



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



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 Pellegrino Parmense




<p>Regione</p> <p>Emilia Romagna</p>	<p>RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI</p> <p>Mandataria:</p>  <p>EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small> www.engeo.it</p> <p>Direttori tecnici: Dr. Geol. Carlo Caleffi Dr. Geol. Francesco Cerutti</p> <p>Mandanti: Dr. Geol. Marco Baldi Dr. Geol. Domenico Bianco Dr. Geol. Stefano Castagnetti Dr. Geol. Massimiliano Trauzzi</p> <p>Collaboratori: Dr. Geol. Alessandro Ferrari Dr. Geol. Federico Madini</p>	<p>Data</p> <p>Settembre 2016</p>
--------------------------------------	--	-----------------------------------

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

INDICE

1.	Introduzione	2
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	4
2.1	Inquadramento sismotettonico	4
2.2	Zonazione sismogenetica	9
2.3	Sismicità del territorio	10
2.4	Classificazione sismica comunale	11
2.5	Pericolosità sismica	13
2.6	Microzonazione sismica	15
3.	Assetto geologico e geomorfologico dell'area	17
3.1	Geologia	17
3.2	Geomorfologia.....	22
4.	Dati geotecnici e geofisici	25
5.	Modello del sottosuolo	29
6.	Interpretazioni e incertezze	31
7.	Metodologie di elaborazione e risultati	36
8.	Elaborati cartografici di primo e secondo livello.....	38
8.1	Carta delle indagini.....	38
8.1.1	Abitato di Pellegrino Parmense.....	39
8.1.2	Abitato di Grotta	39
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	39
8.2.1	Abitato di Pellegrino Parmense.....	40
8.2.2	Abitato di Grotta	42
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	43
8.3.1	Abitato di Pellegrino Parmense.....	43
8.3.2	Abitato di Grotta	45
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	46
8.5	Carte delle velocità delle onde di taglio S	49
8.5.1	Abitato di Pellegrino Parmense.....	50
8.5.2	Abitato di Grotta	51
9.	Approfondimenti di terzo livello	52
9.1	Area considerata	52
9.2	Risposta sismica locale	53
9.2.1	Pericolosità sismica di base	53
9.2.2	Segnali in input	54
9.2.3	Modello geofisico del sottosuolo.....	56
9.2.4	Codice di calcolo per la valutazione della RSL	58
9.2.5	Risultati della modellazione numerica.....	58
9.2.6	RSL per il sito di Grotta M1	59
9.2.7	RSL per il sito Grotta M6	64
9.2.8	RSL per il sito di Pellegrino SR1	68
9.2.9	RSL per il sito di Pellegrino M2	72
9.3	Stabilità di versante	76
9.3.1	Metodo di verifica	76
9.3.2	Le ipotesi verificate.....	80
9.3.3	Frana di Pellegrino Parmense	82
9.3.4	Frana di Grotta.....	86
9.4	Carte di microzonazione sismica	89
10.	Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati.....	92
11.	Bibliografia	93
12.	Allegati	95

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	1 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE 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 terzo livello del Comune di Pellegrino Parmense*, effettuato su incarico dell'Unione dei Comuni Valli Taro e Ceno (cfr. Determinazione n° 10 dell'11/02/2016) e finanziato con Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri del 19 giugno 2014 n. 171 "Attuazione dell'articolo 11 del Decreto legge 28 aprile 2009 n° 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n° 77. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2013" (G.U. n° 145 del 25.6.2014).

Più precisamente, oggetto dell'incarico è stata la redazione degli studi di Microzonazione Sismica, con approfondimenti di III Livello, nel territorio urbanizzato e urbanizzabile del Capoluogo e della località Grotta.


Detta attività è stata svolta in conformità alle leggi e disposizioni vigenti (cfr. in particolare, il sopraccitato OPCM n.171 del 19 giugno 2014 e la DGR n.1227 del 31 agosto 2015) e facendo riferimento ai seguenti documenti tecnici:

- "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
- "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", approvati con DAL 112/2007, e successive modifiche e integrazioni
- "Studi di microzonazione sismica – standard di rappresentazione e archiviazione informatica" pubblicati sul sito web del Dipartimento della Protezione Civile

In Comune di Pellegrino Parmense, erano già stati svolti, dai geologi dott. Federico Madini e Dott. Massimiliano Trauzzi, e certificati da parte del Servizio regionale competente, studi con approfondimenti di primo e di secondo livello. Essi sono stati, qui, recepiti, aggiornati con le nuove informazioni raccolte e rieditati in conformità agli ultimi standard.

Il presente studio ha previsto, in particolare, la raccolta di altri dati pregressi e l'esecuzione di una nuova campagna di indagini costituita da:

- n. 6 prove MASW che hanno consentito una migliore definizione delle Vs e, conseguentemente, della profondità del *bedrock* sismico;
- n. 1 tomografie sismiche in onde P e onde S per definire gli andamenti delle superfici di scorrimento, presumibilmente corrispondenti con lo stesso *bedrock* sismico, nelle aree instabili;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	2 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- n. 10 prove HVSR, al fine di approfondire la conoscenza delle frequenze fondamentali dei terreni.

Le finalità di un'analisi più approfondita rispetto ai livelli d'approfondimento già effettuati sono state quelle di definire, sulla base di analisi di risposta sismica locale, degli spettri elastici di risposta in superficie (*output*), rappresentativi delle singole zone, di valutare il grado di pericolosità delle aree instabili e potenzialmente tali e di effettuare una zonazione più affidabile delle amplificazioni locali.


Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 11.

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

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 nella versione 4.0).

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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	3 di 95

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Inquadramento sismotettonico

L'Appennino settentrionale è una catena a *thrusts* facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica per l'interazione fra le placche Africana ed Euroasiatica.

Si tratta di un edificio costituito da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini (Cfr. Fig. 1): il Dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica (Liguridi s.l., Auctt.) e il Dominio Tosco-Umbro-Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria la cui età inizia a partire dal Triassico.

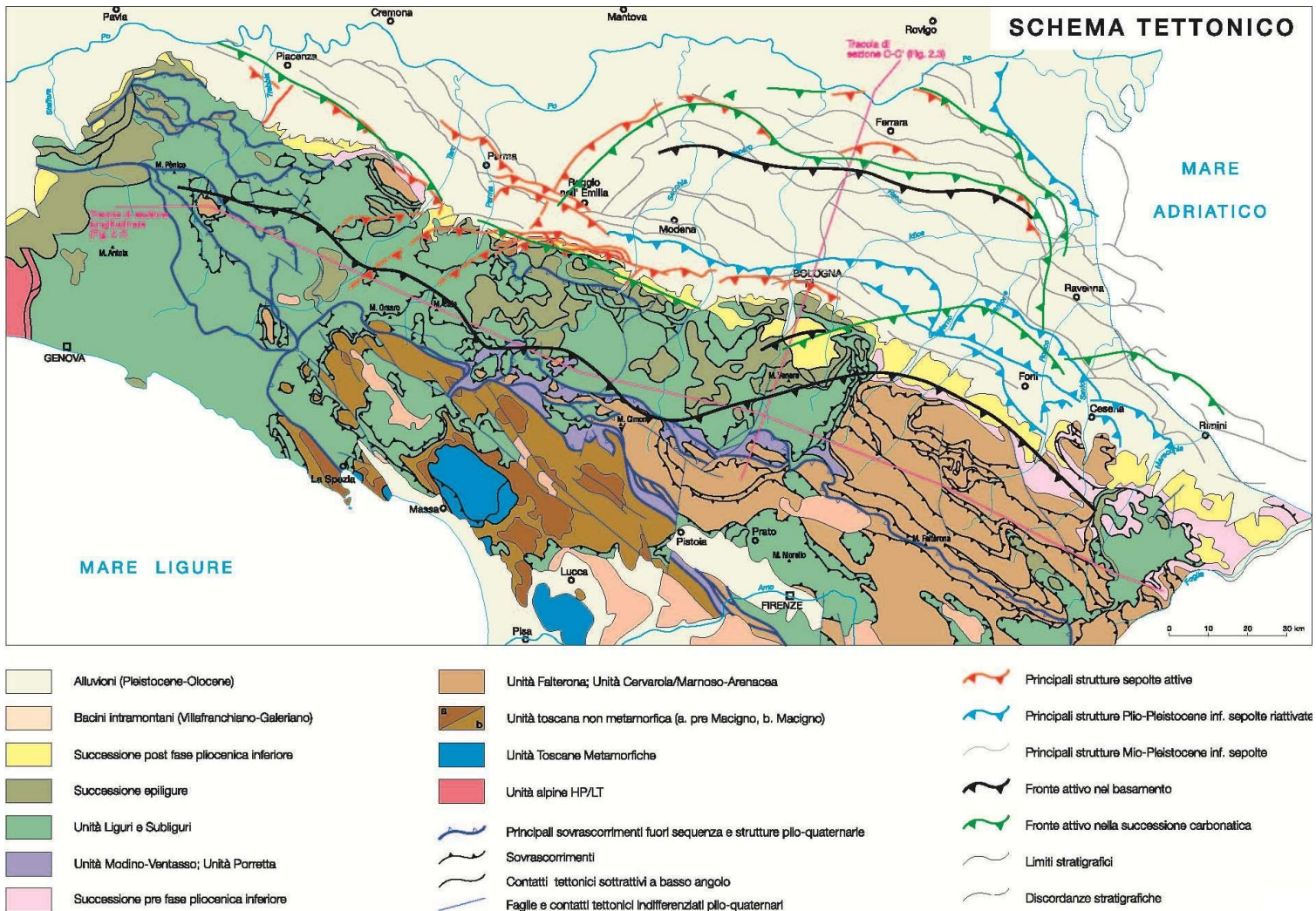


Fig. 1 - Schema tettonico generale della Regione Emilia Romagna

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	4 di 95

Le formazioni rocciose appartenenti al Dominio Toscano, sono localizzate essenzialmente lungo la zona di crinale, mentre le unità liguri caratterizzano la fascia che si estende fino al di sotto dei depositi alluvionali della pianura.

