



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 Felino




<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 FELINO</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.....	6
2.3	Prove Down-Hole.....	7
2.4	Rilievo sismico HVSR mediante tromografo .....	10
3.	Analisi di risposta sismica locale.....	11
3.1	Pericolosità sismica di base .....	11
3.2	Disaggregazione e magnitudo .....	13
3.3	Segnali in input .....	15
3.4	Modello geofisico del sottosuolo .....	16
3.4.1	Litologia .....	16
3.4.2	Determinazione della Vs e del bedrock sismico .....	17
3.4.3	Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G0) in funzione della deformazione .....	19
3.4.4	Codice di calcolo per la valutazione della RSL .....	22
3.5	Risultati della modellazione numerica .....	22
3.5.1	RSL per il sito di Felino.....	23
3.5.2	RSL per il sito di San Michele Tiorre .....	27
3.6	Criticità del metodo.....	31
4.	Elaborati cartografici.....	33
4.1	Carta delle indagini.....	33
4.2	Carta geologico-tecnica .....	35
4.2.1	Felino.....	36
4.2.2	Casale di Felino .....	36
4.2.3	San Michele de Gatti .....	37
4.2.4	San Michele Tiorre .....	37
4.2.5	Poggio di Sant'Ilario Baganza .....	37
4.2.6	Sant'Ilario Baganza .....	38
4.2.7	Barbiano.....	38
4.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni .....	39
4.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) .....	40
4.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S .....	42
4.6	Carte di microzonazione sismica .....	43
5.	Bibliografia .....	47
6.	Allegati .....	50

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	1 di 50

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FELINO</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 III livello del Comune di Felino*, effettuato su incarico dell'Amministrazione Comunale (cfr. Determinazione n° 237 del 05/08/2017) (CIG ZBE1F97A7E; CUP F42F17000080006).

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 - Annualita' 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”).

Quali aree oggetto di studio, d'accordo con l'Amministrazione Comunale è stato preso in esame l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, già considerato nello studio di primo e secondo livello, e definito nell'elaborato P.2.1 e P.2.2 “Inquadramento e viabilità territoriale” del Vigente P.R.G., in corrispondenza di tutti i centri abitati principali, ovvero:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	2 di 50

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

- Felino,
- Casale
- San Michele Tiorre
- San Michele de Gatti
- Poggio di Sant'Ilario
- Sant'Ilario di Baganza
- Barbiano

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 4.0.1.


### 1.1 Motivazione dello studio di 3° livello

Il Comune di Felino è già dotato di uno studio di microzonazione sismica di 2° livello, certificato dalla Regione Emilia Romagna il 6 febbraio 2014 (prot. PG.2014.0034345).

Nell'ambito di tale studio, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stata effettuata, tramite le procedure semplificate previste appunto del 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 si era evidenziato quanto segue:

- La considerevole variabilità litologica in corrispondenza di quasi tutti i centri abitati, si rifletteva sulla variabilità dei risultati delle indagini, rendendo complessa la correlazione spaziale dei dati (in particolare la valutazione dei picchi di frequenza principale)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	3 di 50

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


- Le analisi tomografiche realizzate presso l'abitato di Felino, presentavano talora un picco a frequenza elevata 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 contrasti d'impedenza 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 pertanto nelle seguenti fasi:

1. individuazione di due aree rappresentative di situazioni stratigrafiche tipo definite nella analisi precedenti;
2. realizzazione per ciascuna area di un sondaggio a carotaggio continuo fino alla profondità di 30 m con prelievo di campioni e realizzazione di prova Dowh-Hole per la misura in foro delle Vs;
3. realizzazione di una prova HVSR per la determinazione della frequenza caratteristica del terreno in corrispondenza di ciascun sondaggio;
4. Aggiornamento delle cartografie di primo livello con dati delle nuove indagini e secondo gli standard attuali:
  - a. Carta delle indagini;
  - b. Carta geologico-tecnica;
  - c. Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs);
  - d. Carta delle frequenze naturali dei terreni;
  - e. Carta delle MOPS.
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

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	4 di 50

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

- 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. 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.  $FA_{IS\ 0.5-1.5}$

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	5 di 50

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

## 2. INDAGINI ED ANALISI

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

Le due aree di indagine sono state individuate, in accordo con i Tecnici del Comune, in corrispondenza di altrettanti edifici comunali (ex-scuole) principalmente sulla base degli studi di secondo livello.

Il primo sondaggio è stato realizzato a Felino, in via Parmigianino; il secondo presso San Michele Tiorre, in via Trieste.

### 2.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Nella campagna d'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.

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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	6 di 50

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.


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 mediante 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).

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	7 di 50



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

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 vengono 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).

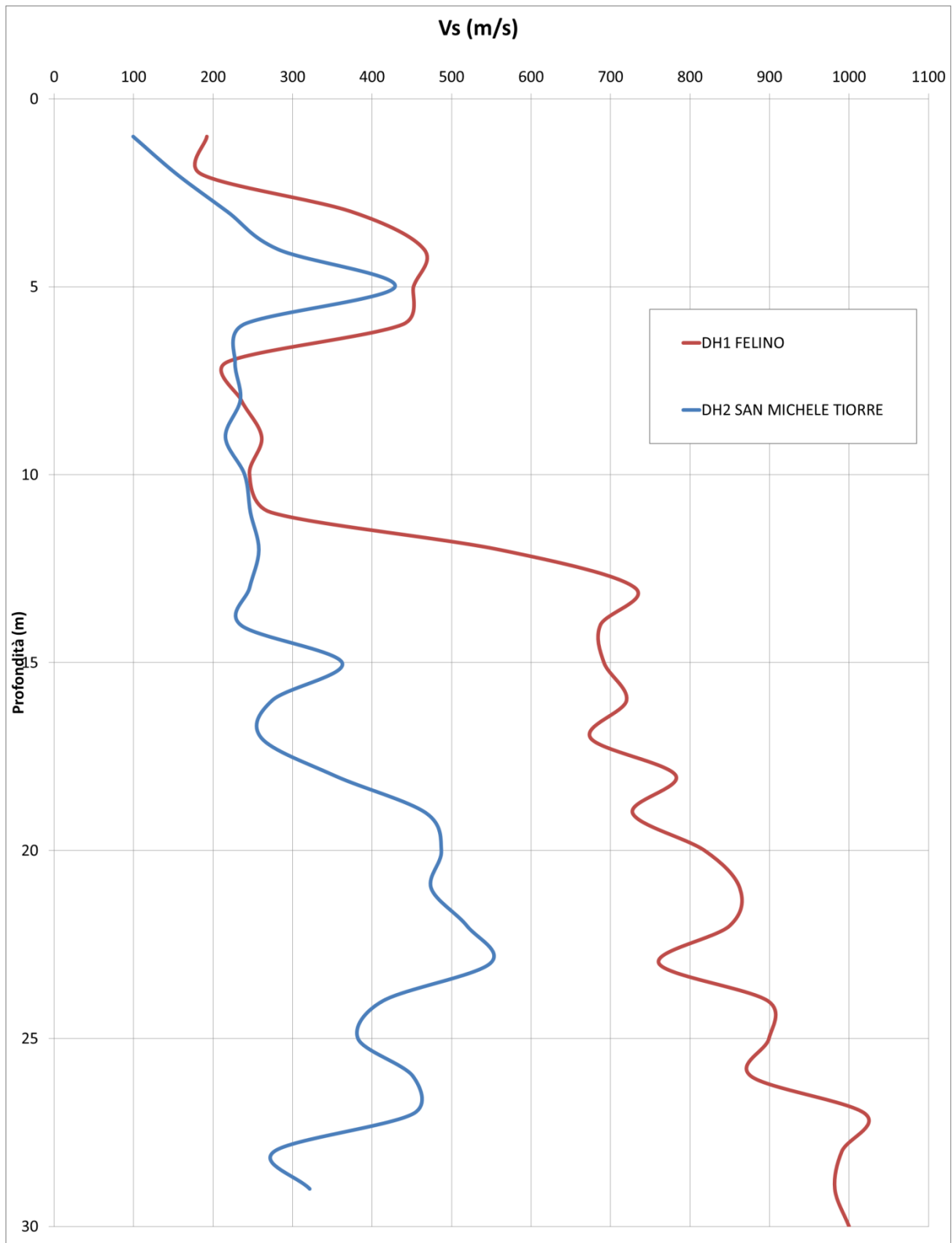
Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungono il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato. Questo passaggio costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali, in quanto i geofoni orizzontali si trovano 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.

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	8 di 50



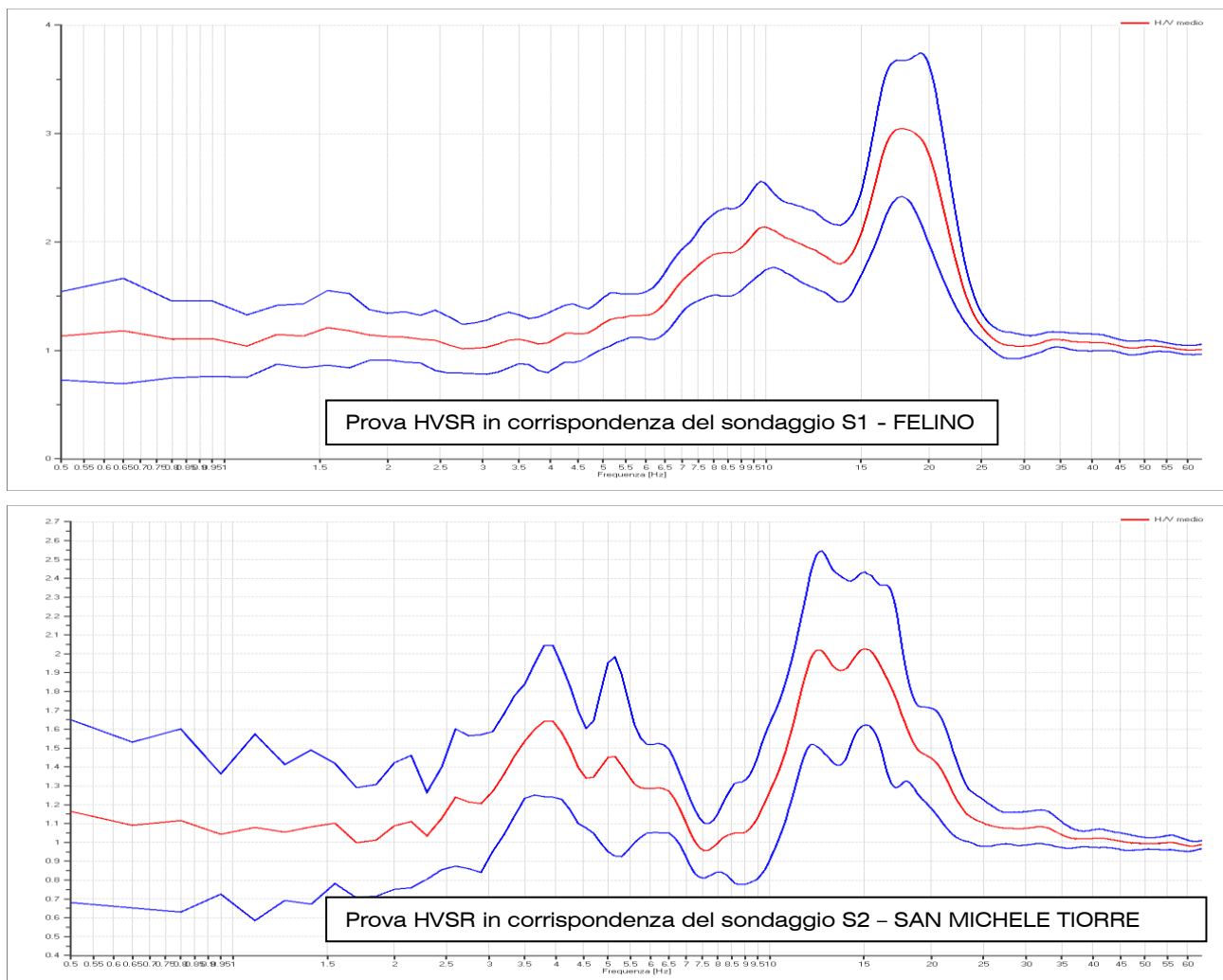
**Fig. 1 - Valori di Vs in funzione della profondità misurati con le due prove Down-hole**

## 2.4 Rilievo sismico HVSR mediante tromografo


Ai fini della determinazione della frequenza caratteristica dei suoli in corrispondenza dei punti di sondaggio è stata eseguita una prova HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) tramite tromografo digitale.

