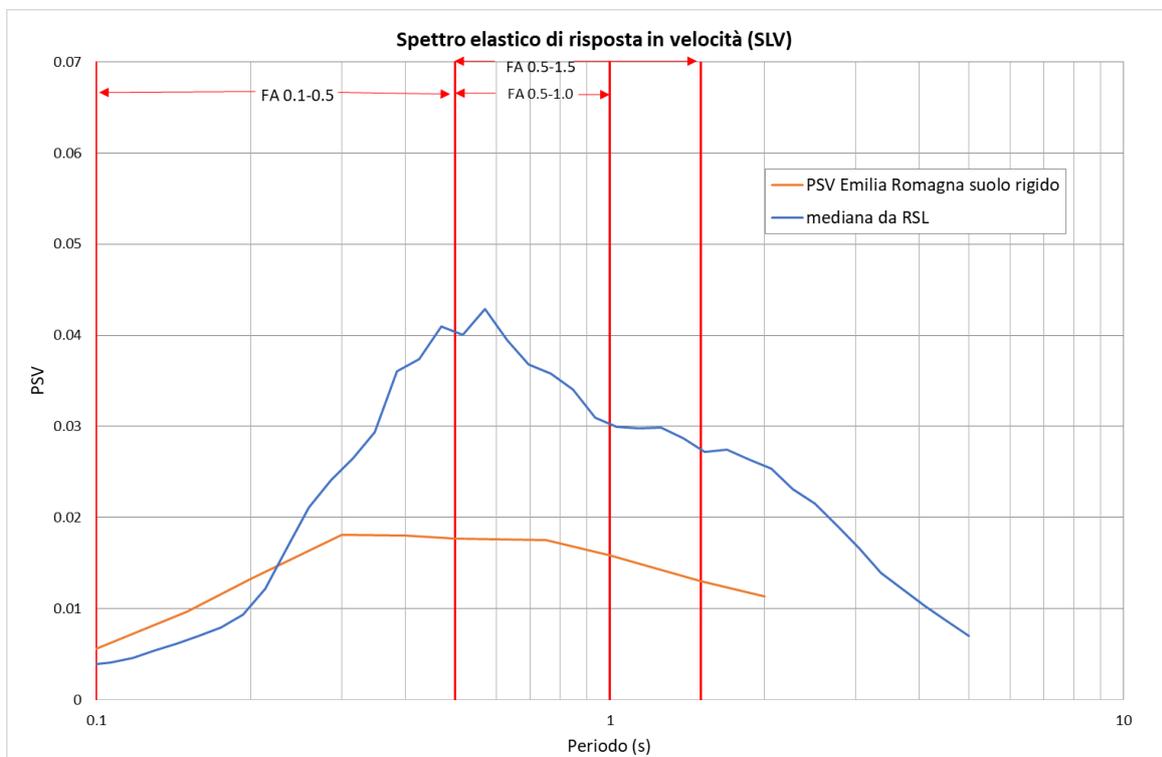
 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	35 di 56