Il fronte appenninico è evidenziato dalle strutture ad arco delle pieghe emiliane e ferraresi, posizionate quasi a ridosso del fiume Po, dove sovrascorre con direzione settentrionale la piattaforma padano-veneta.

Oltre che al contatto tra unità tettoniche differenti, si possono rinvenire all'interno di ciascun dominio strutture attive, il cui studio risulta estremamente importante per definire i meccanismi di rottura che generano i terremoti.

Dall'analisi sull'attività neotettonica in Emilia-Romagna (Cfr. Fig. 2), emerge che le zone a maggiore sollevamento, con tassi >1 mm/anno, sono individuabili nella parte alta della catena, corrispondente al settore a monte del principale raddoppio crostale, ad indicare l'alto grado di attività di questa struttura.

L'area a sollevamento intermedio, con tassi mediamente ≥1 mm/anno, corrisponde al settore immediatamente retrostante la struttura superficiale del margine che da Bologna si estende verso NW fino alla valle del Taro.

Le aree a minore sollevamento (<1 mm/anno) si collocano immediatamente a valle della struttura crostale.

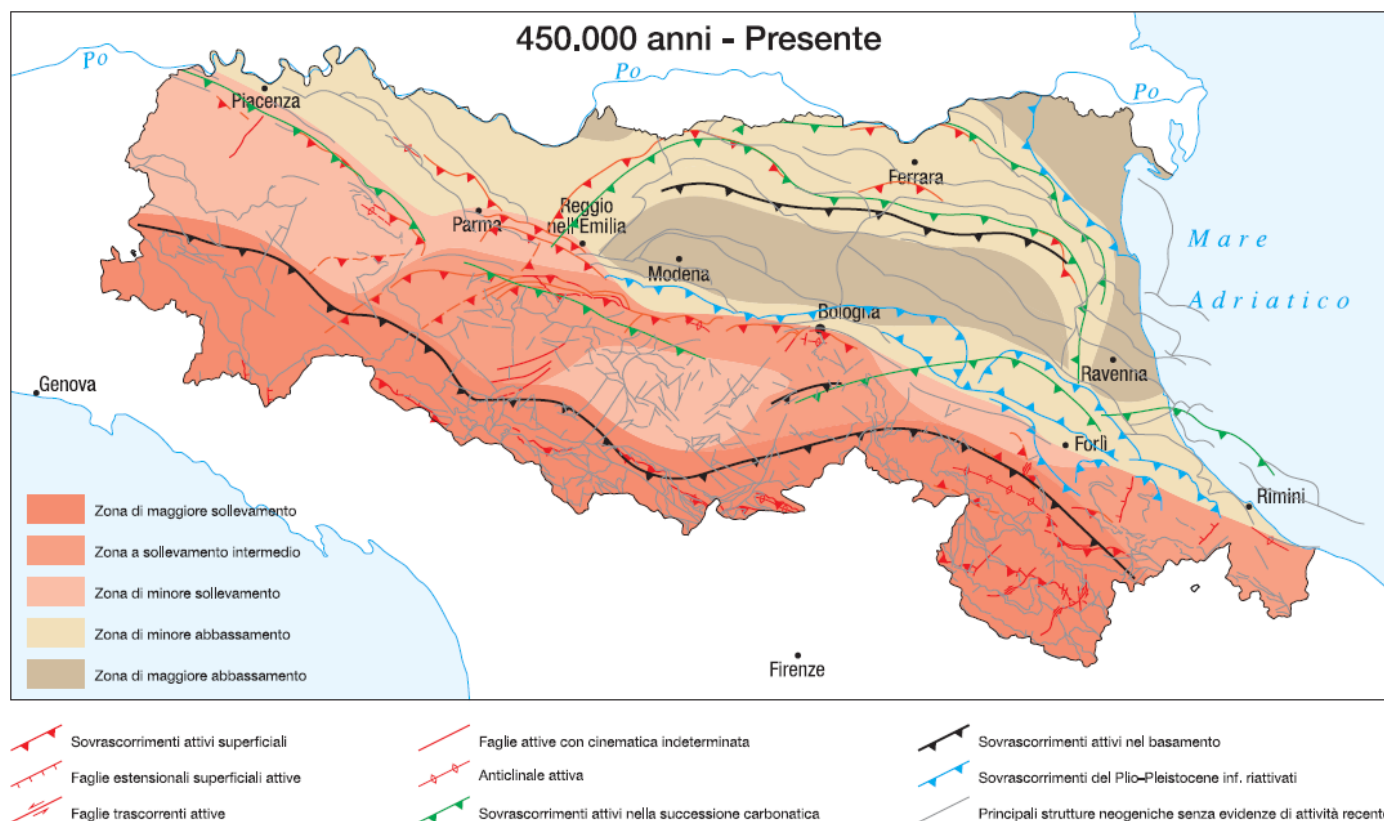



Fig. 2 - Schema dell'attività neotettonica della Regione Emilia Romagna

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	5 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, appare molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese.


I meccanismi focali calcolati risultano compressivi e trascorrenti indicando direzioni di compressione sia NE-SW che NW-SE. I meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari. Ne consegue che la cinematica delle principali strutture attive superficiali è di tipo transpressivo.

La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi tra 15 e 35 km, mostra una distribuzione simile a quella più superficiale ma con una densità inferiore. Anche in questo caso i meccanismi focali risultano compressivi e trascorrenti con direzioni di compressione sia NW-SE che NE-SW ed i meccanismi distensivi sono rari e ben localizzati.

La sismicità più profonda, con ipocentri oltre i 35 km, fino ad oltre 50 km, è sempre diffusa nel settore di catena e in corrispondenza del margine appenninico-padano, e decisamente minore in pianura. I meccanismi focali calcolati sono in accordo con quanto riscontrato nei livelli strutturali superiori.

Risulta così un modello geodinamico attivo in cui le strutture superficiali della copertura, quelle crostali nonché quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte coerenti e inquadrabili in un sistema transpressivo che rispetto alle zone esterne dell'avampaese padano, relativamente stabili, assume il significato di un sistema di ordine inferiore all'interno di una zona di trascorrenza destra.

In Fig. 3 è riportata la distribuzione delle strutture attive rispettivamente della copertura, della crosta e del mantello con una zonazione delle aree che maggiormente risentono della loro attività. Per questa zonazione si è tenuto conto anche degli effetti superficiali quali le aree di maggiore sollevamento in catena e di minore abbassamento in pianura, come pure della distribuzione delle aree a maggiore frequenza di fenomeni franosi. Si osserva che il territorio del Comune di Pellegrino Parmense è situato in zona di maggior risentimento degli effetti delle faglie attive.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	6 di 95