I risultati del rilievo sismico mediante tromografo sono riportati in allegato.

La prova è stata condotta utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (20 minuti). Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z). Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza - Fig. 2).



**Fig. 2 - Elaborazione delle due misure registrate dal tromografo digitale: rapporto H/V**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	10 di 50

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FELINO</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 entrambi 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.

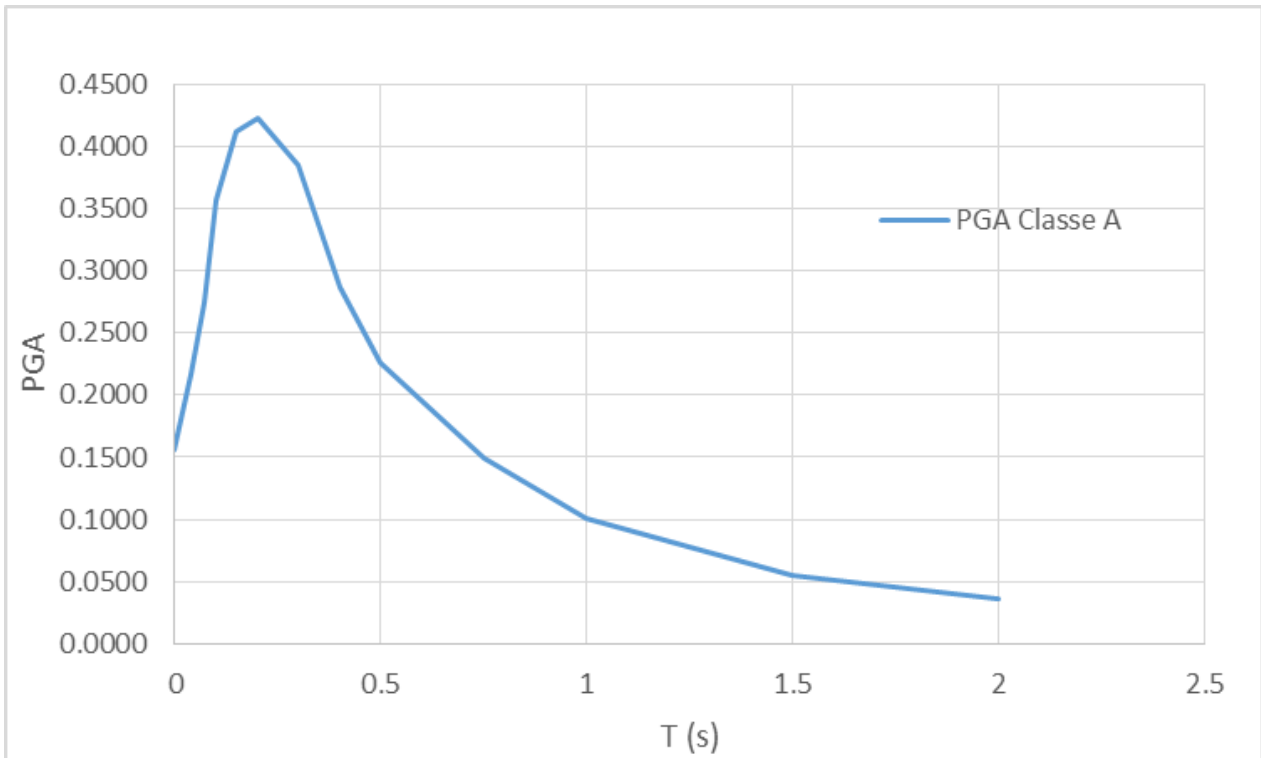
Per i due punti di indagine il parametro  $a_{refg}$  risulta il seguente (Tab. 1)

<b><math>a_{refg} (a_g/g)</math></b>
0.156

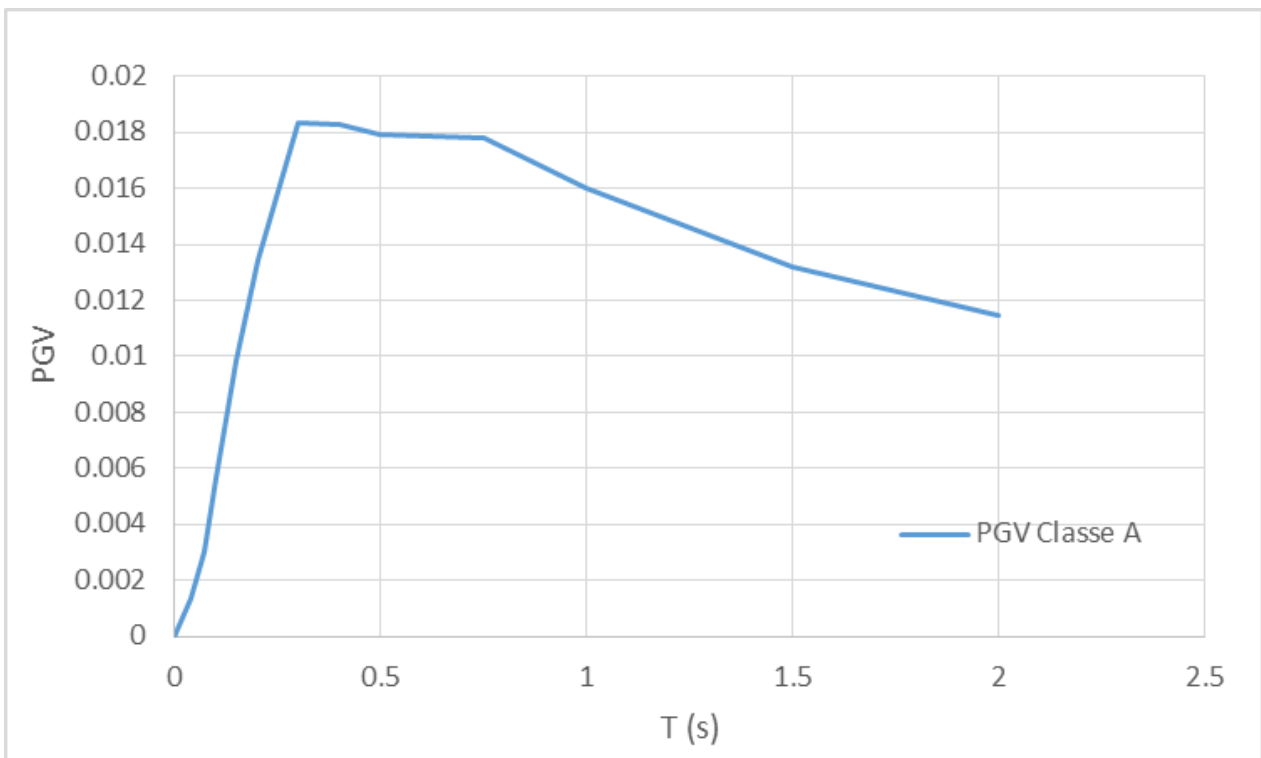
**Tab. 1 - Valore di  $a_{refg}$  (10% di probabilità di superamento in 50 anni)**

Di conseguenza, lo spettro elastico di risposta in accelerazione (Fig. 3), di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale, e il conseguente spettro di risposta in velocità, per il calcolo dell'intensità di Housner, (Fig. 4), calcolato sulla base del valore di  $a_{refg}$  indicato, sono riportati nella pagina successiva.


 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	11 di 50



**Fig. 3 - Spettro di risposta elastico in accelerazione su suolo rigido (475Y)**



**Fig. 4 - Spettro di risposta elastico in velocità su suolo rigido (475Y)**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	12 di 50

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FELINO</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.

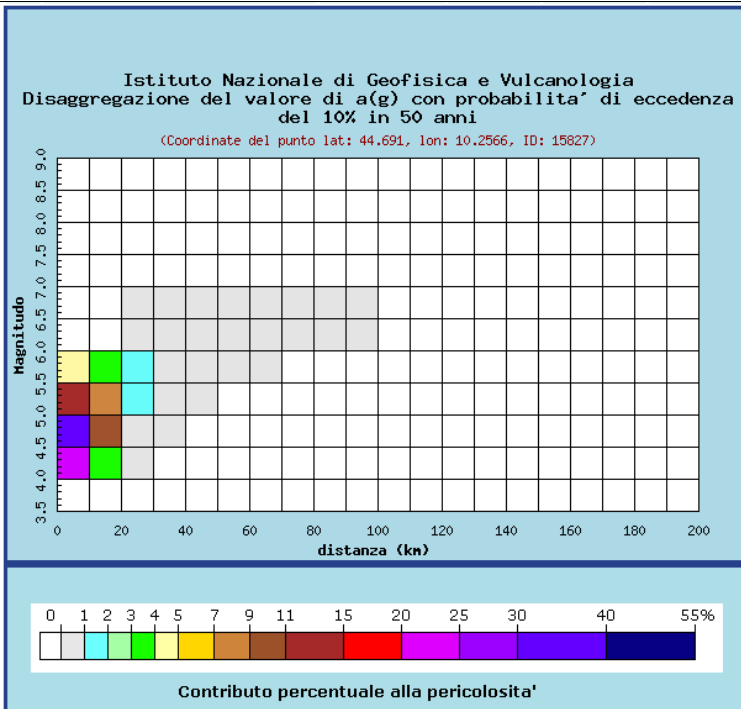
Nel caso in esame, si è considerato il solo nodo 15827, in quanto è il più prossimo a entrambi i siti in esame.

Come si osserva in Fig. 5 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 5.0-5.5 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.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	13 di 50



Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.860	8.360	0.875

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.691, lon: 10.2566, ID: 15827)										
	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	20.300	32.000	14.200	4.310	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.880	9.690	7.480	3.450	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.051	0.818	1.490	1.070	0.053	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.007	0.220	0.416	0.214	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.010	0.097	0.127	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.046	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.007	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002	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	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

**Fig. 5 - Disaggregazione magnitudo-distanza per il nodo 15827 da INGV**

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

### 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 software SEISM-HOME<sup>2</sup> di Eucentre.

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 banche dati.

Nel caso dei sismogrammi RER, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, così come rappresentato in Fig. 3, mentre, nel caso di SEISM\_HOME, il confronto viene effettuato con lo spettro di risposta indicato dalla NTC 2008, sempre con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce 3 segnali per ciascun comune; SEISM-HOME, invece, fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008.

Per i siti indagati, vista la vicinanza, sono stati utilizzati i sismi riferiti al nodo più vicino (15827).


Nel complesso, quindi, per ciascun sito, sono stati utilizzati 10 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale (Tab. 2 e Fig. 6). 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.

<b><i>Segnali RER</i></b>	<b><i>Segnali Seism-Home</i></b>
000046xa_034016Felino.xy	TR475_ID15827_1
000126xa_034016Felino.xy	TR475_ID15827_2
000354xa_034016Felino.xy	TR475_ID15827_3
	TR475_ID15827_4
	TR475_ID15827_5
	TR475_ID15827_6
	TR475_ID15827_7