**Fig. 23 - S2 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo Basilicanova**



**Fig. 24 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione Basilicanova**

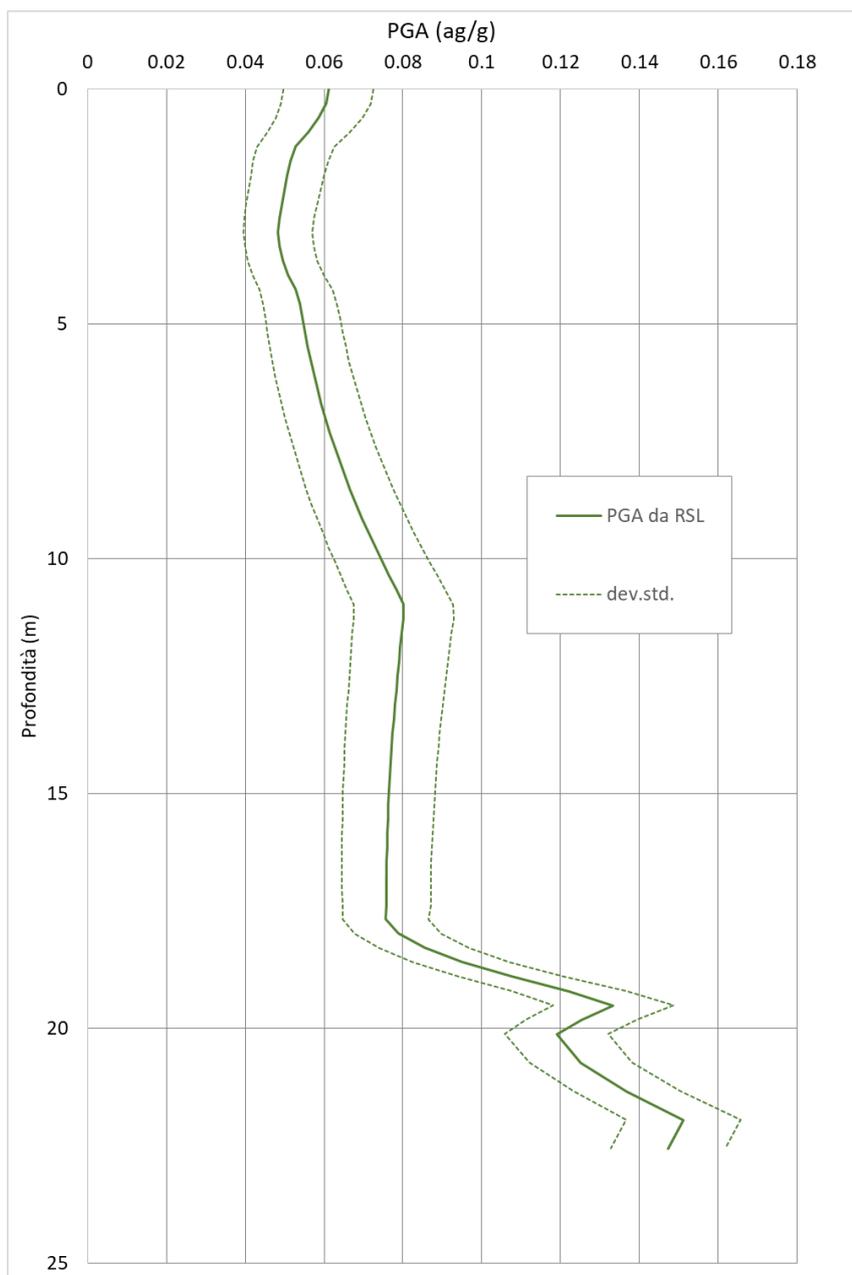


**Fig. 25 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità Basilicanova**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	37 di 56

	RSL
$FA_{PGA}$	1.32
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.52
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	2.06
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	2.07

**Tab. 10 - S2 - Fattori di amplificazione**



**Fig. 26 - Variazione dell'accelerazione con la profondità Basilicanova**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	38 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

### 3.6 Criticità del metodo

I risultati in termini di amplificazione sismica riportati nei paragrafi precedenti sono riferiti ai soli modelli esposti nelle Tab. 5, Tab. 7 e Tab. 9, cioè a modelli che tengono conto della sola sismostratigrafia riscontrata nel corso dei sondaggi (integrata e/o confrontata, laddove necessario, a stratigrafie di pozzi dal database regionale vicini all'area di interesse).

Vista l'estrema variabilità stratigrafica riscontrata in tutto il territorio comunale, appare abbastanza problematico estendere i fattori di amplificazione calcolati ad aree limitrofe.

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

In realtà oggi si tende ad individuare il *bedrock* sismico, soprattutto in pianura, in corrispondenza di un elevato contrasto di impedenza sismica, cioè laddove il rapporto tra le velocità dello strato superficiale e quello più profondo supera il valore di 2÷2.5.

A riguardo, va evidenziato che i contrasti d'impedenza significativi, registrati nel corso delle prove HVSR effettuate per lo studio di microzonazione sismica di 2° livello, contrariamente a quanto rilevato in varie zone della pianura emiliano romagnola, non possono essere associati a discontinuità stratigrafiche note in quanto in prossimità di frequenze corrispondenti a passaggi noti, il rapporto H/V va in inversione non permettendo di leggere tali contrasti.

Inoltre mentre in letteratura (Martelli et alii<sup>8</sup>, 2013 e Martelli et alii<sup>9</sup>, 2014) è indicato che *“il maggiore contrasto di impedenza si ha in genere tra la base del sistema emiliano-romagnolo superiore (AES), datata tra 350.000 e 450.000 anni, e la base del subsistema AES6, datata circa 230.000-250.000 anni (RER e ENI-Agip, 1998)”*; nella zona in esame, tale discontinuità non è di semplice individuazione, per effetto della grande variabilità litologica (costituita da fitte alternanze sia laterali che verticali di ghiaie e depositi fini) già riscontrata durante lo studio di microzonazione di 2° livello e per la presenza della struttura anticlinale di Monticelli.