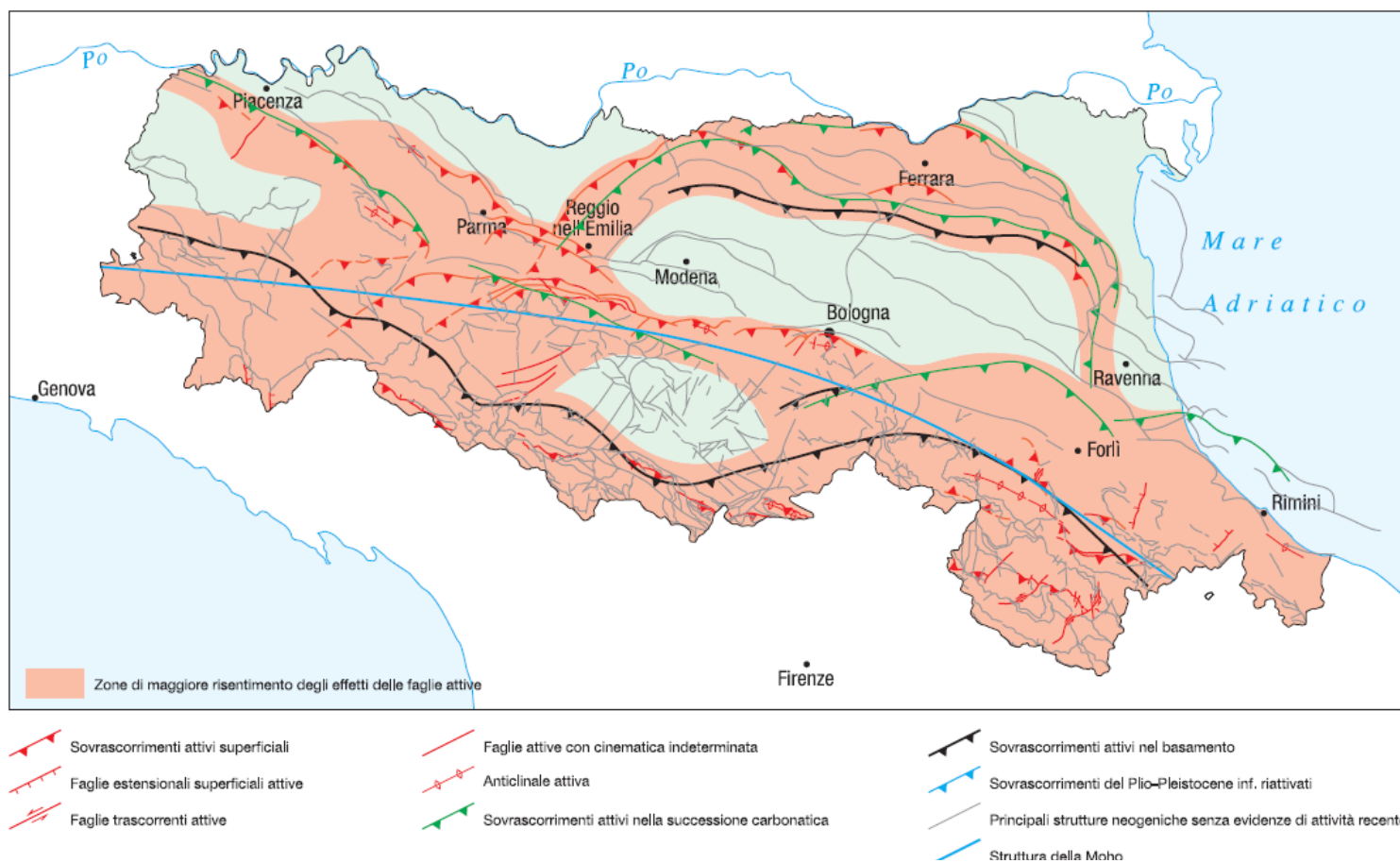



Fig. 3 - Carta della zonizzazione di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive

La Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna alla scala 1:250.000, rappresenta il documento fondamentale per la definizione della pericolosità sismica locale e all'individuazione di strutture potenzialmente sismogenetiche ed ha consentito di ottenere il quadro neotettonico e sismotettonico dell'area di studio.

Lo stralcio della Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna riferito al territorio al contorno del Comune di Pellegrino Parmense è riportato in Fig. 4.

Nel dettaglio, in Fig. 4, all'interno del perimetro comunale di Pellegrino Parmense, si evidenzia la presenza di numerosi sovrascorrimenti, ma tutti di età antica senza chiare evidenze di riattivazione (pre-Miocene Sup., > 9 M.A.).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	7 di 95

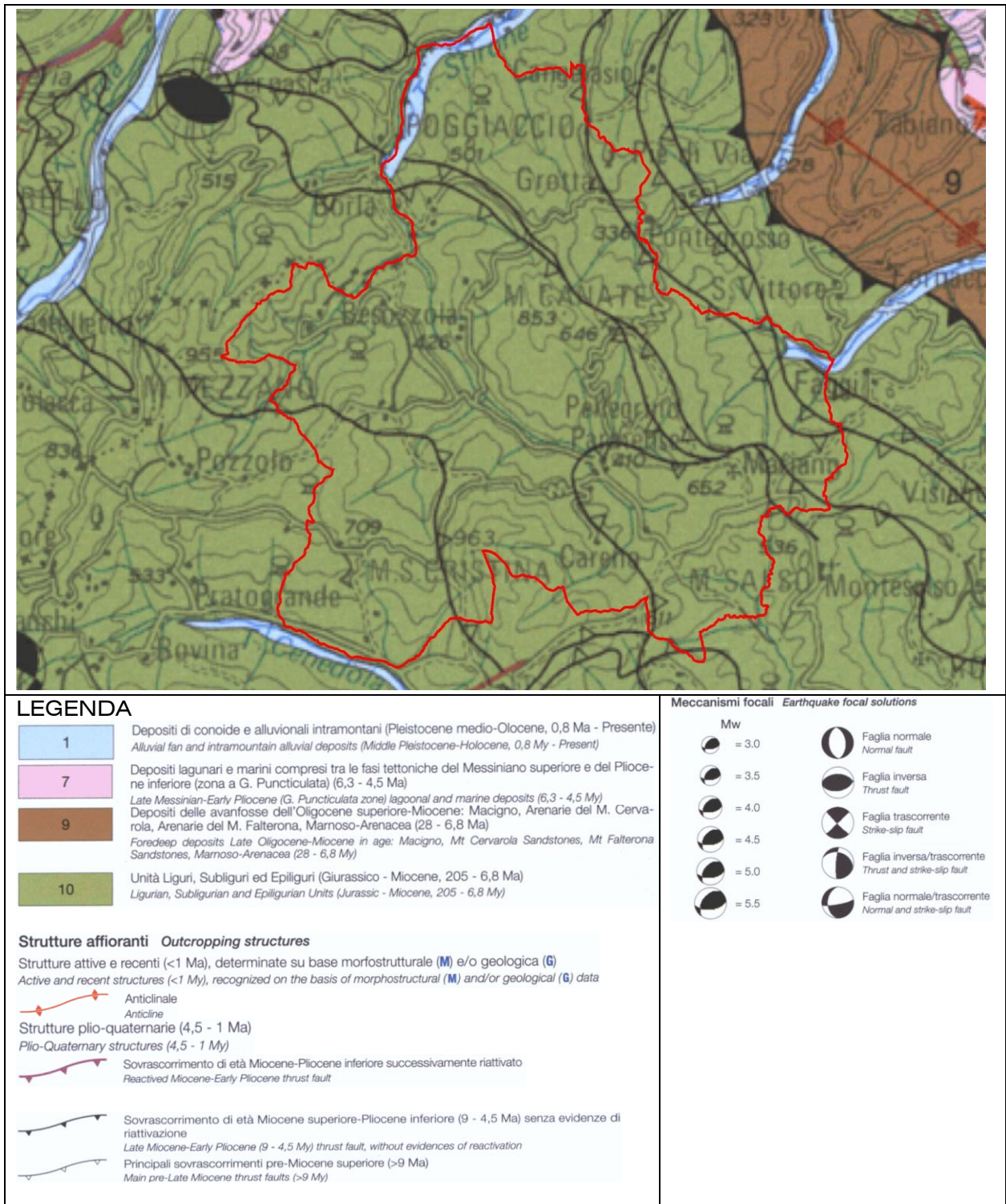


Fig. 4 – Stralcio della carta sismotettonica della regione Emilia Romagna

2.2 Zonazione sismogenetica

Allo scopo di associare la sismicità dell'area con i meccanismi responsabili dell'innesco dei terremoti, si è fatto riferimento alla Zonazione Sismogenetica ZS9 (a cura del gruppo di lavoro coordinato da C. Meletti e G. Valensise, 2004).

Tale lavoro, che sostituisce la precedente zonazione ZS4, suddivide il territorio nazionale in fasce contraddistinte da caratteristiche sismotettoniche omogenee (Cfr. Fig. 5). Esso risulta estremamente importante per gli studi pianificazione territoriale ed, in particolare, nelle valutazioni di pericolosità sismica.

A corredo degli studi di zonizzazione sono stati raccolti ed analizzati quasi 2.500 terremoti, degli ultimi 1.000 anni, con intensità epicentrale maggiore o uguale al V - VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

Come evidenziato in Fig. 5, l'area di studio ricade all'estremità nord-occidentale della zona 913 al confine con la zona 911 ed è contraddistinta da eventi sismici di bassa magnitudo, a cinematica prevalentemente compressiva, anche se si possono avere fenomeni di trascorrenza nelle zone di svincolo che dissecano la continuità laterale delle strutture. Generalmente, le sorgenti sismiche si distribuiscono a profondità comprese tra i 12 e i 20 Km.