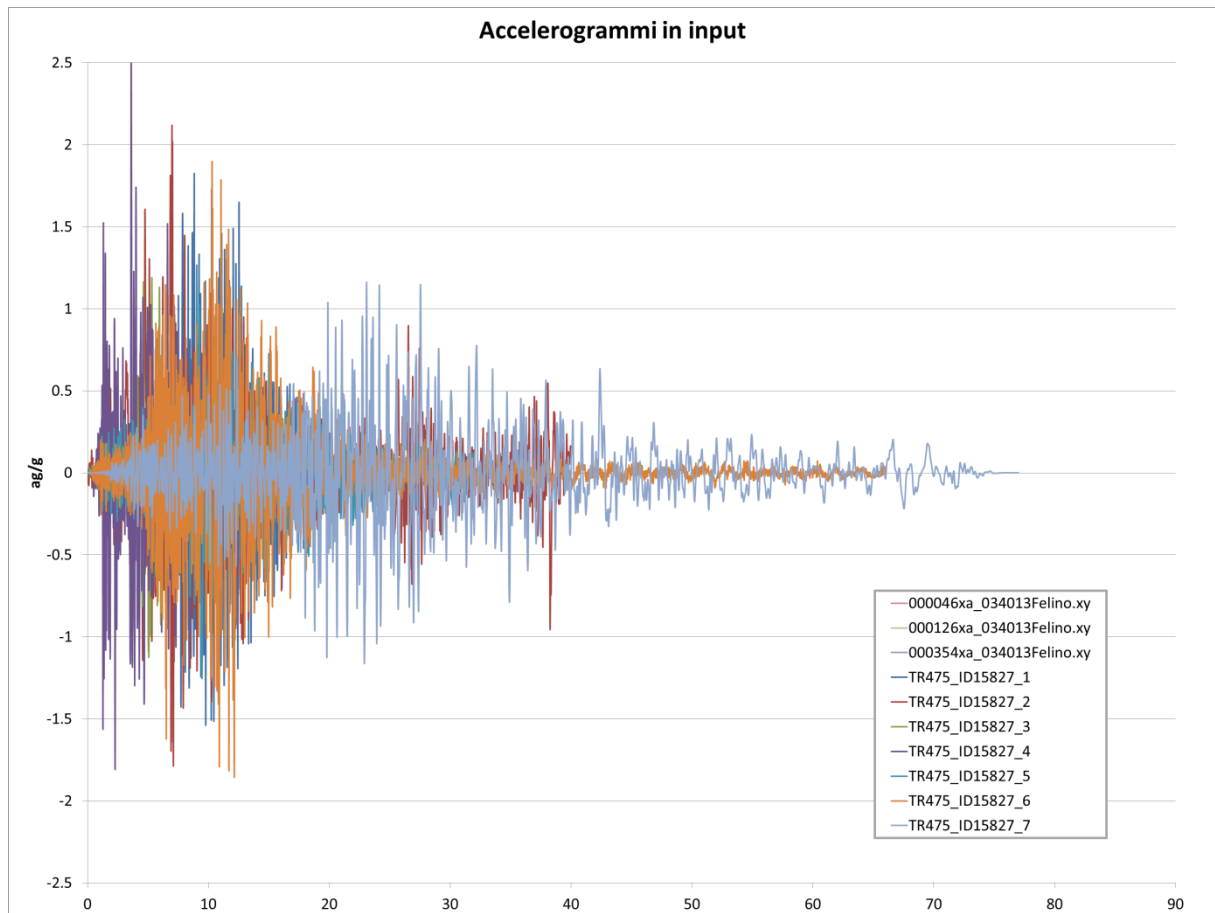
**Tab. 2 - Segnali in input utilizzati nelle analisi di RSL**

<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> 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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	15 di 50





**Fig. 6 – Segnali di input nelle analisi di RSL**

**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 i dati delle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo realizzati in ciascun sito; per la verticale S2

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	16 di 50

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

le informazioni sono state integrate con la stratigrafia di un pozzo limitrofo l'area oggetto di studio fornito dal database geologico della Regione Emilia Romagna.


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

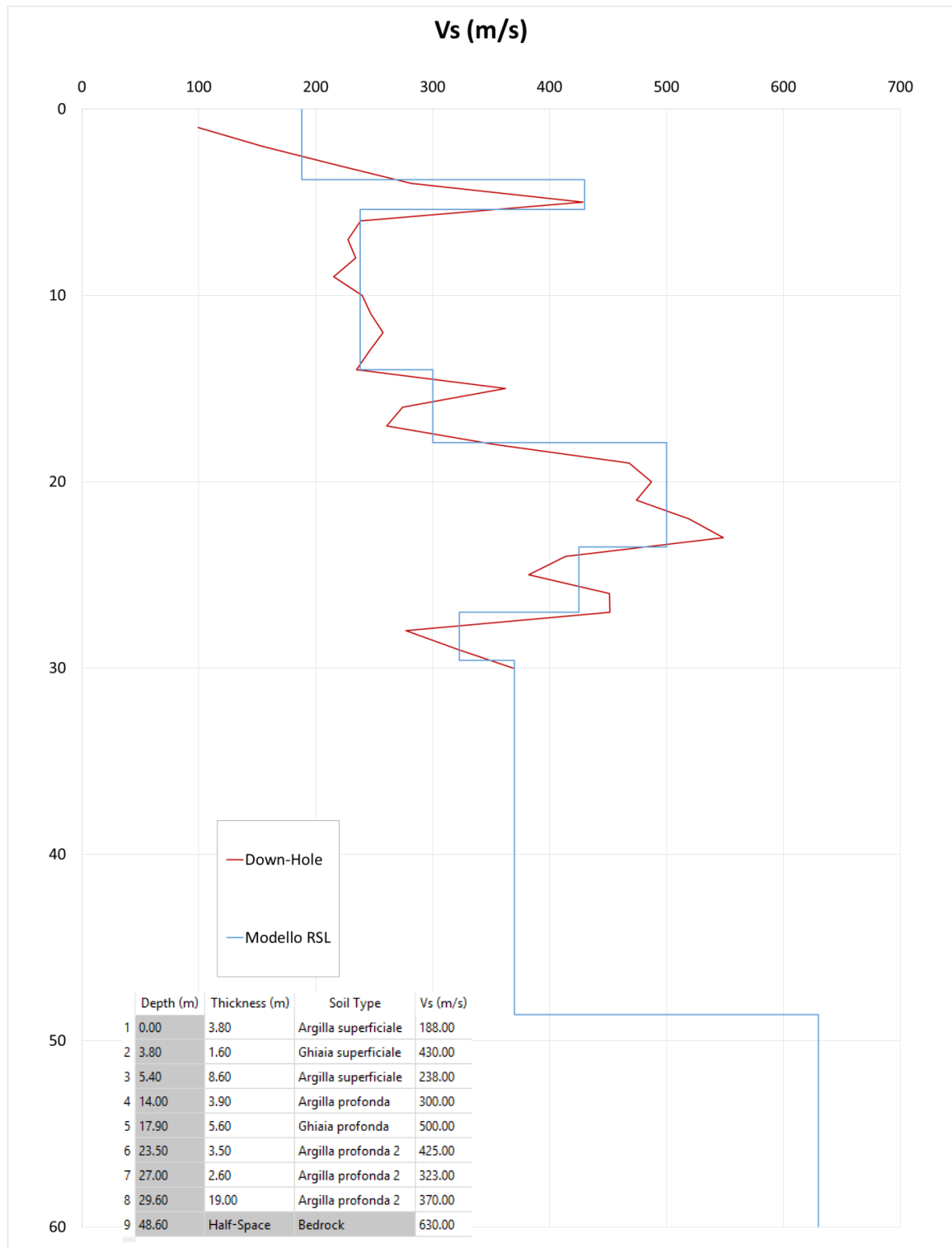
Per quanto riguarda la velocità delle onde S in funzione della profondità si è fatto riferimento alle misure delle due prove Down-Hole fino alla massima profondità indagata.

Per San Michele Tiorre, inoltre, è stato introdotto un bedrock sismico dedotto dalle stratigrafie integrative descritte nel capitolo precedente. Per il sito di Felino 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. 7 si riporta il confronto tra le misure di vs in sito e la relativa discretizzazione per il sito San Michele Tiorre.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	17 di 50



**Fig. 7 - S2 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico con codice di calcolo San Michele Tiorre**

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

### 3.4.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G<sub>0</sub>) 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<sub>0</sub>) 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 S2 presso San Michele Tiorre. I parametri sismici per le ghiaie, invece, sono stati desunti da letteratura (Rollins<sup>3</sup>).

Tali prove hanno fornito dati sperimentali che hanno consentito di definire le leggi di variazione dei parametri D e G/G<sub>0</sub> 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<sub>0</sub> = modulo di taglio normalizzato

D = rapporto di smorzamento


$\gamma$  = deformazione di taglio

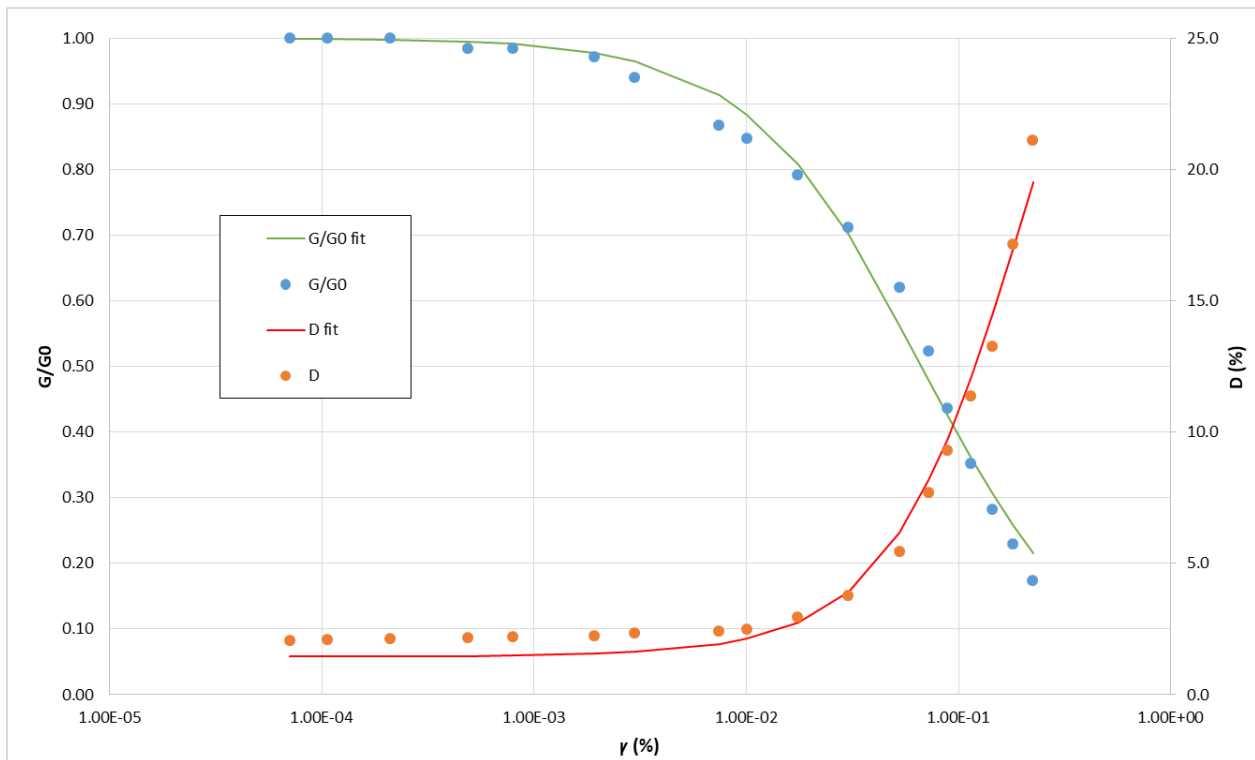
$\alpha, \beta, \eta, \lambda$  = parametri sperimentali del modello

Il fit dei dati sperimentali alle funzioni sopra descritte è stato effettuato con il metodo dei minimi quadrati (X<sup>2</sup>).

In Fig. 8 è riportato un grafico esemplificativo della procedura di normalizzazione utilizzata per il campione DH2SH2.

<sup>3</sup> Rollins, K.M., Evans, M.D., Diehl, N.B. & Daily, 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. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	19 di 50




**Fig. 8 - Grafico dei dati sperimentali e delle curve di interpolazione per il campione DH2SH2**

In Fig. 9 e Fig. 10 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)	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
DH2SH1	6.00 - 6.70	Argilla con limo deb. sabbioso marrone	RC	26.25	9.36	0.94	34.18	2.68
DH2SH2	24.00 - 24.70	Limo con argilla deb. sabbioso marrone	RC	101.42	17.99	1.07	39.92	3.32

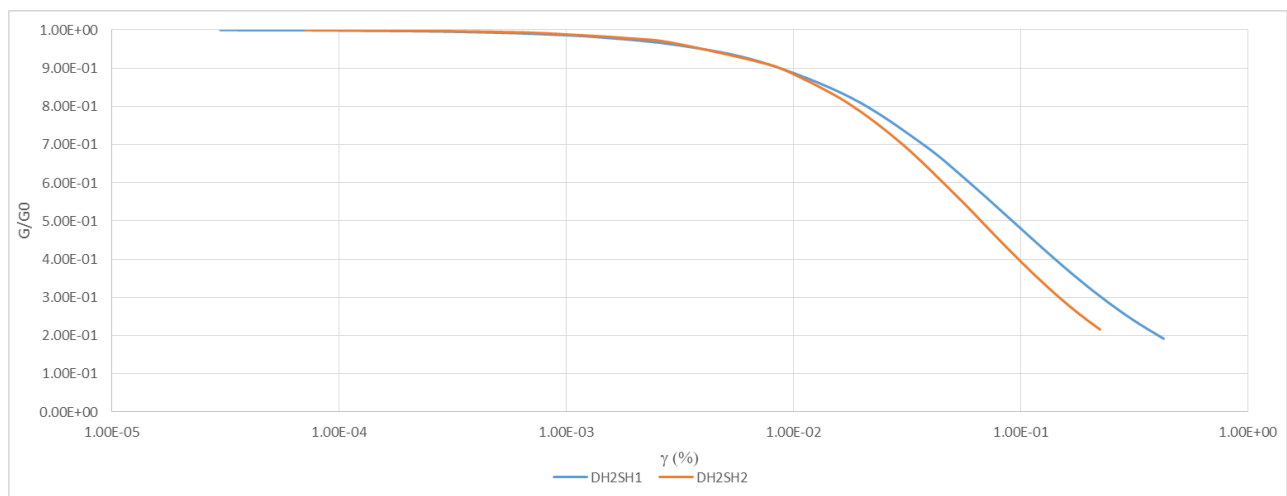
**Tab. 3 - Riepilogo dei risultati della ricostruzione delle curve sperimentali**

In Tab. 4 sono stati 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.