<sup>8</sup> L. Martelli, L. Calabrese, G. Ercolessi, P. Severi, G. Tarabusi, D. Pileggi, S. Rosselli, L. Minarelli, F. Pergalani, M. Compagnoni, G. Vannucchi, C. Madiati, J. Facciorusso, V. Fioravante, D. Giretti, M. Mucciarelli, E. Priolo, G. Laurenzano – (2014) Cartografia speditiva dell'amplificazione e del rischio di liquefazione nelle aree epicentrali del terremoto dell'Emilia 2012 (ML=5.9). Atti del 32 convegno GNGTS 2013

<sup>9</sup> L. Martelli, P. Severi, G. Biavati, S. Rosselli, R. Camassi, E. Ercolani, A. Marcellini, A. Tento, D. Gerosa, D. Albarello, F. Guerrini, E. Lunedei, D. Pileggi, F. Pergalani, M. Compagnoni, V. Fioravante e D. Giretti (2014) *Analysis of the local seismic hazard for the stability tests of the main bank of the Po River (northern Italy)*, Boll. Geof. Teor. Appl., 55, 119-134

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	39 di 56

Ciò lascia presumere che, a maggiori profondità, si possa avere almeno un altro contrasto d'impedenza, non evidenziato né dalle indagini effettuate né dall'analisi di risposta sismica locale.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	40 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 4. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 4.1 Carte delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:10.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione (per i cui report si faccia riferimento agli *Elaborati 7-8-9-10*) e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o sismiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale già inserite nel precedente Studio di microzonazione di II livello redatto dagli scriventi, nonché le ubicazioni delle indagini contenute nel database geognostico regionale, anche esse considerate nel precedente studio.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

Le prove sono state distinte in base alla tipologia in:

- Sondaggio a carotaggio continuo
- Pozzo per acqua
- Pozzo per idrocarburi
- Prova sismica in foro tipo Down-hole
- Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- Prova penetrometrica dinamica super pesante
- Prova penetrometrica dinamica pesante
- Prova penetrometrica dinamica media
- Trincea o pozzetto esplorativo
- Stazione microtremore a stazione singola
- Profilo sismico a rifrazione
- Prova REfractionMicrotremors
- MASW
- Sondaggio elettrico verticale

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 27.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	41 di 56

	Sondaggio a carotaggio continuo		Penetrometrica dinamica pesante
	Pozzo per acqua		Prova sismica in foro tipo down-hole
	Pozzo per idrocarburi		Microtremori a stazione singola (HVSr)
	Trincea o pozzetto esplorativo		MASW
	Penetrometrica statica CPT		REMI
	Penetrometrica dinamica media		Profilo sismico a rifrazione
	Penetrometrica dinamica super pesante		Sondaggio elettrico verticale

**Fig. 27 - Legenda della Carta delle indagini**

Nelle carte sono indicate anche indagini esterne ai perimetri del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ove sono state concentrate le analisi, ma ugualmente utili a definire le sue caratteristiche litostratigrafiche.

In Tab. 11 vengono riportati il numero e la tipologia di indagini presenti sul territorio studiato, acquisite mediante la ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale, contenute nel database regionale o di nuova realizzazione.

<b><u>TIPO PROVA</u></b>	<u>provenienti da studio di 2° livello MS</u>	<u>effettuate per il 3° livello MS</u>	<u>TOTALE</u>
<b>Sondaggio a carotaggio continuo</b>	16	2	<b>18</b>
<b>Prove Down-Hole</b>		2	<b>2</b>
<b>Analisi di laboratorio per la determinazione di G/G<sub>0</sub> e D</b>		2	<b>2</b>
<b>Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)</b>	134		<b>134</b>
<b>Prova penetrometrica dinamica super pesante</b>	89		<b>89</b>
<b>Prova penetrometrica dinamica pesante</b>	43		<b>43</b>
<b>Prova penetrometrica dinamica media</b>	12		<b>12</b>
<b>Trincea o pozzetto</b>	104		<b>104</b>
<b>Stazione microtremore a stazione</b>	71		<b>71</b>

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

<b>singola</b>			
<b>Pozzi per acqua</b>	307		<b>307</b>
<b>Pozzi per idrocarburi</b>	18		<b>18</b>
<b>MASW</b>	18	1	<b>19</b>
<b>Profilo sismico a rifrazione</b>	1		<b>1</b>
<b>Prova REfractionMicrotremors</b>	10		<b>10</b>
<b>Sondaggio sismico verticale</b>	9		<b>9</b>
<b>Prove SPT in foro di sondaggio</b>	25		<b>25</b>

**Tab. 11 – Riepilogo delle indagini geognostiche presenti sul territorio comunale**

## 4.2 Carte geologico-tecnica per la microzonazione sismica

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello denominata “*Carta lito-morfologica*”.

Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse.

Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione delle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1), che saranno descritte nel successivo paragrafo 4.4.