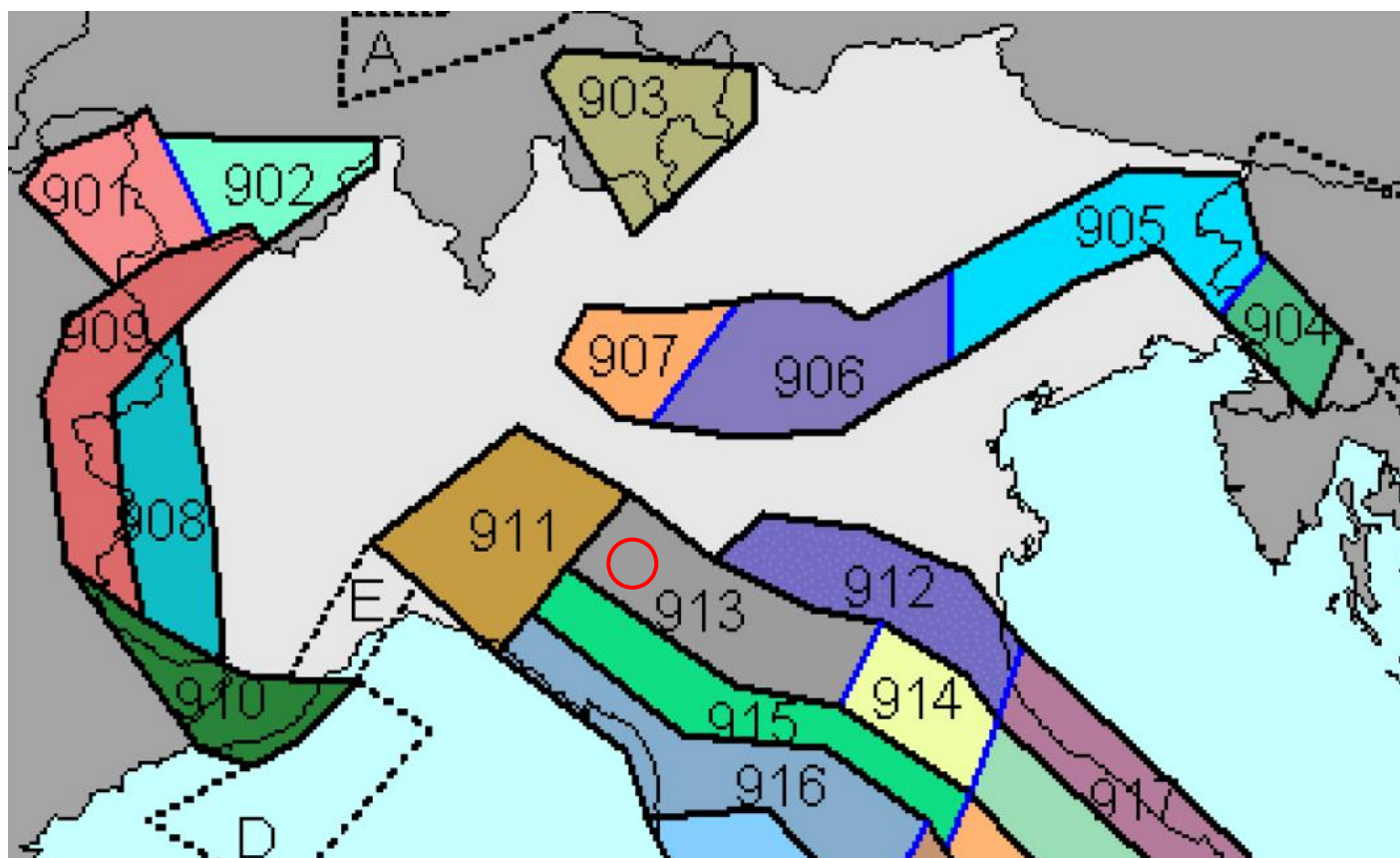



Fig. 5 - Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 (2004)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	9 di 95

2.3 Sismicità del territorio

Nella valutazione della pericolosità sismica di una determinata area occorre, in primo luogo, definire la pericolosità di base attraverso una corretta analisi della sismicità evidenziando, sia la distribuzione spazio-temporale degli eventi, sia le caratteristiche di intensità degli stessi, seguita da una valutazione della pericolosità locale determinata dagli aspetti geologico-morfologici del territorio.

La storia sismica comunale è stata dedotta dal database DBMI15 utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)¹ aggiornato al 2014, nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative all'abitato di Pellegrino Parmense. Essa è riassunta nella Tab. 1, dove sono stati elencati gli eventi di maggior intensità al sito (Int.), indicando, per ciascuno di essi, oltre alla stessa intensità: l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi), l'ora (Ho), il minuto (Mi) ed, eventualmente, il secondo (Se), in cui si è verificato, la denominazione dell'area epicentrale, il relativo numero di dati di intensità macrosismica (NMDP), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
4	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
5	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
NF	1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
NF	1906	11	10	17	55		Alta Val di Taro	43	5	4.22
NF	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
6	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
NF	1930	10	30	07	13		Senigallia	268	8	5.83
NF	1937	09	17	12	19	0	Parmense	34	7	4.77
3	1961	08	13	22	34	1	Parmense	22	5-6	4.37
5-6	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
3	1974	04	15	21	49	1	Alta Val di Taro	13	5	4.14
5	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
2-3	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04
NF	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
3	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21
NF	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

Tab. 1 - Massimi eventi sismici verificatisi a Pellegrino Parmense

¹ 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). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

Dalla lettura di Tab. 1 si evidenzia che il massimo evento sismico censito a Pellegrino Parmense si è verificato il 14 Febbraio 1834 con un'intensità al sito del VII grado della scala MCS.

Fatto salvo quanto sopra, si propone di tenere in considerazione anche quanto indicato nel lavoro elaborato per il Dipartimento dalla Protezione Civile, a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, "Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", determinate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA.

Secondo tale studio, basato in misura prevalente su valori realmente osservati, ma che contiene delle correzioni, per quelle località ove queste si siano rese necessarie, il territorio di Pellegrino Parmense è stato soggetto a terremoti di intensità massima pari all'VIII grado della scala MCS.

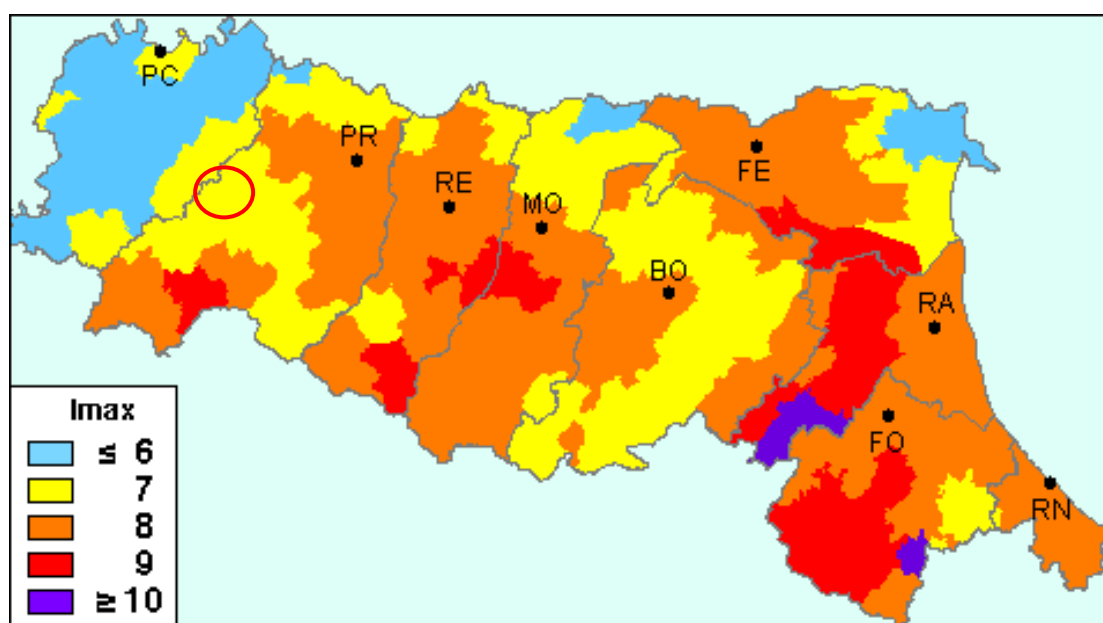



Fig. 6 - Carta della massima intensità macrosismica in Emilia Romagna

2.4 Classificazione sismica comunale

La classificazione sismica dei comuni su tutto il territorio nazionale è stata stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, utilizzando e aggiornando la precedente proposta nel 1998.

La suddivisione è articolata in 4 zone: le prime 3 corrispondono alle zone di sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6), contemplati nella Legge 64/74, mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

Ciascuna zona è contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Cfr. Tab. 2),

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	11 di 95

eliminando di fatto la presenza di aree del territorio classificate come non sismiche: in questo modo, ad ogni area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di pericolosità sismica.

Zona	Valori massimi di ag
1	>0,25
2	0,15 ÷ 0,25
3	0,05 ÷ 0,15
4	<0,05

Tab. 2 - Valori di accelerazione orizzontale associati a ciascuna zona sismica

La classificazione vigente, identifica il Comune di Pellegrino Parmense in zona 3 (Cfr. Fig. 7), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra 0,05*g e 0,15*g (dove g è l'accelerazione di gravità).