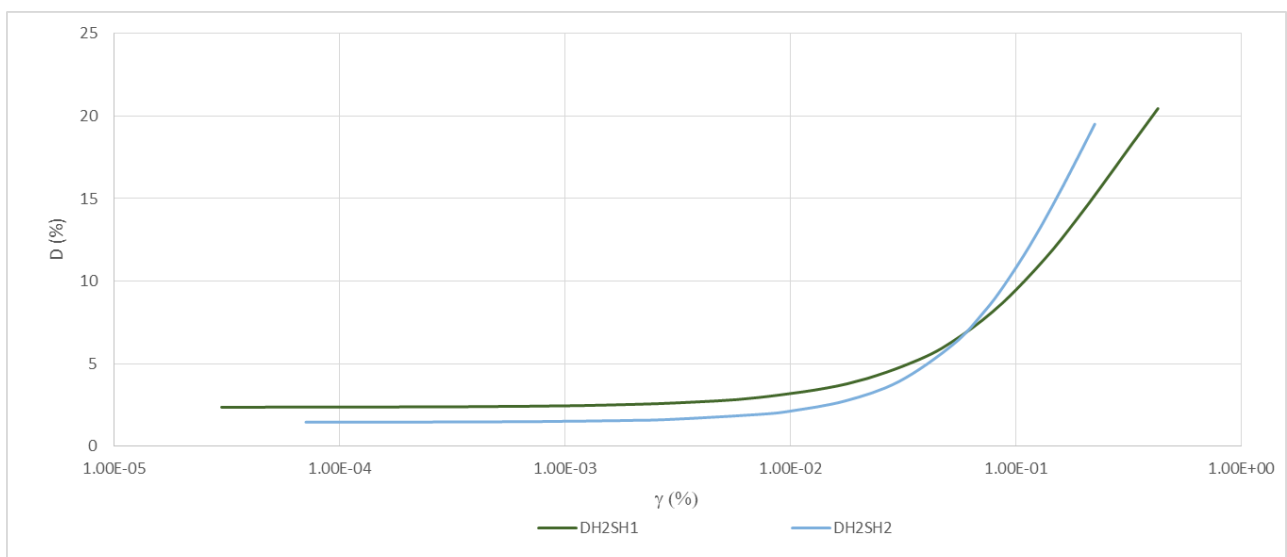
	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	20 di 50

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>	%	%	%	%	%	%	%
DH2SH1	6.00 – 6.70	Argilla con limo deb. sabbioso marrone	36.4	1.82	1.33	91	33	58	0.2	7.8	39.5	52.5
DH2SH2	24.00 – 24.70	Limo con argilla deb. sabbioso marrone	30.2	1.89	1.46	69	30	39	0.9	8.9	45.3	44.9

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



**Fig. 9 – Grafico delle curve di interpolazione di G/G<sub>0</sub> per i campioni indisturbati**



**Fig. 10 – Grafico delle curve di interpolazione di D per i campioni indisturbati**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FELINO</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>4</sup> sviluppato da A. Kottke e E. Rathje<sup>5</sup>. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer<sup>6</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  $PSV(T_i) = T_i \cdot PSA(T_i) / 2\pi$ , 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>4</sup> Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.

<sup>5</sup> Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California

<sup>6</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 2018	0	22 di 50

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FELINO</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. 4). 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 Felino

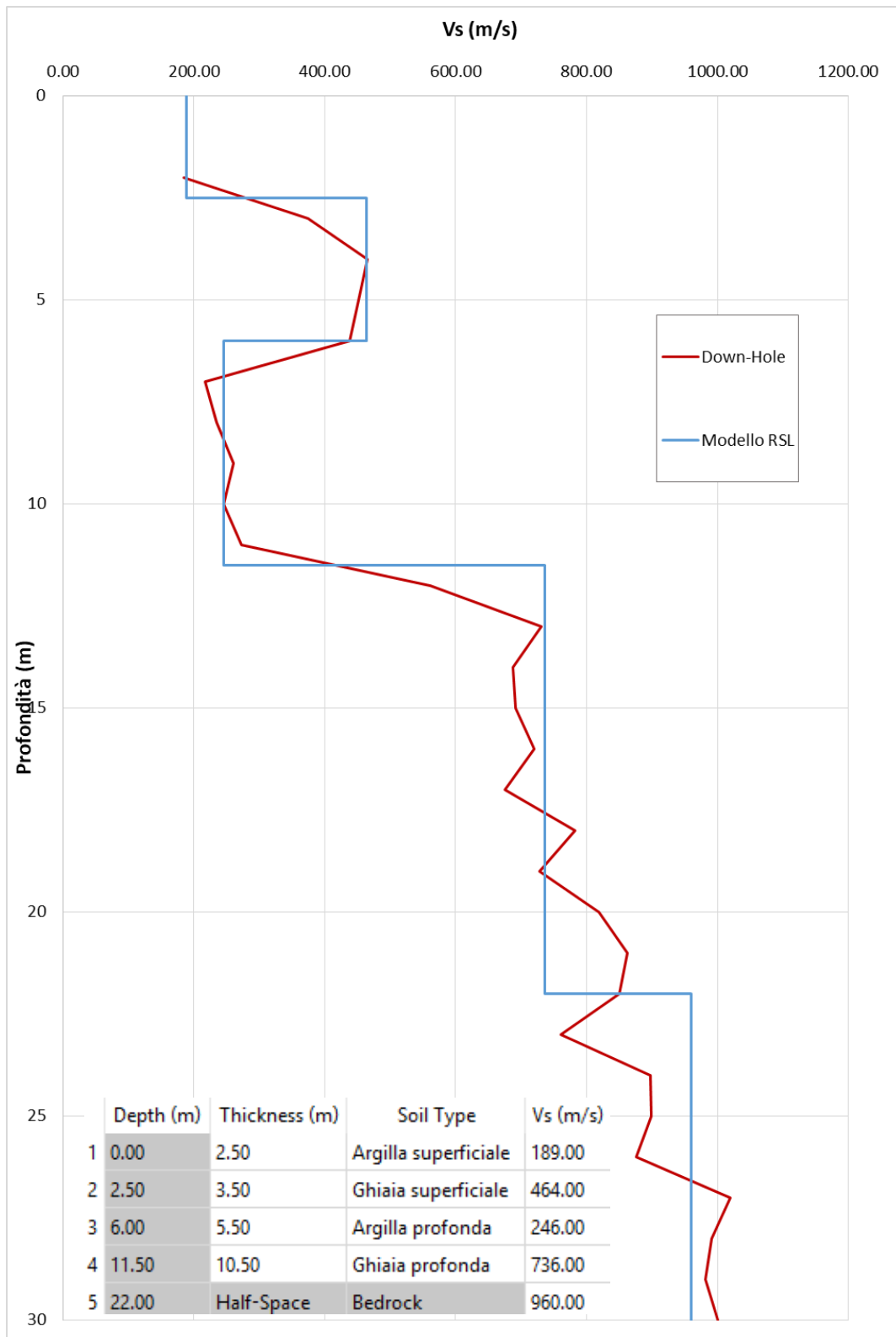
I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	$\gamma$	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(m/s)	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
Argilla superficiale	2.50	0.00	18.0	189.00	8.11	0.87	34.8	3.32
Ghiaia superficiale	3.50	2.50	21.00	464.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla profonda	5.50	6.00	19.00	246.00	17.99	1.07	39.92	3.32
Ghiaia profonda	10.50	11.50	21.00	736.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Bedrock		22.00	22.00	960.00				

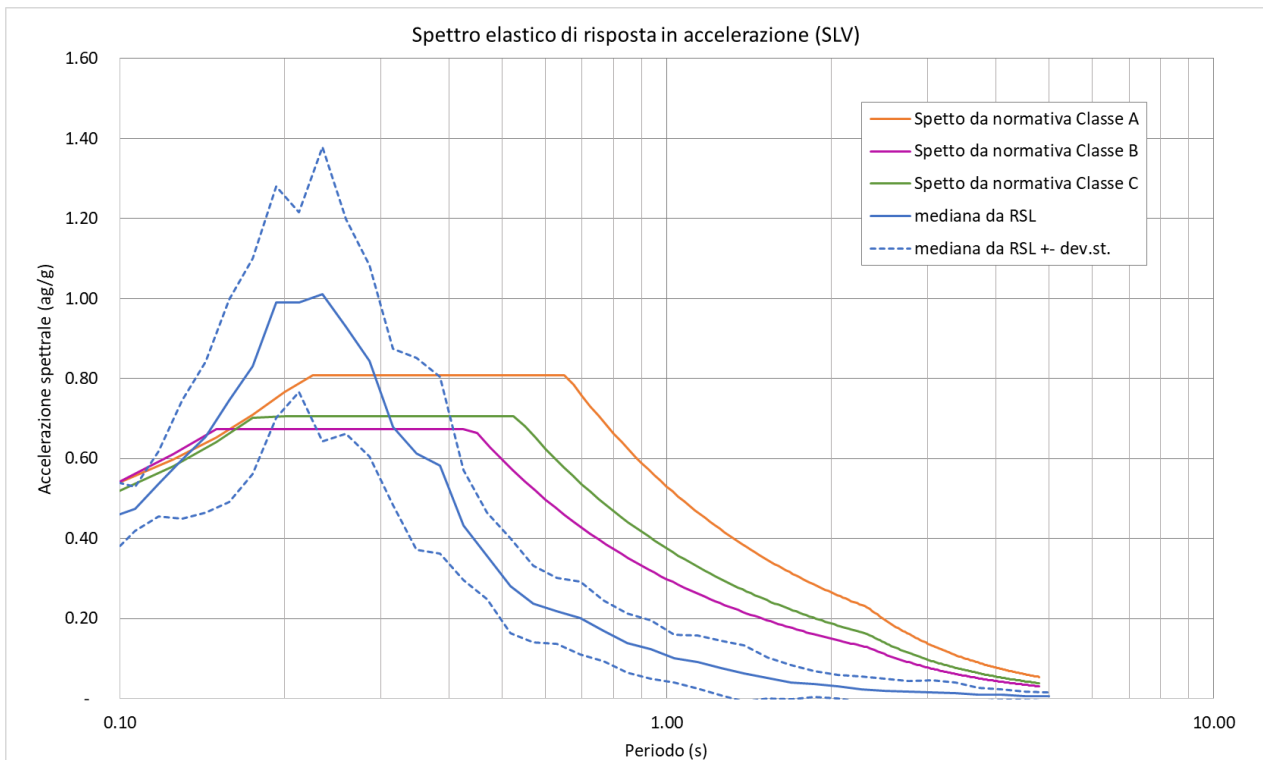
**Tab. 5 - S1 - Modello geofisico**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	23 di 50