Nel presente studio, per la stesura della Carta geologico tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- Quadro Conoscitivo della Variante Generale al Piano Infraregionale delle Attività Estrattive della Provincia di Parma approvata con atto di C.P. n. 117 del 21.12.2008;
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Variante in adeguamento alla L.R. 19/2008 “ Norme per la riduzione del rischio sismico” approvata con atto di C.P. n. 23 del 17.04.2013;
- “Carta Geologica d’Italia” alla scala 1:50.000, Foglio 181 “Parma Nord” realizzato secondo le normative del Progetto CARG;
- Carta Geologica di Pianura dell’Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo (4.1).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	43 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Come si vede in Fig. 29 nella Carta-geologica tecnica sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nei primi 5 metri di profondità dal p.c., classificati sulla base della tessitura prevalente. Dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

- **GM** - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo*: sono dovute alla deposizione, in ambiente di canale, da parte del fiume Enza e sono state cartografate solo nella porzione est dell'abitato di Montechiarugolo in corrispondenza dell' Ippodromo.
- **ML** - *Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi*: interessano una vasta area del territorio comunale e sono i depositi caratteristici dei terrazzi fluviali presenti, infatti la sigla *ML* è sempre associata all'ambiente genetico-deposizionale "terrazzo fluviale" indicato con *tf*, descritto poco sotto.
- **MH** - *Limi inorganici, sabbie fini, limi micacei e diatomeici*: sono i depositi caratteristici delle aree di pianura non interessate da terrazzi fluviali, sono anche essi largamente presenti sul territorio comunale, in particolare interessano l'intero abitato di Basilicanova, la porzione ovest di Monticelli Terme, oltre che ad altre aree di estensione minore.

Sono stati altresì indicati gli ambienti genetico - deposizionali dei terreni di copertura distinguendo:

- **pd** - piana pedemontana;
- **tf** - terrazzo fluviale.

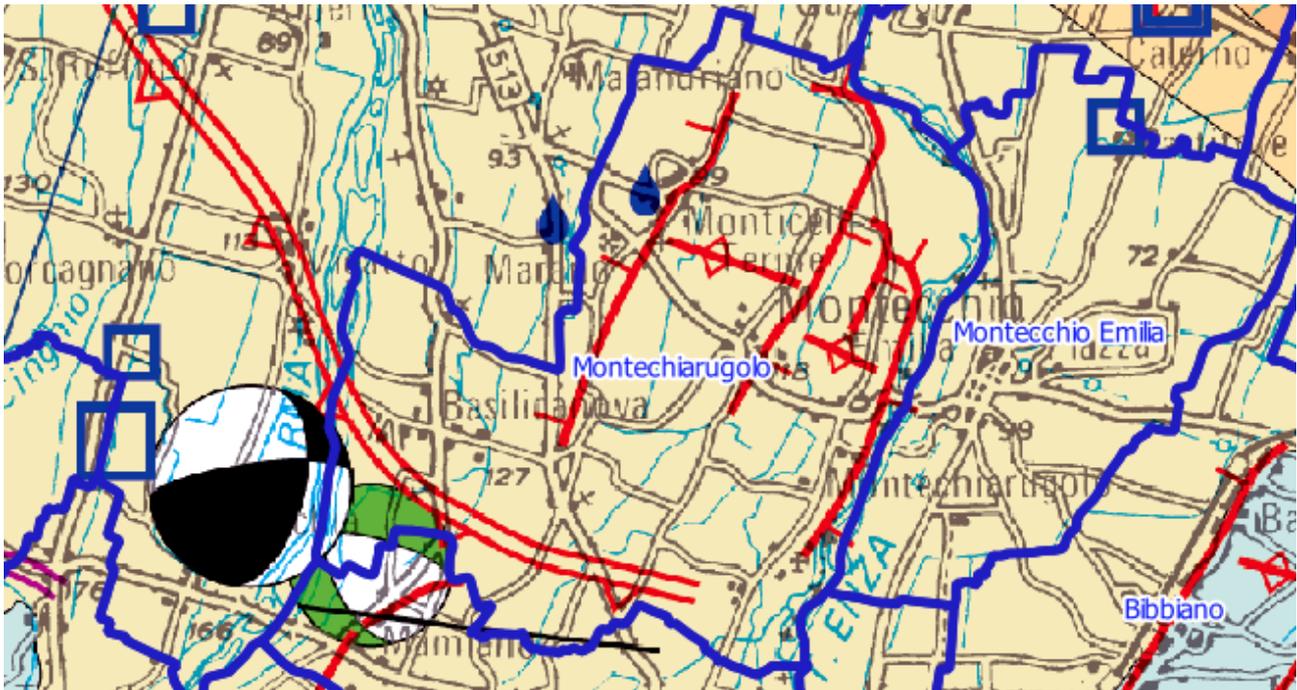
Per gli elementi tettonico strutturali presenti sul territorio in oggetto si è fatto riferimento al recente studio proposto da parte di Martelli *et alii* (2017) nel quale è contenuta la "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe" di cui se ne riporta uno stralcio in Fig. 28.