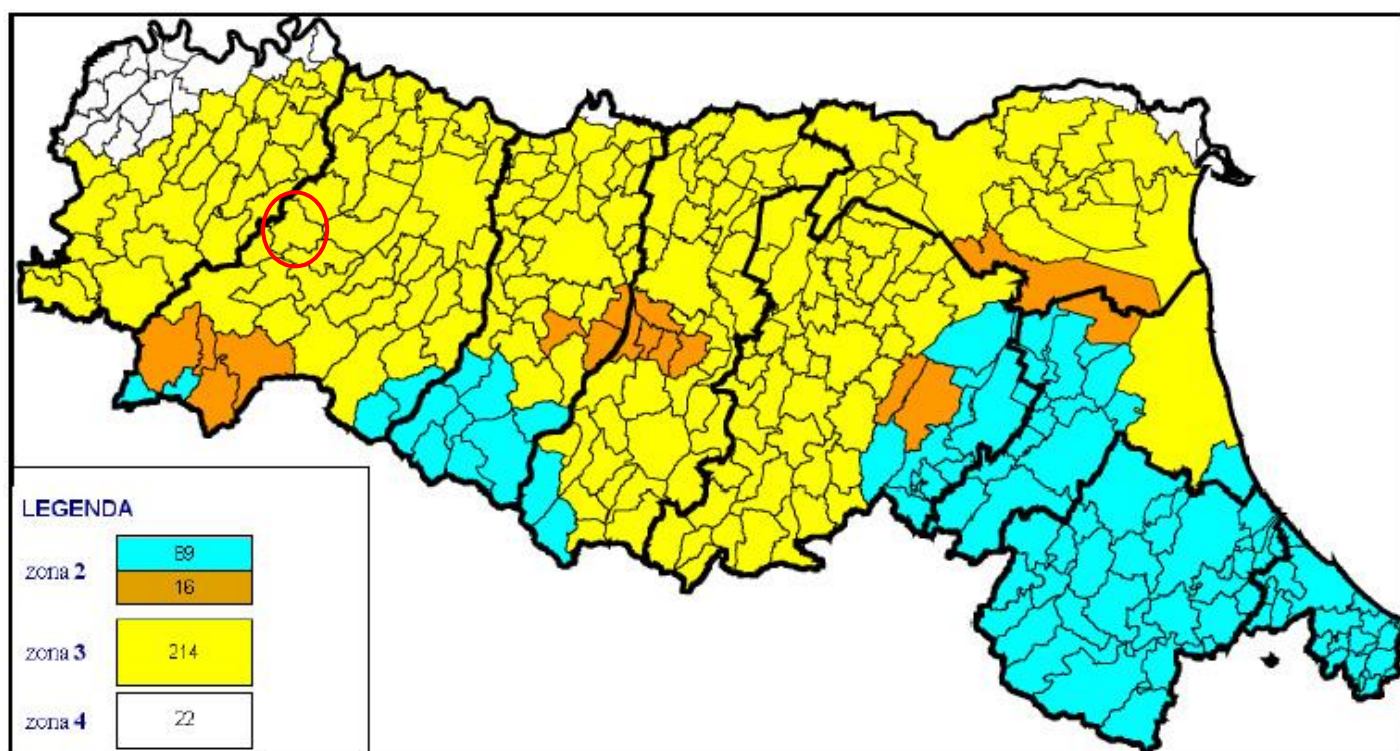


Fig. 7 - Classificazione sismica dei comuni della regione Emilia Romagna

Risulta opportuno evidenziare che, con l'entrata in vigore del decreto ministeriale 14 gennaio 2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni", la stima della pericolosità

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

sismica, non è più associata alla zona sismica di appartenenza, ma al valore di accelerazione massima orizzontale attesa su base probabilistica su uno specifico sito.

Ciò ha permesso di superare la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento.

2.5 Pericolosità sismica

Il Rischio Sismico è espresso quantitativamente, in funzione dei danni attesi a seguito di un terremoto, in termini di perdite di vite umane e di costo economico dovuto ai danni alle costruzioni ed al blocco delle attività produttive.

Esso è determinato dalla convoluzione probabilistica $Rischio = f [(PB \cdot PL) \cdot [V \cdot E]]$ dei seguenti tre fattori: Pericolosità, Vulnerabilità ed Esposizione.

La pericolosità sismica di un area dipende dalle caratteristiche sismiche (sorgenti sismogenetiche, energia, tipo e frequenza dei terremoti) e da aspetti locali (geomorfologia e stratigrafia), in tal senso è suddivisibile in una pericolosità di base (PB) e in una pericolosità locale (PL).

La prima, nel caso del Comune di Pellegrino Parmense, illustrata nei paragrafi precedenti, consiste nella probabilità che, in un certo intervallo di tempo, si verifichino forti terremoti che possono provocare danni.


La pericolosità sismica di base di una zona, in senso lato, è determinata dalla frequenza con cui avvengono i terremoti e dall'intensità che raggiungono.

Tale dato, in senso probabilistico, è la probabilità che un valore prefissato di pericolosità, espresso da un parametro di moto del suolo (quale ad es. l'accelerazione massima PGA o il grado di intensità macrosismica), venga superato in un dato sito entro un fissato periodo di tempo.

Le caratteristiche sismiche, comunemente indicate come componenti della pericolosità sismica di base, sono quelle considerate per definire la zonazione della classificazione sismica nazionale.

La classificazione nazionale esprime la sismicità di un'area sulla base dei terremoti avvenuti in epoca storica e della distanza dalle potenziali sorgenti sismogenetiche, senza però considerare le caratteristiche locali del territorio che possono modificare il moto sismico atteso.

La pericolosità locale è influenzata dalla presenza di alcune tipologie di depositi e forme del paesaggio che possono amplificare il moto sismico in superficie favorendo fenomeni di instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione (effetti locali).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	13 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Nella determinazione del rischio sismico interviene pertanto, oltre alla pericolosità sismica di base (frequenza e intensità dei terremoti), anche l'assetto geologico-morfologico al contorno.

A parità di pericolosità, un'area densamente popolata e caratterizzata da costruzioni poco resistenti al terremoto avrà un rischio elevato, mentre un'area deserta avrà rischio nullo.

Dunque elevata pericolosità sismica non significa necessariamente elevato rischio sismico, ma, per le ragioni sopra riportate, risulta possibile anche il verificarsi della relazione contraria.


In tal senso una suddivisione del territorio, operata sulla base della diversa risposta sismica del terreno, assume un importante ruolo nel processo di pianificazione territoriale e urbanistica come strumento di prevenzione e mitigazione del rischio sismico individuando aree a diversa pericolosità sismica.

Tale operazione è particolarmente efficace se applicata a partire dalle prime fasi della pianificazione territoriale e urbanistica (PTCP e PSC) attraverso la realizzazione di cartografia di analisi e apparati normativi che sostengano l'obiettivo comune di indirizzare le scelte di pianificazione verso ambiti a minore rischio sismico.

Ai sensi dell'art.A-2 comma 4 della L.R. 20/2000 "Disciplina Generale sulla Tutela e uso del Territorio "nei territori regionali individuati come zone sismiche, ai sensi dell'art. 145 della L.R. n. 3 del 1999, gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica concorrono alla riduzione ed alla prevenzione del rischio sismico, sulla base delle analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione".

L'art.37 della L.R. 31/2002 Disciplina Generale dell'Edilizia e s.m.i. indica che nelle zone sismiche il parere di compatibilità degli strumenti di pianificazione riguarda le "condizioni di pericolosità locale degli aspetti fisici del territorio"; il punto 9.3 della circolare n.6515 del 21/3/2003, sull'applicazione di alcune disposizioni della L.R. 31/2002 chiarisce che le "condizioni di pericolosità locale degli aspetti fisici del territorio" sono tutti gli aspetti fisici del territorio che influiscono sulla pericolosità locale, quali le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche e idrogeologiche che possono determinare instabilità dei versanti, effetti di amplificazione del moto sismico, addensamento e liquefazione.

Si segnala inoltre che, a seguito dell'entrata in vigore del D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", preceduto dal D.M. 14.9.2005 (pubblicato sul Supplemento Ordinario n.159 alla Gazzetta Ufficiale n.222 del 23 settembre 2005 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni"), sono richiesti specifici studi per la valutazione della risposta sismica locale ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (punto 3.2.1).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	14 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

2.6 Microzonazione sismica

Per “*microzonazione sismica*” si intende la suddivisione dettagliata del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale: tale suddivisione tiene conto sia della sismicità di base (distanza dalle sorgenti sismogenetiche, energia, frequenza e tipo dei terremoti attesi) sia delle caratteristiche geologiche e morfologiche locali.

La Regione Emilia-Romagna, ai sensi dell’art.16 della L.R. 20/2000, ha prodotto uno specifico “*atto di indirizzo e coordinamento tecnico per la compilazione di studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna a supporto della pianificazione territoriale e urbanistica*”.