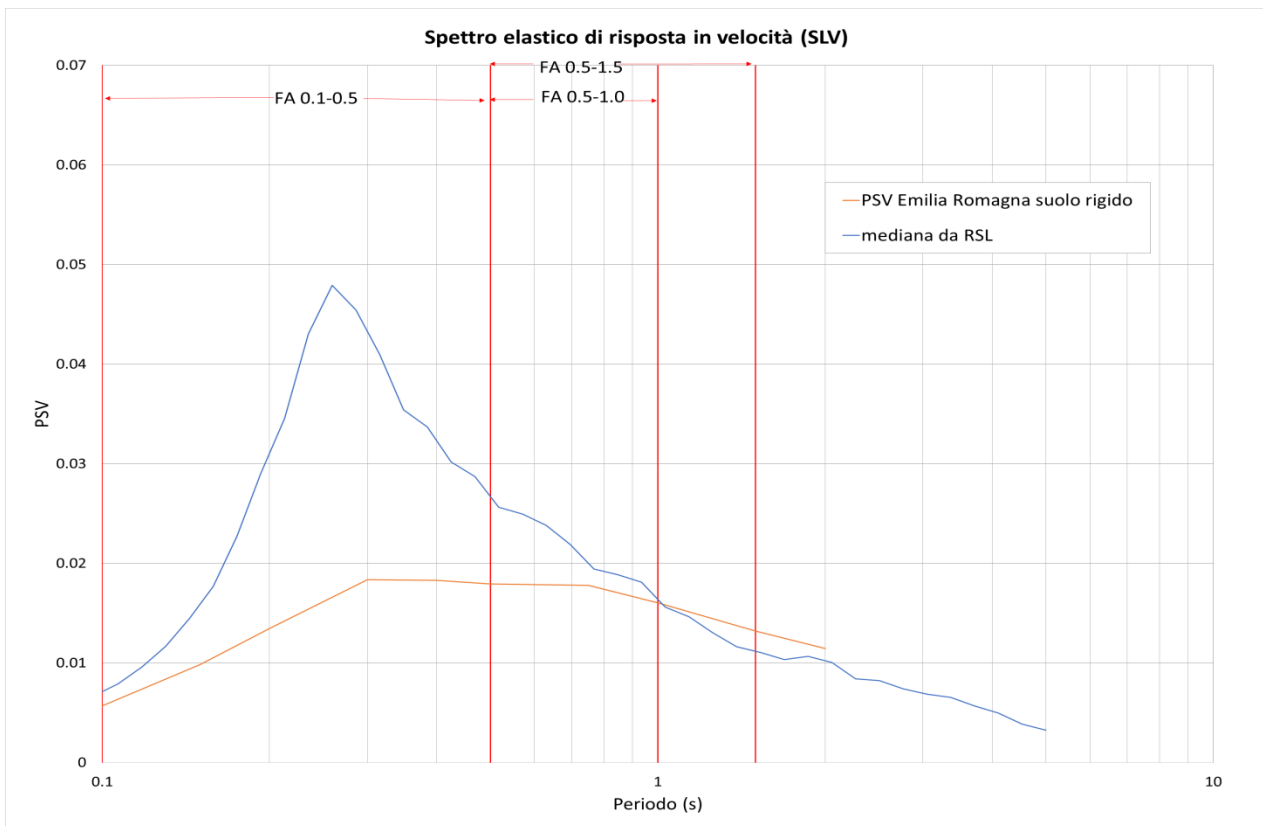





**Fig. 11 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo Felino**

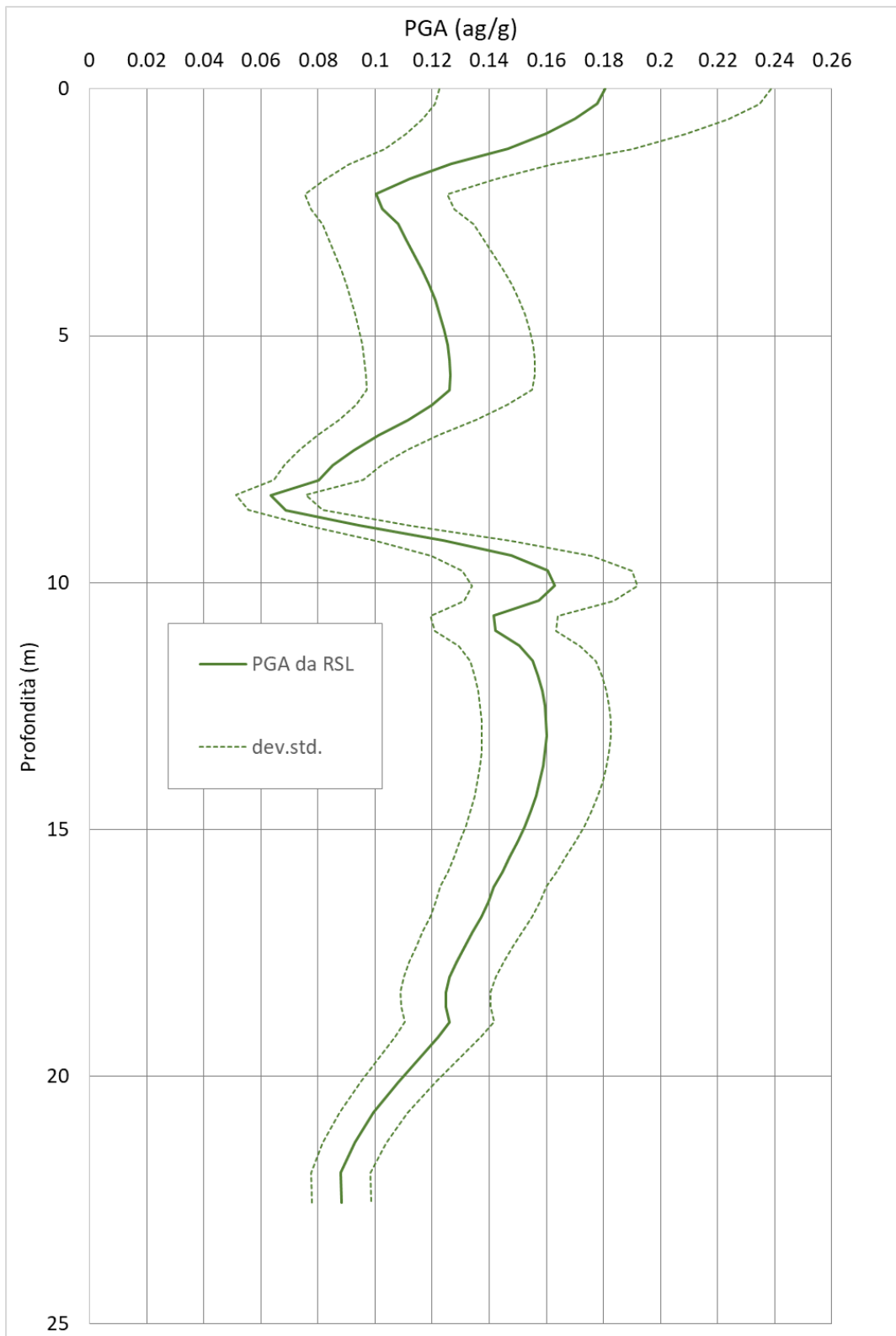


**Fig. 12 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione Felino**



**Fig. 13 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità Felino**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	25 di 50



**Fig. 14 - Variazione dell'accelerazione con la profondità Felino**

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

	RSL
$FA_{PGA}$	2.13
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.95
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.15
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.02


**Tab. 6 - S1 - Fattori di amplificazione**

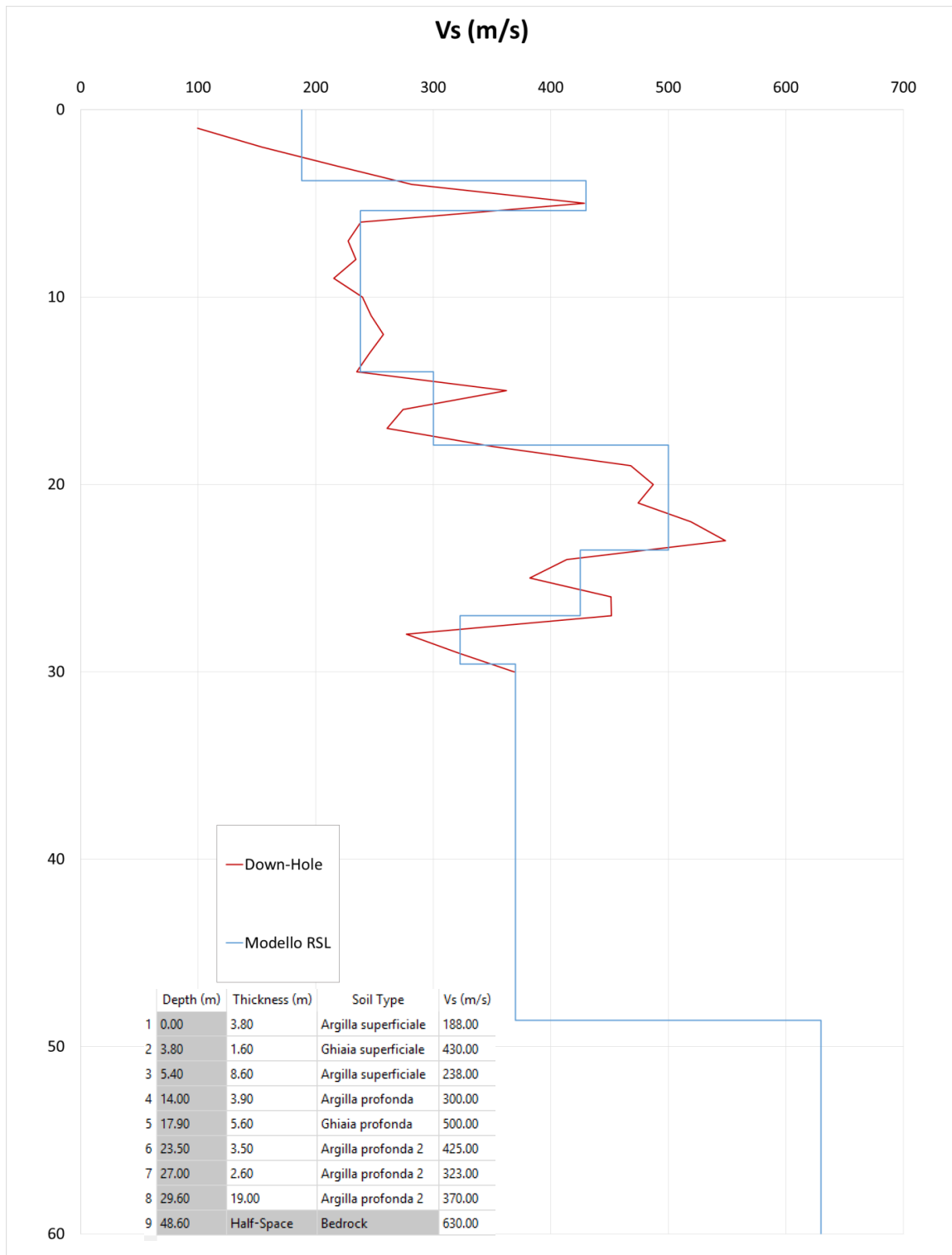
### 3.5.2 RSL per il sito di San Michele Tiorre