L'unico elemento strutturale che si è potuto rappresentare è l'asse di anticlinale passante per Monticelli Terme.

Infatti, benché in Fig. 28, si osserva che sono presenti anche faglie attive dirette con orientamento, perlopiù nord- sud, va chiarito che le faglie attive rappresentate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe" non vanno confuse con le faglie attive e capaci considerate elemento di instabilità nelle analisi di pericolosità sismica locale e oggetto di microzonazione sismica, ai sensi delle ICMS<sup>10</sup>, assenti nel territorio oggetto del presente studio.

<sup>10</sup> Negli ICMS è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	44 di 56



**Fig. 28 – Stralcio della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe”**

Nella Carta geologico-tecnica sono stati raffigurati anche alcuni sondaggi, indicando se hanno o meno raggiunto il substrato geologico.

**Terreni di copertura**

- GMpd Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
- MLtf Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
- MHpd Limi inorganici, sabbie fini, limi micacei o diatomicei

**Elementi tettonico strutturali**

- ◆◆◆◆◆ Anticlinale

**Elementi geologici e idrogeologici**

- Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico
- Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico

**Fig. 29 – Stralcio da legenda della Carta geologico - tecnica**

**4.3 Carte delle frequenze naturali dei terreni**

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia contenuti nell’Archivio Comunale, sia di nuova acquisizione, sono state redatte le Carte delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scala 1:5.000.

che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	45 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello. L'aggiornamento deriva dal fatto che secondo le ultime linee guida non si devono riportare frequenze misurate superiori ai 20 Hz (presenti nel vecchio studio), in quanto ritenute poco significative per i problemi di risonanza con gli edifici.

In queste carte sono stati riportati tutti i punti di misura (71), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ).

Come detto sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

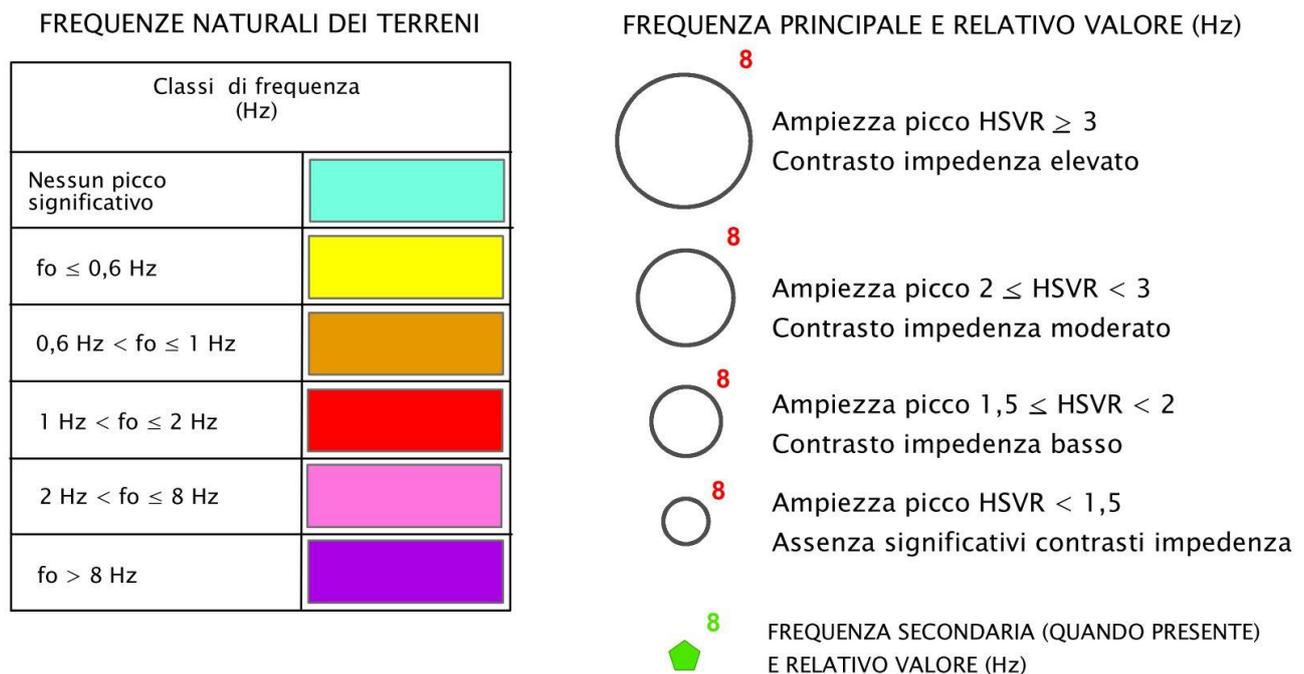
Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 1$  Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$  Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$  Hz
- $F_0 > 8$  Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un alto contrasto di impedenza ( $H/V > 3$ ) o da un basso contrasto di impedenza (ampiezza  $H/V \leq 3$ ).