Esso è stato approvato tramite Delibera dell’Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna – progr. n° 112 – oggetto n° 3121 del 2 maggio 2007, divenuta efficace il giorno 17 maggio 2007, in occasione della pubblicazione sul BUR dell’atto di indirizzo stesso.

Secondo tali disposizioni, gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica, vanno condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

Si distinguono così 2 fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc..).


L’individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato.

Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano 2 diversi livelli di approfondimento: secondo e terzo.

Come anticipato, nell’introduzione, in Comune di Pellegrino Parmense, erano già stati svolti, dai geologi dott. Federico Madini e Dott. Massimiliano Trauzzi, e certificati da parte del Servizio regionale competente, studi con approfondimenti di primo livello con:

- definizione del modello geologico di base per la microzonazione sismica (litologia, stratigrafia, tettonica e loro rapporti geometrici);
- individuazione delle aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
- definizione del tipo di effetti attesi;
- indicazione, per ogni area, del livello di approfondimento necessario;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	15 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento


e di secondo livello con:

- conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal primo livello e nuova perimetrazione delle aree ove effettuare la microzonazione sismica;
- suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, secondo aree con maggiore o minore pericolosità sismica.

Essi sono stati, qui, recepiti, aggiornati con le nuove informazioni raccolte e rieditati in conformità agli ultimi standard.

Inoltre, è stato effettuato un terzo livello di approfondimento che ha comportato:

- la definizione, sulla base di analisi di risposta sismica locale, degli spettri elastici di risposta in superficie (*output*) rappresentativi delle singole zone, sia in termini di pseudovelocità, che di pseudoaccelerazione;
- la quantificazione dell'effettivo grado di pericolosità nelle aree instabili e potenzialmente instabili, mediante calcolo del parametro FRT (massimo movimento di una frana in terra) in centimetri;
- la zonazione delle amplificazioni locali espresse come PGA/PGA_0 (rapporto di accelerazione massima orizzontale) e SI/SI_0 (rapporto di Intensità di Housner), per prefissati intervalli di periodi.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	16 di 95

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Geologia

L'assetto geo-strutturale dei luoghi è da mettere in relazione con l'impilamento di unità tettoniche secondo lo schema a falde di ricoprimento ipotizzato già nel 1960 da P. Elter, vergenti in direzione nord-est, per effetto del sovrascorrimento delle unità di origine marina più antiche (Unità Liguridi) attraverso l'interposizione delle unità Subliguri, sulle più recenti Unità Toscane, che si trovano nella posizione tettonicamente più bassa. La storia geologica dell'area viene completata dalla deposizione, in discordanza con le sottostanti unità, della Successione Epiligure, caratterizzata da facies transizionali, che si deponevano man mano che il fronte dell'accavallamento avanzava sulle sovrascorse unità Liguridi.

Il successivo innalzamento del crinale appenninico, avvenuto nel quaternario, ha determinato una rapida erosione delle unità Liguridi e Epiliguri e la venuta a giorno delle Unità Toscane nella zona della dorsale appenninica.

Schematicamente, in tale edificio, alle quote più elevate si collocano le Unità appartenenti al Dominio Ligure, mentre verso il basso affiorano prima le unità toscane seguite dalle unità appartenenti al cosiddetto Autoctono Padano (Cfr. Fig. 8).

SCHEMA SULLA POSIZIONE DELLE UNITA' TETTONICHE

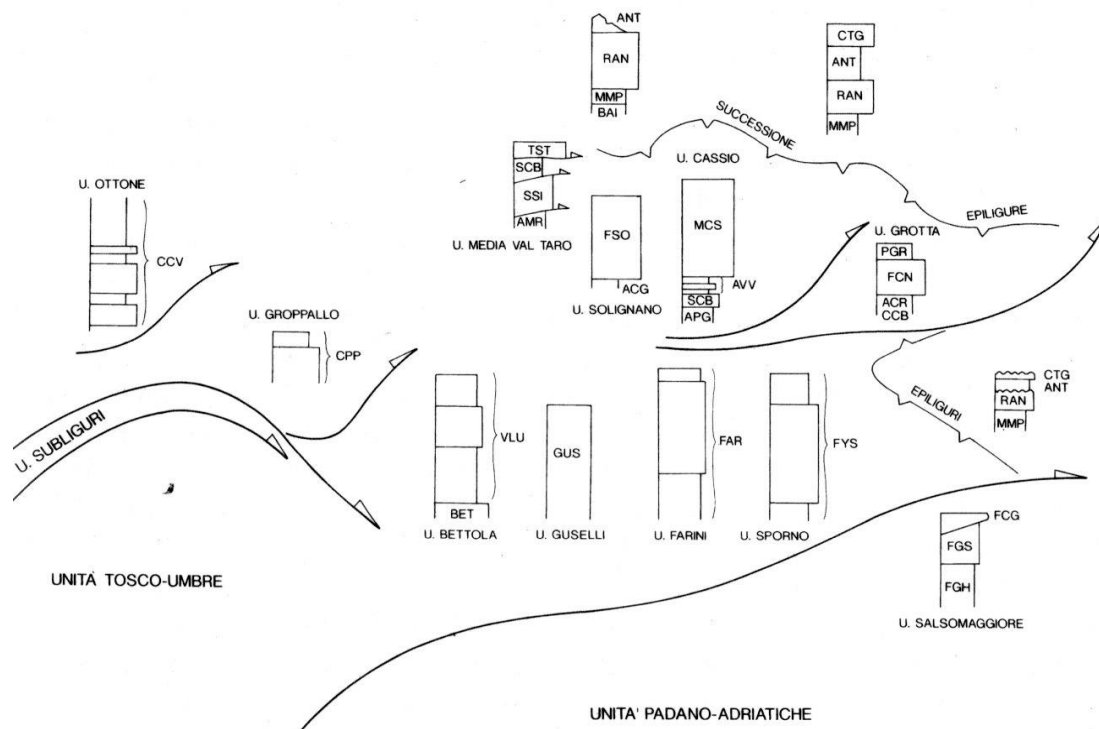



Fig. 8 - Schema strutturale della porzione di Appennino in esame

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	17 di 95

Contestualmente, in Fig. 9 sono stati raffigurati planimetricamente i rapporti strutturali tra le unità che affiorano in questo settore di Appennino indicando, il confine comunale di Pellegrino Parmense.