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

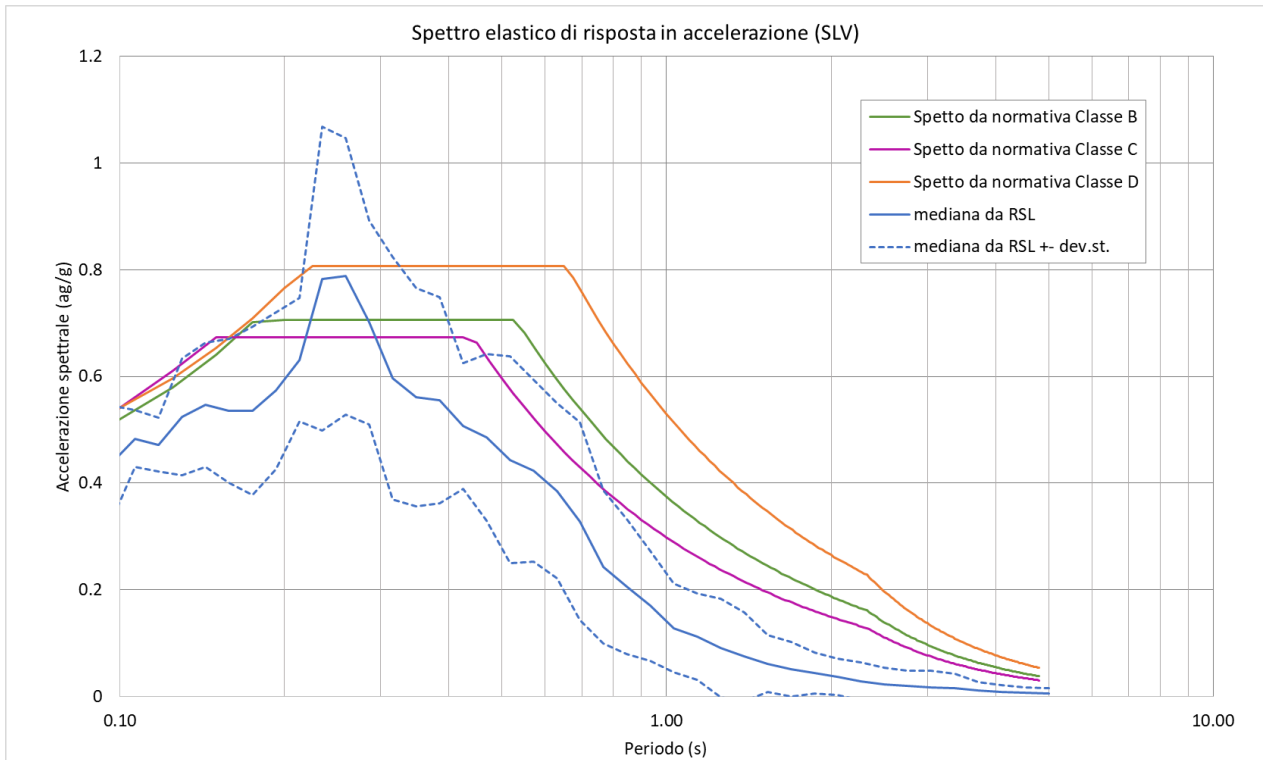
Litologia	Spess.	Prof.	$\gamma$	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(M)	(kN/m <sup>3</sup> )	(m/s)	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
Argilla superficiale	3.80	0.00	18.0	188.00	9.36	0.94	34.18	2.68
Ghiaia superficiale	1.60	3.80	21.0	430.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla superficiale	8.60	5.40	18.0	238.00	9.36	0.94	34.18	2.68
Argilla profonda	3.90	14.00	19.0	300.00	17.99	1.07	39.92	3.32
Ghiaia profonda	5.60	17.90	21.0	500.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla profonda 2	3.50	23.50	19.0	425.00	17.99	1.07	39.92	3.32
Argilla profonda 2	2.60	27.00	19.0	323.00	17.99	1.07	39.92	3.32
Argilla profonda 2	19.00	29.60	19.0	370.00	17.99	1.07	39.92	3.32
Bedrock		48.60	22.0	630.00				

**Tab. 7 - S2 - Modello geofisico**

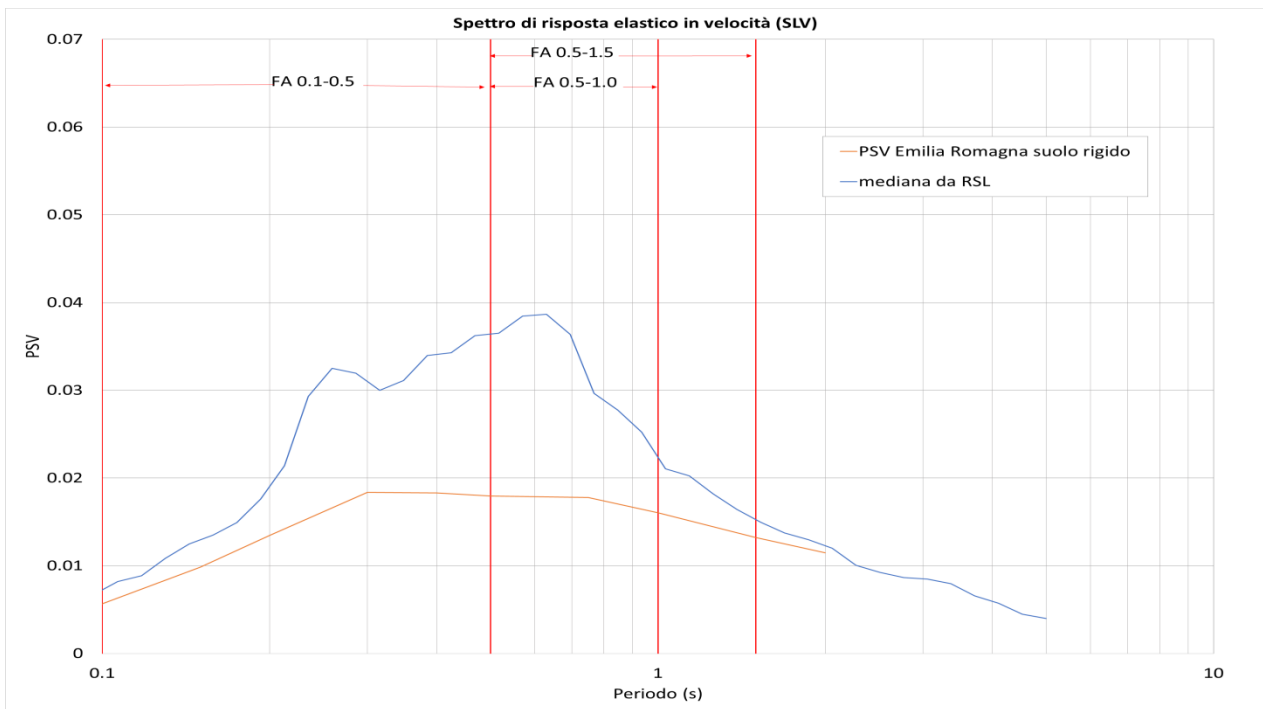
 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	27 di 50




**Fig. 15 - Discretizzazione della vs e modello geofisico del codice di calcolo San Michele Tiorre**

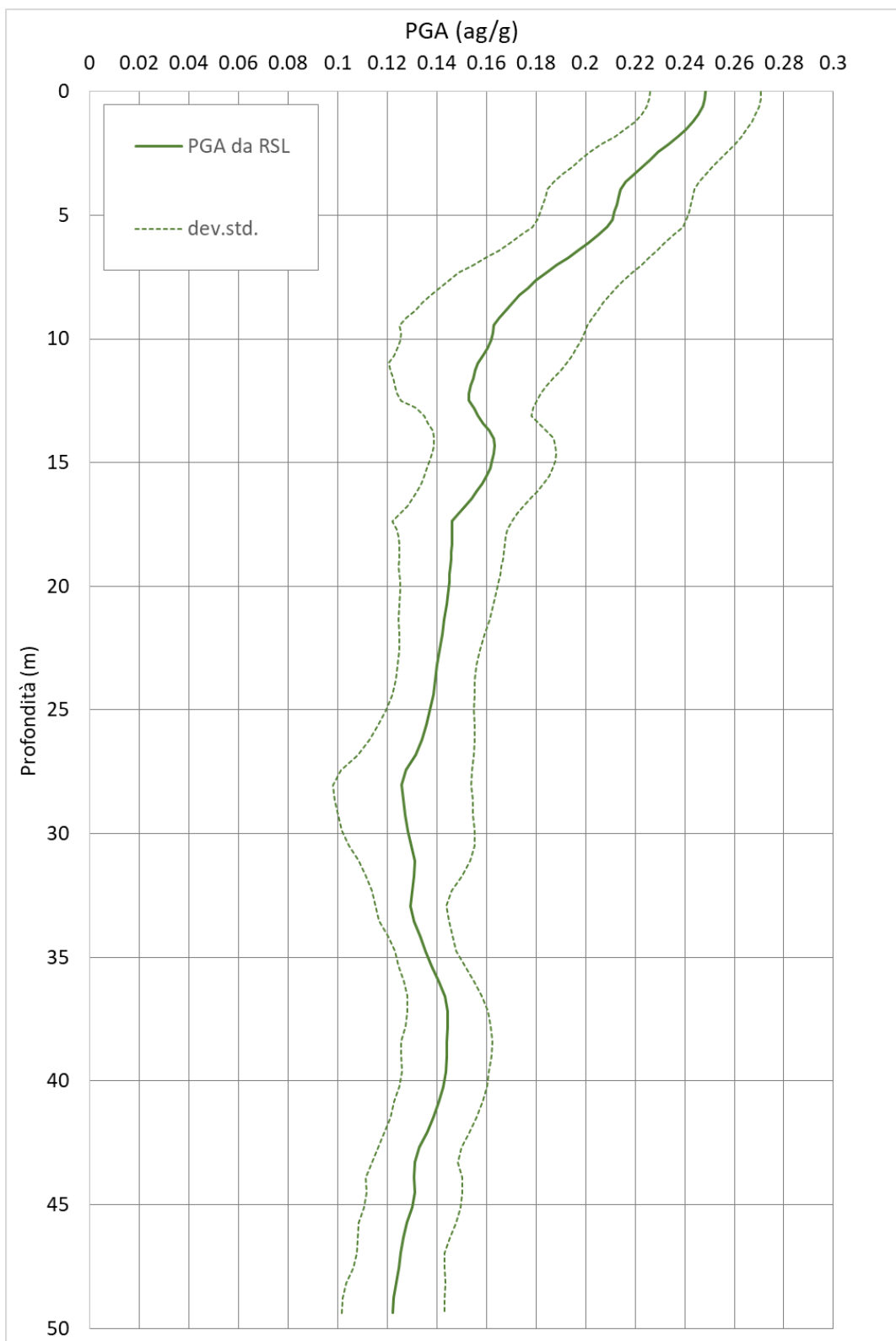


**Fig. 16 - S2 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**




**Fig. 17 - S2 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	29 di 50



**Fig. 18 - S2 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	30 di 50

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

	RSL
$FA_{PGA}$	1.60
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.74
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.73
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.47

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

### 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 e Tab. 7, cioè a modelli che tengono conto della sola sismostratigrafia riscontrata nel corso dei sondaggi (integrata, laddove necessario, a stratigrafie di pozzi dal database regionale vicini all'area di interesse).

Vista la 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  $V_s \geq 800\text{m/s}$ , 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  $2 \div 2.5$ .

A riguardo, va evidenziato che i contrasti di impedenza significativi, registrati nel corso delle prove HVSR effettuate per lo studio di microzonazione sismica di 2° e 3° livello, possono essere associati a discontinuità stratigrafiche note cioè a passaggi da argille a ghiaie.

La modellazione adottata nella RSL ha consentito di ottenere una funzione di trasferimento confrontabile con i risultati della prova HVSR in termini di picchi e frequenze caratteristici.

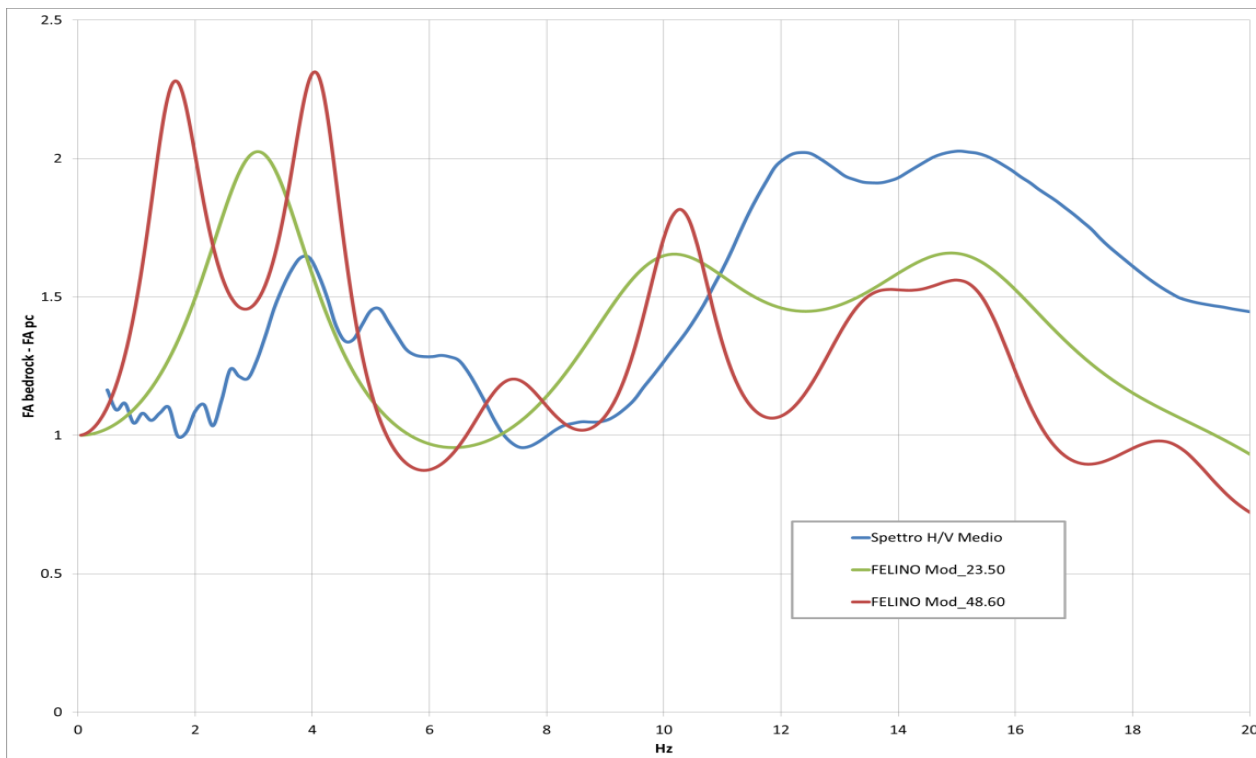
Dall'indagine mediante risposta sismica locale per il sondaggio a Felino, sono stati individuati un picco principale a 17.33 Hz ed uno di ampiezza minore a 4.33 Hz, mentre la prova HVSR presenta un picco attorno a 17.75 Hz ed uno a 4.25 Hz. Dalla registrazione del rumore sismico, però, ulteriori picchi sono compresi tra i due soprannominati, imputabili all'incremento delle velocità delle ghiaie con la profondità fino ai 30 m investigati.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	31 di 50



Situazione ben diversa a San Michele Tiorre (S2) dove, per meglio comprendere il fenomeno in fase di analisi sono stati realizzati 2 diversi modelli, con profondità crescenti fino a 48.60 m di profondità. Oltre i 30 m, come già descritto precedentemente, si sono utilizzati i dati stratigrafici di pozzi reperiti in zona. I modelli per la porzione in comune sono identici.