In Fig. 30 si riporta uno stralcio della legenda del suddetto elaborato cartografico.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	46 di 56



**Fig. 30 - Stralcio da legenda della Carta delle frequenze naturali dei terreni**

#### 4.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento. Nel presente studio viene proposta una revisione di tale cartografia alla luce, non tanto dell'aggiornamento normativo e delle variazioni che hanno subito gli standard di rappresentazione, quanto dell'esperienza maturata dagli scriventi, negli ultimi anni, grazie all'effettuazione di studi di microzonazione sismica in differenti contesti territoriali.

In questa elaborato il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti 3 categorie:

- 1. zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.
- 2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale.
- 3. zone di attenzione per instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	47 di 56

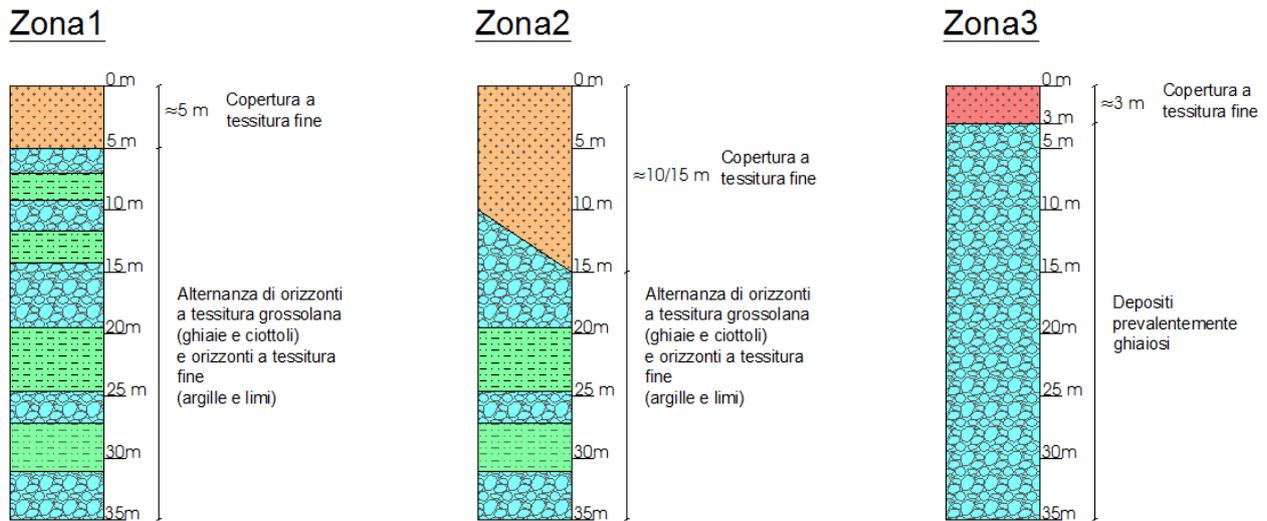
<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione.

Dalla lettura della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di Montechiarugolo, non sono mai presenti la categoria 1 - zone stabili e la categoria 3 - zone di attenzione per instabilità. Invece, sono state individuate le seguenti 3 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (si veda anche la schematizzazione grafica riportata in Fig. 31):