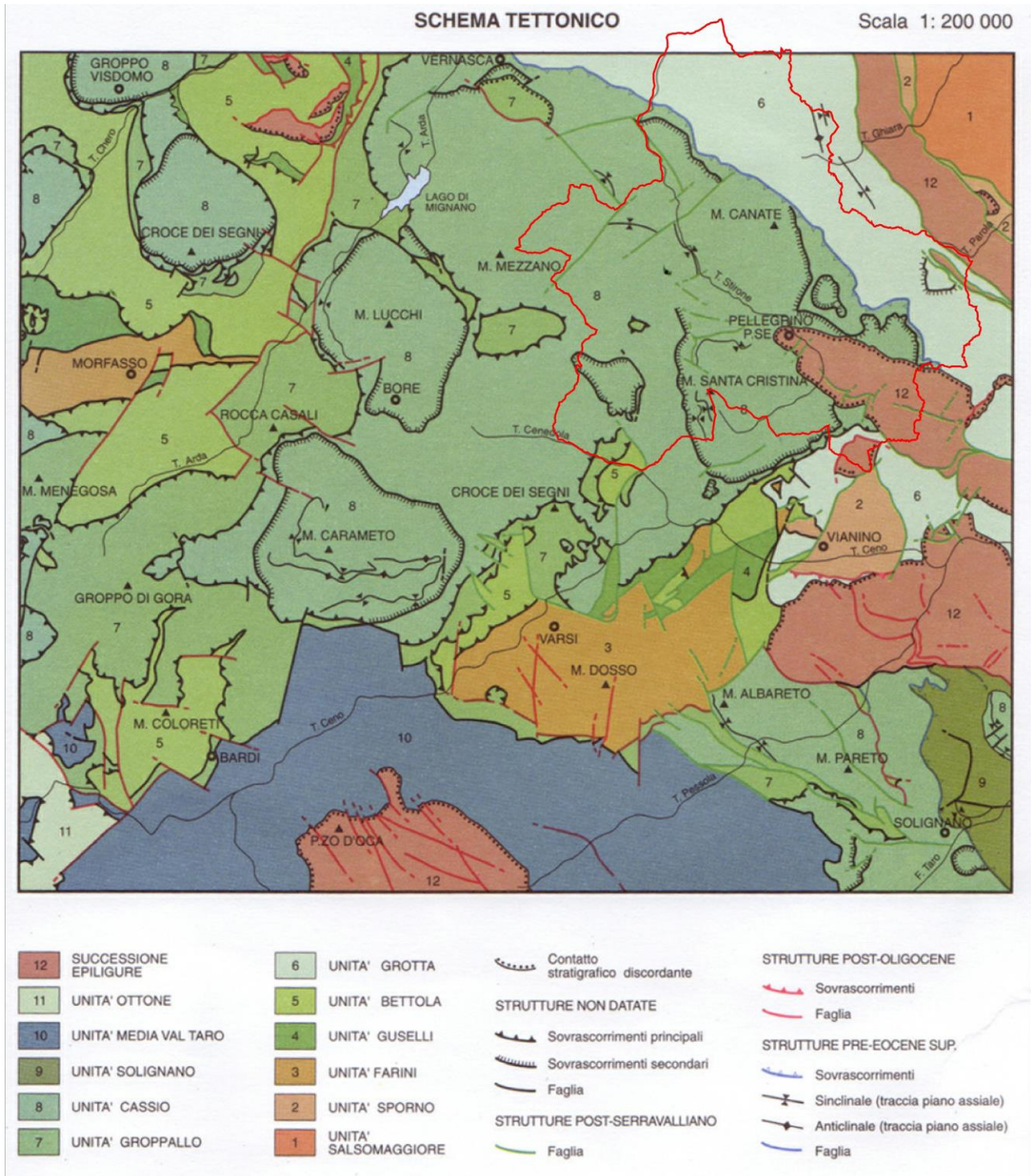


Fig. 9 - Schema tettonico della porzione di Appennino in esame
(Fonte: Carta geologica d'Italia - Foglio 198 - Bardi)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	18 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Gran parte del territorio, evidenzia corpi rocciosi riconducibili all'Unità Liguride Esterna, mentre la collocazione della Successione Epiligure risulta limitata alla porzione più orientale del comune.

Più in dettaglio, considerando gli abitati oggetto di studio e il loro intorno, rappresentato nella Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica, si è osservato che sono presenti le seguenti unità geologiche:

DEPOSITI QUATERNARI CONTINENTALI

a0 - Deposito di frana stabilizzata o relitta

Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti le cui cause originali non possono ulteriormente agire (frana naturalmente stabilizzata) o per la quale sono state adottate misure di stabilizzazione (frana artificialmente stabilizzata) o originato in contesto morfologico diverso da quello attuale e pertanto considerato non più riattivabile. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento. L'accumulo è costituito comunque in prevalenza da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa, a luoghi pedogenizzata e alterata.

a1 - Deposito di frana attiva


Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto o recenti, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente. L'accumulo è costituito comunque in prevalenza da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

a2 - Deposito di frana quiescente

Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti ma con possibilità di riattivazione, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, pur essendo, anche in questo caso, prevalenti i clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

a3 - Deposito di versante s.l.

Deposito costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. Frequentemente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), a luoghi stratificato e/o cementato. La

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	19 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso.

b1 - Depositi alluvionali in evoluzione

Ghiaie, talora embriciate, sabbie e subordinati limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale, detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie.

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

AES8 - Subsistema di Ravenna *Pleistocene sup. - Olocene*

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi: depositi intravallivi terrazzati. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m ed è di tipo A/Bw/Bk(C). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 m.

AES8a - unità' di Modena - *Olocene*

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm) e di tipo A/C, localmente A/Bw/C. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

SUCCESSIONE EPIIGURE

ANT - MARNE DI ANTOGNOLA *Rupeliano terminale - Aquitaniano*

Marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere. Stratificazione difficilmente percepibile. Sono presenti livelli torbiditici sottili e medi di arenarie vulcanoclastiche, arcose e quarzoso-feldspatiche. La potenza totale della formazione varia da pochi metri a oltre 500 m.


ANT2 - Membro arenaceo di Montesalvo *Chattiano sup.*

Membro intercalato stratigraficamente nella parte inferiore di ANT con contatto superiore netto e inferiore per alternanze, costituito da areniti micacee grigio chiare, in letti spessi e banchi amalgamati, con fenomeni di cementazione differenziata, alternati, verso la base, a sottili livelli di siltiti marnose. Potenza da 50 a 120 m.

RAN3 - Membro di Varano de' Melegari della FORMAZIONE DI RANZANO

Rupeliano medio - superiore

Litoareniti grigie, talora a base conglomeratica, a prevalenti clasti carbonatici, alternate a peliti marnose grigie; strati da sottili a spessi, talora molto spessi; A/P molto variabile, da > a << 1; alla base è presente un orizzonte di frana sottomarina non cartografabile, nella

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	20 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

parte medio-alta sono presenti livelli sottili di areniti vulcanoclastiche. Localmente è presente una litofacies arenaceo-pelitica con areniti grigio piombo a grana media, in strati da medi a molto spessi, senza apparente gradazione, con intercalazioni di sottili livelli vulcanoclastici.

UNITÀ LIGURI – FLYSCH E FORMAZIONI POST-FLYSCH

MCS - FLYSCH DI MONTE CASSIO *Campaniano sup. - Maastrichtiano*

Torbiditi a base calcarenitica fine e media passante a marne calcaree grigio-biancastre, marne e calcarimarnosi in strati da spessi a molto spessi, passanti gradualmente ad un tetto argilloso-siltoso, alternate a pacchi di strati torbiditici arenaceo-pelitici da sottili a spessi, grigiastri. Intercalazioni regolari di sottili livelli pelitici grigio-verdastri e neri e di arenarie medie e fini, quarzoso-feldspatiche, grigio chiare, in strati medi e sottili. Torbiditi e fanghi intrabacinali, in ambiente di piana, sotto la superficie di compensazione dei carbonati. Potenza parziale di un migliaio di metri.

PGR - FORMAZIONE DI PONTE GROSSO *Campaniano sup. ? -Ypresiano ?*

Torbiditi carbonatiche costituite da marne e calcari marnosi grigio chiari in strati da spessi a banchi a base arenitica medio-fine e peliti marnose grigio scure con strati arenitici sottili e medi poco cementati di colore verdastro. Bacino profondo a sedimentazione torbiditica, prevalente su quella emipelagica. Potenza parziale circa 650 m.


UNITÀ LIGURI - FORMAZIONI PRE-FLYSCH

AVV - ARGILLE VARICOLORI DI CASSIO *Da: Turoniano? A: Campaniano sup*

Argille, argilliti ed argille siltose rosse, violacee, grigio scure e verdastre, con intercalazioni di strati sottili o medi di arenarie litiche fini grigio chiare o scure, manganesifere e localmente cloritiche, di calcilutiti silicizzate grigio-verdine e di calciliti chiare, calcareniti, conglomerati poligenici, in strati medi e spessi, i cui elementi provengono da crosta continentale e arenarie litiche e feldspatiche grossolane. Sedimentazione pelagica intervallata da correnti di torbidità s.l. e flussi concentrati di locale alimentazione insubrica. Potenza geometrica variabile da qualche decina a qualche centinaio di metri.

CCB - COMPLESSO DI CASE BOSCAINI *Campaniano?*

Brecce matrice-sostenute a prevalenti clasti calcilutitici chiari tipo palombino ben arrotondati, in matrice argillosa o siltosa grigia, più rari clasti di biocalcareni giallo ocra e areniti grigio scure. Sono spesso inclusi lembi tettonizzati di argille varicolori. Bacino profondo caratterizzato da fenomeni di risedimentazione in massa.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	21 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Ai fini del presente studio, va segnalato che, le unità sopradescritte ricadono nelle classi, tra quelle definite dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, riepilogate nella seguente tabella (cfr. Tab. 3).

TERRENI DI COPERTURA		
Sigla	Descrizione	Unità corrispondenti
GPes	Depositi fluviali costituiti da ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaie e sabbie	b1
GCtf	Depositi terrazzati costituiti da ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla	AES8, AES8a
MLec	Coperture detritiche costituite da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità	a3
SUBSTRATO GEOLOGICO		
Sigla	Descrizione	Unità corrispondenti
ALS	Alternanza di litotipi, stratificato	ANT, ANT2 RAN3, MCS, PGR, AVV, CCB

Tab. 3 – Classi della Carta geologico tecnica e unità corrispondenti


Le aree instabili sono, invece state distinte a seconda del grado di attività e della tipologia di movimento come descritto nel successivo paragrafo 3.2.

3.2 Geomorfologia

L'attuale assetto geomorfologico dell'ambito territoriale del Comune di Pellegrino Parmense è il risultato dell'effetto combinato di alterne vicende climatiche di varia intensità, lente deformazioni tettoniche e interventi antropici, che si sono imposti negli ultimi millenni ed hanno direttamente interagito sull'andamento morfologico del territorio.

Le aree di specifico interesse, appartengono alla zona dei rilievi appenninici propriamente detti.

Uno dei parametri geomorfologici più importanti nella modifica ed evoluzione del territorio è costituito dal diverso grado di morfoselezione presente, che risulta strettamente correlato con le litologie presenti e dipendente da altri fattori come clima, acclività, coperture boschive e arboree ecc...

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	22 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

La morfoselezione può essere definita come la tendenza dei terreni e delle rocce ad evolversi verso forme e strutture selettive sotto l'azione dei processi e degli agenti morfogenetici principali (acque superficiali e meteoriche, vento, gelo-disgelo, gravità, ecc.).