Il risultato delle diverse modellazioni, in termini di funzione di trasferimento, è riportato in Fig. 19.



**Fig. 19 - Confronto tra le funzioni di trasferimento per i diversi modelli e la curva H/V per il sondaggio S2**

Come si può constatare il modello più profondo (48.60m) fornisce funzioni di trasferimento con picchi più vicini ai picchi principali individuati con prova HVSR sebbene individui anche un picco intorno a 1.6 Hz, probabilmente non registrato da misurazione del rumore sismico perché schermato da quelli più superficiali ed indicativo del passaggio al bedrock sismico imposto a circa 50 m. Il modello più superficiale, invece è da ritenersi poco affidabile.

E', dunque, presumibile che la prova HVSR, in presenza di continue inversioni di velocità legata all'alternanza degli strati ghiaiosi e argillosi non riesca a distinguere adeguatamente i contratti di impedenza più profondi o troppo vicini tra loro.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	32 di 50

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

## 4. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 4.1 Carta 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 e già inserite nel precedente Studio di microzonazione di II livello redatto dagli scriventi, oltre a quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale, anch'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
- sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
- sondaggio a distruzione di nucleo
- prova penetrometrica in foro (SPT)
- pozzo per acqua
- 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 leggera
- trincea o pozzetto esplorativo
- stazione microtremore a stazione singola
- Profilo sismico a rifrazione
- Tomografia elettrica
- Prova REfractionMicrotremors
- MASW

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 20.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	33 di 50

 Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato   Sondaggio a carotaggio continuo   Sondaggio a distruzione di nucleo   Prova penetrometrica in foro (SPT)   Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)   Prova penetrometrica dinamica super pesante   Prova penetrometrica dinamica pesante   Prova penetrometrica dinamica leggera	 Pozzo per acqua   Trincea o pozzetto esplorativo   Prova sismica in foro tipo Downhole   Stazione microtremore a stazione singola   <b>SR</b> Profilo sismico a rifrazione   <b>ERT</b> Tomografia elettrica   <b>RM</b> Prova REfractionMicrotremors   <b>MW</b> MASW
--	--

**Fig. 20 - Legenda della Carta delle indagini**

Nelle carte sono indicate anche alcune 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. 9 vengono riportati il numero e la tipologia di indagini presenti sul territorio studiato, effettuate nel corso degli studi di microzonazione, acquisite mediante la ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale o riprese dal database del Servizio Geologico regionale.


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

<b>TIPO PROVA</b>	<b>PROVENIENTE DA ARCHIVIO REGIONALE</b>	<b>PROVENIENTE DA STUDIO DI 2° LIVELLO MS</b>	<b>Indagini per il 3° livello MS</b>	<b>TOTALE</b>
Sondaggio a carotaggio continuo	6	18	2	<b>26</b>
Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	1	2		<b>3</b>
Sondaggio a distruzione di nucleo		5		<b>5</b>
Prove Down-Hole			2	<b>2</b>
Analisi di laboratorio per la determinazione di G/G <sub>0</sub> e D			2	<b>2</b>
Prova penetrometrica in foro (SPT)	7	39		<b>46</b>
Pozzo per acqua	138	1		<b>139</b>
Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)	4	125		<b>129</b>
Prova penetrometrica dinamica super pesante		94		<b>94</b>
Prova penetrometrica dinamica pesante	33			<b>33</b>
Prova penetrometrica dinamica leggera	2	8		<b>10</b>
Stazione microtremore a stazione singola		57	2	<b>59</b>
Trincea o pozzetto	23	41		<b>64</b>
Profilo sismico a rifrazione		7		<b>7</b>
Tomografia elettrica		2		<b>2</b>
Prova REfractionMicrotremors		3		<b>3</b>
MASW		12		<b>12</b>

**Tab. 9 - Riepilogo delle indagini geognostiche presenti sul territorio comunale**

## 4.2 Carta geologico-tecnica

La Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica, già redatta nello studio effettuato dagli scriventi, relativo ai primi due livelli di approfondimento, è stata rivista alla luce degli ultimi aggiornamenti normativi e standard di rappresentazione. Quindi facendo riferimento alla precedente cartografia, dove sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse, si è proceduto alla nuova classificazione e rappresentazione.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	35 di 50

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

Va evidenziato che questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultati funzionali alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1), che sarà descritta nel successivo paragrafo 4.4.

Sulla base di tali fonti informative, le unità geologico-litotecniche sono state distinte tra terreni di copertura (cartografati quando presentano uno spessore minimo di 3 m) e substrato geologico che, nella zona di studio, risulta sempre costituito da “alternanza di litotipi, stratificato”.

Esse sono identificate da un codice che, nel caso delle coperture, identifica sia le caratteristiche tessiturali che l’ambiente genetico-deposizionale.

A parte sono raffigurate le aree interessate da instabilità di versante, con retini che ne indicano la tipologia e lo stato di attività.

Nella Carta geologico tecnica sono stati indicati anche elementi geologici come pozzi o sondaggi, distinti a seconda che abbiano raggiunto o meno il substrato geologico.

La scala di rilevamento e di rappresentazione è 1:5.000.

Nei successivi paragrafi viene sinteticamente descritto l’assetto geologico-tecnico che caratterizza i vari ambiti oggetto di studio.

#### **4.2.1 Felino**


Il Capoluogo è posto lungo la sponda idrografica destra del torrente Baganza, ricadendo, interamente, sulla corrispondente zona terrazzata.

Sulla base delle differenti tessiture, e gli stessi ambienti di sedimentazione, si sono potute distinguere le seguenti unità:

- GMtf - Depositi terrazzati costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo, sulla quale è stato edificato gran parte dell’abitato, appartenenti ai Subsistemi di Ravenna, di Agazzano e di Villa Verucchio, Unità di Niviano.
- SWtf - Depositi terrazzati costituiti da sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose appartenenti all’Unità di Modena, presenti solo all’estremità nord-occidentale del Capoluogo.
- MHtf - Depositi terrazzati costituiti da limi inorganici, sabbie fini, limi micacei o diatomicei, affioranti nella parte a sud ovest del capoluogo, che appartenenti al Subsistema di Ravenna.

#### **4.2.2 Casale di Felino**

L’abitato di Casale di Felino è ubicato all’estremità nord-occidentale del Comune, poco più a nord del Capoluogo e, analogamente ad esso, ricade sulla zona terrazzata del torrente Baganza, dove si distinguono le seguenti unità:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	36 di 50

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

- GMtf - Depositi terrazzati costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo, presenti nella zona meridionale dell'abitato e appartenenti al Subsistema di Ravenna.
- SWtf - Depositi terrazzati costituiti da sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose appartenenti all'Unità di Modena e affioranti in una piccola fascia nella zona nord occidentale.
- MLtf - Depositi terrazzati costituiti da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità, appartenenti anch'essi, al Subsistema di Ravenna che si trovano nella parte settentrionale dell'abitato.

#### **4.2.3 San Michele de Gatti**

L'abitato di San Michele de Gatti, posto poco più a sud del Capoluogo e analogamente corrispondente alla zona terrazzata del torrente Baganza. Distinguiamo le seguenti unità:

- SWtf - Depositi terrazzati costituiti da sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose appartenenti all'Unità di Modena e affioranti nella zona nord occidentale.
- MHtf - Depositi terrazzati costituiti da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità, appartenenti, anch'essi, al Subsistema di Ravenna che si trovano nella parte sud ovest dell'abitato.

#### **4.2.4 San Michele Tiorre**


L'abitato di San Michele Tiorre, posto poco più a est del Capoluogo corrisponde alla zona terrazzata del torrente Baganza e distinguiamo le seguenti unità:

- GMtf - Depositi terrazzati costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo, corrispondenti alla quasi totalità dell'abitato e appartenenti ai Subsistemi di Agazzano e di Villa Verucchio, Unità di Niviano.
- MLtf - Depositi terrazzati costituiti da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità presenti nella parte orientale dell'abitato e appartenenti al il Subsistema di Ravenna.

#### **4.2.5 Poggio di Sant'Ilario Baganza**

L'abitato di Poggio di Sant'Ilario Baganza, è posto all'estremo meridionale del Comune lungo la zona terrazzata del torrente Baganza. Distinguiamo le seguenti unità:

- SWtf - Depositi terrazzati costituiti da sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose appartenenti all'Unità di Modena e posti in prossimità del Torrente Baganza.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	37 di 50

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

- GMtf - Depositi terrazzati costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo, appartenenti all'ampia fascia centrale dell'area urbanizzata e urbanizzabile appartenenti al Subsistema di Ravenna.

E' stata inoltre cartografata la presenza di un substrato geologico affiorante:

- ALS - Substrato geologico alternanza di litotipi, stratificato, posto sul lato orientale dell'abitato e appartenente alla Formazione di Ranzano.

e di aree di instabilità di versante:

- Instabilità di versante - Frana complessa-quiescente; caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio pari a 5 m di depositi di frana, del tipo complessa-quiescente, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti su substrato non rigido corrispondente alla Formazione di Ranzano.

#### **4.2.6 Sant'Ilario Baganza**

Nell'abitato di Sant'Ilario Baganza distinguiamo le seguenti unità:

- GMtf - Depositi terrazzati costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo, corrispondenti a gran parte dell'abitato che appartenenti all'Unità di Modena.

E' stata inoltre cartografata la presenza di un substrato geologico affiorante:

- ALS - Substrato geologico alternanza di litotipi, stratificato, corrispondente alla Formazione di Ranzano e al Flysch di Monte Sporno, Membro di Calestano.


e di aree di instabilità di versante:

- Instabilità di versante - Frana complessa-quiescente; caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio pari a 5 m di depositi di frana, del tipo complessa-quiescente, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti su substrato non rigido corrispondente alla Formazione di Ranzano e al Flysch di Monte Sporno, Membro di Calestano.

#### **4.2.7 Barbiano**

L'abitato di Barbiano è posto nella zona collinare del comune, lungo una cresta ove è stata cartografata un'unica unità:

- ALS - Substrato geologico alternanza di litotipi, stratificato, corrispondente alla Formazione a Colombacci - litofacies conglomeratica nella quasi totalità dell'abitato e al Flysch di Monte Sporno, Membro di Calestano posto nella zona più settentrionale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	38 di 50

### 4.3 Carta 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, a scala 1:5.000.

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


In queste carte sono stati riportati tutti i punti di misura (59), 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 ( $F_1$ ).