- Zona 1 - Successione stratigrafica costituita da alternanze di orizzonti a tessitura fine (argille e limi) e orizzonti a tessitura grossolana (ghiaie e ciottoli), sormontati da una coltre di copertura a tessitura fine con spessore medio di circa 5 m. Si rinviene diffusamente in tutte le aree esaminate, con eccezione di Montechiarugolo. E' caratteristica delle aree di pianura in cui non sono presenti terrazzi fluviali: in particolare, a Basilicanova, occupa la totalità dell'abitato; a Monticelli Terme e a Piazza (e relativa zona industriale a nord), occupa la fascia occidentale, mentre, a Tortiano e Basilicogiano (ove è presente marginalmente) occupa rispettivamente la parte meridionale e quella orientale.
- Zona 2 - Successione stratigrafica costituita da alternanze di orizzonti a tessitura fine (argille e limi) e orizzonti a tessitura grossolana (ghiaie e ciottoli), sormontati da una coltre di copertura a tessitura fine con spessore medio di circa 10/15 m. Si rinviene diffusamente in tutte le aree esaminate, con eccezione di Basilicanova, caratterizzando principalmente la fascia centrale del Comune che si contraddistingue per la presenza di terrazzi fluviali con altezza di qualche metro. In particolare, a Basilicogiano, Montechiarugolo, Tortiano e Piazza occupa la quasi totalità dell'abitato, mentre, a Monticelli Terme, occupa la metà orientale.
- Zona 3 - Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente ghiaiosi coperti da una coltre fine di pochi metri (circa 3 m). Si rinviene esclusivamente lungo la fascia prospiciente il Torrente Enza nell'abitato di Montechiarugolo. Più precisamente si tratta della zona dell'ippodromo a fianco del Torrente Enza.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	48 di 56



**Fig. 31 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone stabili suscettibili di amplificazione locale**

#### 4.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, sono state redatte per tutte le aree oggetto di studio delle Carte delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ).

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello alla quale sono stati aggiunti i valori di  $V_s$  ricavati dalle nuove indagini realizzate.

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tromografica, prova Down-Hole, MASW o ReMi) e indicando il corrispondente valore di  $V_{s30}$  (in m/s), dove:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m);

$V_{s_i}$  = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m).

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	49 di 56

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

#### 4.6 Carte di microzonazione sismica

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3 in scala 1: 5.000 fanno parte degli elaborati grafici conclusivi del presente studio. Esse sono state realizzate facendo riferimento, dove possibile, ai locali approfondimenti di terzo livello e ad approfondimenti di secondo livello, mediante utilizzo di abachi, nelle altre zone.

L'amplificazione è stata calcolata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA<sub>0</sub>), sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI<sub>0</sub>) per prefissati intervalli di periodi attraverso l'analisi approfondita, descritta nel capitolo 3 (Analisi di risposta sismica locale) della presente relazione.

La cartografia realizzata in merito alla Microzonazione sismica di Livello 3 è costituita dai seguenti elaborati:

- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA<sub>PGA</sub> (scala 1:5.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA<sub>IS 0,1 - 0,5 s</sub> (scala 1:5.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA<sub>IS 0,5 - 1,0 s</sub> (scala 1:5.000).
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA<sub>IS 0,5 - 1,5 s</sub> (scala 1:5.000).

Nelle zone in cui non sono stati effettuati approfondimenti di 3° livello o le cui caratteristiche geologico-sismiche non sono ricollegabili ad esse i fattori di amplificazione sono stati valutati sulla base degli abachi definiti dalla DGR 2193/2015.

La scelta dell'abaco per la stima è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo.

In Comune di Montechiarugolo, si è usata la seguente tabella, proposta nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali:

- Tabella riportata in Tab. 12, relativa ad un profilo stratigrafico tipo PIANURA 1 definito come: *settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c..*

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5
F.A. SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5
F.A. SI2	3.0	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1
F.A. SI3	3.4	3.2	2.8	2.5	2.2	2.0

**Tab. 12 – Tabelle utilizzate per la stima di F.A. per PIANURA 1**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	50 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Nell'utilizzo di questa tabella, per quanto riguarda i valori di  $V_{s30}$  considerati per il calcolo, tenuto conto di quanto prescritto dagli SRAI, che indicano di redigere, per le Carte di microzonazione sismica, una legenda come quella riportata in Fig. 32, e dei valori desunti dalle indagini, si sono fatti degli accorpamenti, distinguendo le seguenti 3 tipologie:

- Aree con  $275 > V_{s30} > 325$ , che ricadono nella porzione ovest di Monticelli in corrispondenza delle aree di pianura, cui corrisponde l'appartenenza alle classi:
  - $F_{a_{PGA}} = 1.5 - 1.6$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} = 1.7 - 1.8$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} = 2.5 - 3.0$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.5s}} = 2.5 - 3.0$
  
- Aree con  $325 > V_{s30} > 375$  m/s, cartografate in corrispondenza dell'angolo sud est di Basilicogiano e in corrispondenza dell'abitato di Tortiano, cui corrisponde l'appartenenza alle classi:
  - $F_{a_{PGA}} = 1.5 - 1.6$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} = 1.5 - 1.6$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} = 2.3 - 2.4$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.5s}} = 2.1 - 2.2$
  
- Aree con  $375 > V_{s30} > 425$  m/s, che interessa l'abitato di Montechiarugolo, cui corrisponde l'appartenenza alle classi:
  - $F_{a_{PGA}} = 1.5 - 1.6$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} = 1.5 - 1.6$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} = 2.1 - 2.2$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.5s}} = 1.9 - 2.0$

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	51 di 56

<b>Parametro di amplificazione<sup>29</sup></b>	<b>Simbolo</b>
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	
2.5 - 3.0	
3.1 - 3.5	
>3.5	

**Fig. 32 - Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D., Castellaro S. (2011): TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 - 2011, Appendice I e II, pp 50-62
- Baldi M., Baldini U., Bevivino R., Castagnetti S., Daminelli R., Gianferrari C., Marcellini A., Martelli L. e Tenta A. (2010): UNIONE TERRE DI CASTELLI: VALIDAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (2010) - 29° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014
- Bernini M., Papani G. (1987) - Alcune considerazioni sulla struttura del margine appenninico emiliano tra lo Stirone e l'Enza (e sue relazioni con il sistema del Taro). L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia, 24, 219-240.
- Castagnetti S. (2010): VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA a corredo del P.S.C. del Comune di Fontanellato (PR)
- Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.
- Engeo s.r.l. (2011): ELABORATI DEL QUADRO CONOSCITIVO - AMBIENTE SUOLO E SOTTOSUOLO E AMBIENTE IDRICO SOTTERRANEO, Piano Strutturale Comunale di Montechiarugolo (PR), approvato con delibera di C.C. n. 56 del 20/12/2012
- Engeo s.r.l. (2012): STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA CON APPROFONDIMENTI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO DEL COMUNE DI MONTECHIARUGOLO, certificato dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna il 19/11/2012 (prot. PG.2012.0271097)
- Gruppo di lavoro MS (2008): INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd  
[http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=15833](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)
- ISIDe Working Group INGV (2015): Italian Seismological Instrumental and parametric Database. <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>
- Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	53 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

- Madiati C., Facciorusso J. Vannucchi G. Martelli L. (2012) – in Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L’esperienza della Regione Emilia Romagna . RER 2012.
- Marcellini A., Martelli L, Tento A., Daminelli R. - L’AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI “INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA” (2009)
- Martelli L., Ercolessi G., Sani F., Bonini M., Corti G., Santulin M., Tamaro A., Rebez A., Slejko D. (2017): Analisi 3D della pericolosità sismica dell’Appennino Settentrionale – Proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche – Rapporto conclusivo
- Meletti C. e Valensise G., (2004): ZONAZIONE SIMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: “Gruppo di Lavoro MPS (2004).Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ”. Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici
- Molin D., Stucchi M. e Valensise G. (1996). MASSIME INTENSITÀ MACROSISMICHE OSSERVATE NEI COMUNI ITALIANI. elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile
- RER – ENI, Agip “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna” (1998) a cura di G. Di Dio
- Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] “Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms”, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) (2016): CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>
- CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. FOGLIO 181 “PARMA NORD”, alla scala 1:50.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA ED AREE LIMITROFE – Scala 1:250.000 (2017) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse –Università degli Studi di Firenze – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	54 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- GUIDELINES FOR DETERMINATING DESIGN BASIS GROUND MOTION STR-102293s-V1-V5 EPRI (1993)
- GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004
- MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
- NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000 - FOGLIO 181, Parma Nord - REGIONE EMILIA-ROMAGNA, S.EL.CA. s.r.l., Firenze 2009

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	55 di 56

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI MONTECHIARUGOLO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 6. ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici:

Elaborato 1	Carta delle indagini	scala 1:10.000
Elaborato 2	Carta geologico-tecnica	scala 1:10.000
Elaborato 3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	scala 1:5.000
Elaborato 4	Carta delle MOPS	scala 1:10.000
Elaborato 5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	scala 1:5.000
Elaborato 6a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{PGA}}$	scala 1:5.000
Elaborato 6b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{S\ 0.1s < T_0 < 0.5s}}$	scala 1:5.000
Elaborato 6c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{S\ 0.5s < T_0 < 1.0s}}$	scala 1:5.000
Elaborato 6d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{S\ 0.5s < T_0 < 1.5s}}$	scala 1:5.000

Inoltre, alla presente relazione, sono allegati:

- Elaborato 7 – Stratigrafie sondaggi, con la stratigrafia dei sondaggi realizzati specificamente per il presente studio;
- Elaborato 8 – Prove Down-Hole, contenute i risultati delle prove Down-Hole effettuate nei fori di sondaggio;
- Elaborato 9 – Analisi di laboratorio, contenente i certificati delle analisi geotecniche effettuate sui campioni prelevati nei sondaggi;
- Elaborato 10 – Prova MASW, in cui si riporta il report dell'indagine sismica di tipo MASW realizzata.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2017	0	56 di 56