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

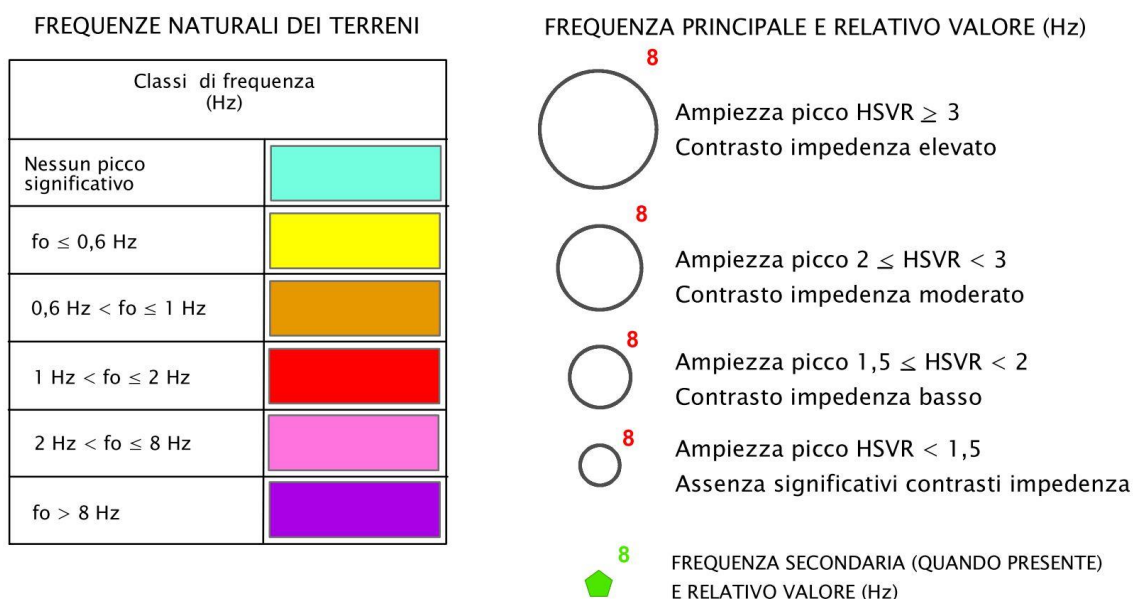
Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 21:

- Nessun picco significativo
- $F_0 \leq 0.6$  Hz
- $0.6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$  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 contrasto di impedenza alto (ampiezza  $H/V > 3$ ), moderato (ampiezza  $2 \leq H/V < 3$ ), basso (ampiezza  $1.5 \leq H/V < 2$ ) o assenza di significativi contrasti di impedenza (ampiezza  $H/V < 1.5$ ), come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 21.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	39 di 50





**Fig. 21 - 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 cartografia 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 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 Felino, non è mai presente la

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	40 di 50

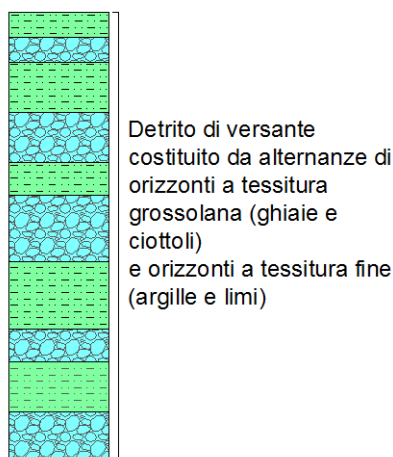
categoria 1 – zone stabili. Invece, sono state individuate le seguenti 3 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:

- Zona 1 - Successione stratigrafica costituita da alternanze di orizzonti a tessitura grossolana (ghiaie e ciottoli) e orizzonti a tessitura fine (argille e limi). Si rinviene diffusamente in tutte le aree esaminate, con eccezione di Barbiano, caratterizzando tutta la porzione di territorio pianeggiante del Comune; in particolare, a Felino, Casale di Felino, San Michele Tiorre e San Michele de Gatti, occupa la totalità dell’abitato; a Poggio di Sant’Ilario Baganza, gran parte del territorio urbanizzato e urbanizzabile, e, a Sant’Ilario Baganza, tutto il settore centrale, di fondovalle.
- Zona 2 - Successione stratigrafica costituita da detrito di versante a granulometria eterogenea ed eterometrica: alternanze di orizzonti a tessitura grossolana (ghiaie e ciottoli) e orizzonti a tessitura fine (argille e limi). Si rinviene localmente in piccole aree di montagna lontane dai centri abitati.
- Zona 3 - Successione stratigrafica costituita da un orizzonte a tessitura grossolana (ghiaie e ciottoli in matrice fine) di copertura che ricopre un substrato roccioso non rigido. Si rinviene diffusamente nella parte collinare e montana del comune, negli abitati si ritrova a Barbiano e in piccole porzioni di Sant’Ilario Baganza e di Poggio di Sant’Ilario Baganza.

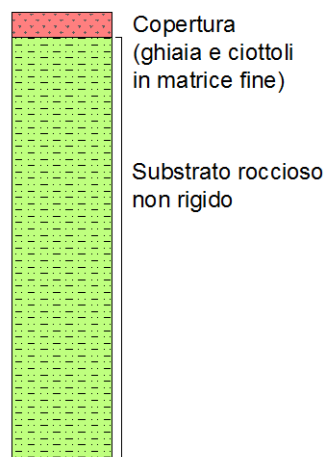
**Zona1**



**Zona2**




**Zona 3**

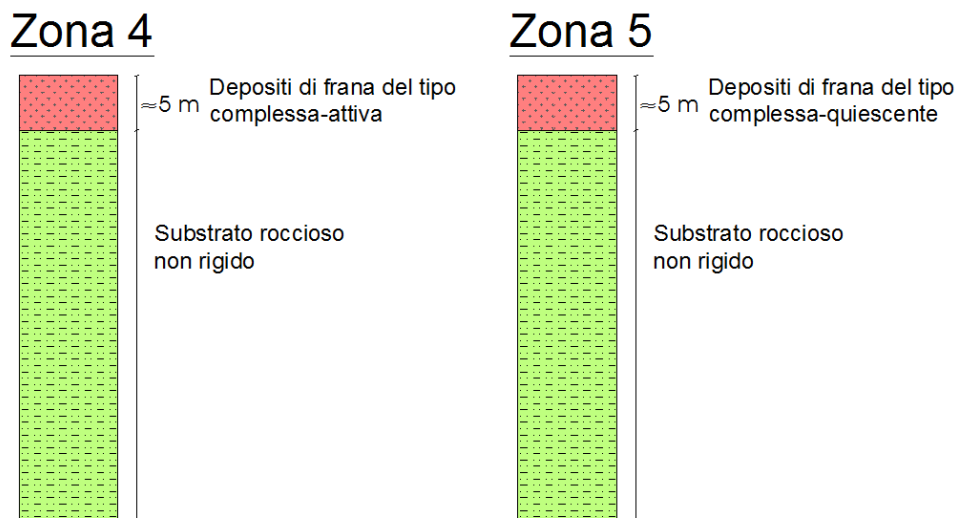


**Fig. 22 – Colonne litostратigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone stabili suscettibili di amplificazione locale**

Sempre nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica sono state raffigurate anche due Zone di attenzione per instabilità di versante:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	41 di 50

- ZA\_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 4 – Corpo di frana del tipo complessa-attiva, corrisponde a piccoli settori lontani dal territorio urbanizzato e urbanizzabile nella zona collinare e montana, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio pari a circa 5 m di depositi di frana, del tipo complessa-attiva, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti su substrato non rigido.
- ZA\_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 5 – Corpo di frana del tipo complessa-quiescente, corrisponde a piccoli settori nella zona collinare e montana, nel territorio urbanizzato e urbanizzabile si rinviene in piccole porzioni degli abitati di Sant’Ilario Baganza e di Poggio di Sant’Ilario Baganza, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio pari a circa 5 m di depositi di frana, del tipo complessa-quiescente, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti su substrato non rigido.




**Fig. 23 – Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone di attenzione per instabilità di versante**

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

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, si è redatta per tutte le aree oggetto di studio la Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).

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 Vs ricavati dalle nuove indagini realizzate.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	42 di 50

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

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tomografica, prova sismica in foro tipo Down Hole, profilo sismico a rifrazione, MASW o ReMi) e indicando il corrispondente valore di  $V_{sH}$  (in m/s) e della profondità del substrato sismico (H), dove:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

$H$  = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato  $i$ -esimo (fino al *bedrock*)

$V_{s_i}$  = velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino al *bedrock*);

o di  $V_{s30}$  (sempre 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).


#### 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.

Per gli abitati di Felino e San Michele Tiorre, 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 PGA (scala 1:5.000);

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	43 di 50

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

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


Nelle zone in cui non sono stati effettuati approfondimenti di 3° livello, 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 Felino, si sono usate le seguenti tabelle, proposte nell'Allegato A2 degli indirizzi regionali,

- Tabella riportata in Tab. 10, relativa ad un profilo stratigrafico tipo APPENNINO, caso di substrato marino non rigido, cioè caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, affiorante; utilizzata per l'abitato di Casale di Felino, caratterizzato da depositi ghiaiosi sub-affioranti (<3m), e per gli abitati di Barbiano e Sant'Ilario Baganza dove troviamo formazioni rocciose sub-affioranti.
- Tabelle riportate in Tab. 11 rappresentative di aree di tipo APPENNINO, con substrato non rigido, cioè caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s; utilizzate negli abitati di San Michele de Gatti, Poggio di Sant'Ilario Baganza e la parte di fondovalle di Sant'Ilario Baganza oltre alle zone instabili (zone di attenzione per instabilità di versante).

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
F.A. PGA					1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
F.A. SI1					1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2
F.A. SI2					1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3

**Tab. 10 - Tabelle utilizzate per la stima di F.A. per APPENNINO caso di substrato marino non rigido, cioè caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, affiorante (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	44 di 50

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione **SI2** ( $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

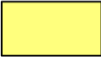









**Tab. 11 - Tabelle utilizzate per la stima di F.A. per APPENNINO caso di substrato non rigido, cioè caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)**

Per quanto riguarda le aree in cui si è usata la tabella di tipo APPENNINO, con substrato marino non rigido, caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, affiorante, 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. 24, e dei valori desunti dalle indagini, si è usata una  $V_{s30}=350$  m/s cui corrisponde l'appartenenza alle classi:


- $F_{a_{PGA}} = 1.9 - 2.0$
- $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} = 1.9 - 2.0$
- $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} = 1.5 - 1.6$

Nelle aree in cui si è usata la tabella di tipo APPENNINO, con substrato non rigido, caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, sempre partendo dai valori desunti dalle indagini, si sono utilizzati i seguenti valori di  $V_{sH}$  e di H:

- San Michele de Gatti:  $V_{sH}$  250 m/s e H 20 m;
- Poggio di Sant'Ilario Baganza e Sant'Ilario Baganza, con eccezione delle zone in frana:  $V_{sH}$  300 m/s e H 20 m;
- Zone instabili, zone di attenzione per instabilità di versante:  $V_{sH}$  250 m/s e H 5 m.

Parametro di amplificazione <sup>29</sup>	Simbolo
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. 24 - Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**


 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	46 di 50



<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FELINO</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)
- Di Dio G. (2007): STUDIO DELLA CONOIDE ALLUVIONALE DEL FIUME TARO PER LA REALIZZAZIONE DI UN MODELLO IDROGEOLOGICO PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE
- Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.
- Engeo s.r.l. (2012): STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA CON APPROFONDIMENTI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO DEL COMUNE DI FELINO, certificato dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna il 6 febbraio 2014 (prot. PG.2014.0034345.)
- 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).


 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	47 di 50



<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FELINO</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. (2009): L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA"
- 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
- GUIDELINES FOR DETERMINATING DESIGN BASIS GROUND MOTIONSTR-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

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	48 di 50

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

- 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 2018	0	49 di 50

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FELINO</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 1:5.000
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 - $F_{a_{IS\ 0.1s < T_0 < 0.5s}}$	scala 1:5.000
Elaborato 6c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.0s}}$	scala 1:5.000
Elaborato 6d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.5s}}$	scala 1:5.000

Inoltre, alla presente relazione, sono allegati

- Elaborato 7 – Prove HVSR, in cui sono riportati tutti i report delle nuove indagini sismiche effettuate.
- Elaborato 8 – Stratigrafie sondaggi, con la stratigrafia dei sondaggi realizzati specificamente per il presente studio
- Elaborato 9 – Prove Down-Hole, contenente i risultati delle prove Down-Hole effettuate nei fori di sondaggio
- Elaborato 10 – Analisi di laboratorio, contenente i certificati delle analisi geotecniche effettuate sui campioni prelevati nei sondaggi.
- Elaborato 11 – Indagini da RER, contenente la stratigrafia del pozzo utilizzato per l'analisi di RSL.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	50 di 50