In questa ottica, la morfoselezione risulta correlata all'impedenza (capacità dei suoli di opporsi all'erosione operata dalle acque superficiali dilavanti) ed alla ritenzione idrica dei suoli (quantità di acque superficiali assorbita dai terreni superficiali), a loro volta condizionate dal tipo e grado di copertura vegetale esistente e dalla geologia e litologia del substrato; litofacies argillose o pelitiche offrono infatti una minore resistenza all'erosione rispetto a rocce arenacee o calcaree e, quindi, hanno meno possibilità di queste ultime di originare nel tempo forme selettive (picchi o rilievi rocciosi, scarpate strutturali, ecc.).


Tutti questi elementi condizionano in ultima analisi la stabilità idrogeologica dei versanti ed i tempi di corrivazione (velocità di ruscellamento delle acque superficiali verso valle) e quindi i tempi di formazione delle piene fluviali.

La bassa morfoselettività delle rocce pelitiche e di quelle argilloso-marnose in genere, è di norma abbinata ad una elevata e diffusa franosità, che col tempo si evolve verso morfologie più dolci e meno acclivi (ossia più stabili), che consentono, di conseguenza, una più agevole e conveniente utilizzazione antropica dei suoli e dei terreni.

Non a caso, infatti, le zone meno densamente antropizzate della fascia appenninica risultano quelle in cui affiorano le rocce maggiormente morfoselettive, ossia quelle che originano una morfologia impervia, con acclività e pendenze elevate e che comportano la formazione di suoli di ridotto spessore e produttività; su tali superfici, localizzate per lo più nelle zone di crinale, si sviluppano quindi boschi, cespugli e praterie.

In generale si può affermare che il territorio di Pellegrino Parmense è contraddistinto da una morfologia "giovanile" caratterizzata da versanti più o meno acclivi, con incisioni vallive spesso pronunciate, dovute prevalentemente all'azione erosiva dei corsi d'acqua. Le forme di accumulo fluviale hanno estensione piuttosto ridotta (occupando i depositi alluvionali il fondo di valli strette (comprese fra versanti ricoperti da depositi gravitativi o incassate in pendii rocciosi). Molto più diffuse sono le forme di erosione fluviale, specialmente sulle sponde geologicamente instabili o costituite da depositi detritici o litologie "tenere" (argilliti, marne, formazioni flyschoidi, ecc.). Spesso tali fenomeni sono la causa dell'innescò di movimenti franosi di neoformazione sui versanti o della riattivazione di vecchie frane quiescenti.

Risultano evidenti gli stretti legami esistenti tra l'aspetto morfologico ed i motivi stratigrafico-tettonici e le caratteristiche geomeccaniche delle rocce. Laddove

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	23 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

predominano i litotipi arenacei e calcarei, il rilievo si presenta accidentato, con pendii ripidi che seguono quasi fedelmente l'inclinazione degli strati, quando disposti a franapoggio; mentre sono caratterizzati da una forte acclività con strati a reggipoggio. Al contrario dove affiorano i terreni prevalentemente marnoso – argillosi la morfologia assume caratteri attenuati ed un aspetto relativamente addolcito e si osservano frequentemente versanti interessati da diffusi e talora ampi fenomeni di dissesto.

In tale contesto, è chiaro che i fenomeni di gran lunga più significativi e diffusi nel territorio e che per i loro effetti hanno più rilevanti e significative ricadute sul territorio stesso, a causa delle limitazioni e dei danni che provocano, sono i fenomeni legati alla gravità.


Nel presente studio, per la definizione dei movimenti gravitativi che interessano le aree in esame, si è fatto riferimento, principalmente, alla Nuova Carta del Dissesto della Provincia di Parma, alla scala 1:10.000, approvata dal Consiglio Provinciale nella seduta del 25 luglio 2016, che ne prevede l'identificazione e la classificazione sulla base dello stato di attività e della tipologia.

Più precisamente, sulla base dello stato di attività, si distinguono tre classi:

- **frana relitta:** fenomeno franoso le cui cause e processi che l'hanno generato non sono più presenti o sono stati rimossi;
- **frana attiva:** movimento gravitativo ritenuto attivo o riattivato (in un settore di corpo di frana quiescente) all'atto dell'indagine fotointerpretativa, ovvero rilevato o confermato da controllo sul terreno; l'attività può trovare conferma anche in dati documentali recenti (pubblicazioni, carte geologiche, relazioni tecniche, ecc.);
- **frana quiescente:** riguarda tutti i tipi di dissesto in cui è possibile desumere, da indizi di natura geomorfologica e considerazioni di evoluzione morfoclimatica del territorio appenninico, la temporanea inattività del corpo di frana e della scarpata principale ad essa connessa.

Quanto alla tipologia, esaminando la Carta del Dissesto della Provincia di Parma, che fa riferimento alla classificazione dei movimenti gravitativi di *Cruden & Varnes* (1996), e tenendo conto delle classi stabilite dagli ICMS, nel territorio in esame, si sono distinte le seguenti frane:

- Scorrimento: classe in cui sono accorpati gli scivolamenti rotazionali, quelli traslazionali o planari e quelli in blocco
- Colata: corrispondente ad una frana per colamento lento
- Complessa: data dalla combinazione di 2 o più movimenti di tipo semplice
- Non definita: quando è di tipo indeterminato

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	24 di 95

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La raccolta dati ha previsto, innanzitutto, la consultazione e il recepimento dei dati utilizzati dai dott. Federico Madini e Dott. Massimiliano Trauzzi per la redazione degli studi con approfondimenti di primo e di secondo livello.

A riguardo, interessante è ricordare quelle che lo stesso autore ammette essere delle limitazioni del proprio studio, ovvero:

- la carenza di dati stratigrafici (nel Capoluogo, 11 saggi con escavatore);
- il fatto che si siano utilizzate prove geofisiche solo di tipo indiretto, limitate a misurazioni di sismica passiva (nel Capoluogo 10 HVSR);
- la difficoltà nel definire la profondità del *bedrock* sismico (anche come conseguenza di quanto indicato nei 2 punti precedenti).

Alla luce dello stato delle conoscenze, dei risultati e delle limitazioni degli studi di primo e secondo livello, si è ritenuto necessario effettuare una ricerca di ulteriori dati, localizzati all'interno o, nelle immediate vicinanze, dei 2 centri abitati oggetto di approfondimento.

Nel corso di tale ricerca si è verificato che ad integrazione di quanto già raccolto in passato sono disponibili le seguenti indagini:

a Pellegrino Parmense Capoluogo

- n° 4 sondaggi a carotaggio continuo attrezzati con inclinometro, spinti rispettivamente, alle profondità di -45,00 m da p.c., -40,00 m da p.c., -30,00 m da p.c. e -25,00 m da p.c.
- n° 4 trincee o pozzetti esplorativi
- n° 3 prove HVSR

a Grotta


- n° 4 sondaggi a carotaggio continuo di cui uno attrezzato con inclinometro, spinti fino a profondità variabili tra i -15,00 e i di -35,00 m da p.c.;
- n° 8 stendimenti di sismica a rifrazione.

Trattasi di informazioni che sono state acquisite, quale preziosissima base conoscitiva, dallo studio di microzonazione di terzo livello.

Ad integrazione dei dati esistenti è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine.

Più in particolare sono state eseguite:

- n° 6 prove MASW (4 nel Capoluogo e 2 a Grotta) che hanno consentito una migliore definizione delle Vs e, conseguentemente, della profondità del *bedrock* sismico;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	25 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- n° 1 tomografie sismiche in onde P e onde S (nel Capoluogo) per definire gli andamenti delle superfici di scorrimento, presumibilmente corrispondente con lo stesso bedrock sismico, nelle aree instabili;
- n° 10 prove HVSR (6 nel Capoluogo e 4 a Grotta) al fine di approfondire la conoscenza delle frequenze fondamentali dei terreni.

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 Vs30 (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 rigidità 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.

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).

Le indagini sono stata realizzate con un sismografo a 16 canali, utilizzando geofoni verticali con frequenza caratteristica di 4.5 Hz posizionati a 3 m l'uno dall'altro, in tutte le prove, tranne che in una, a Grotta, in cui è stata mantenuta un'equidistanza di 5 m; come sorgente è stata utilizzata una mazza da 5 Kg battente su piastra metallica.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	26 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento


Ulteriori specifiche di acquisizione sono contenute nel report riportato in Elaborato 7.

Il metodo della sismica a rifrazione si basa sulla misurazione dei tempi di percorrenza delle onde sismiche rifratte nell'interfaccia tra strati di sottosuolo a differente velocità. L'onda sismica viene indotta nel sottosuolo mediante una sorgente artificiale (martello su piastra - trave, cannoncini sismici, massa battente o esplosivo). L'energia s'irradia dal punto di energizzazione sul terreno (punto di scoppio o di battuta), sia propagandosi attraverso lo strato superiore (arrivi diretti), che muovendosi prima attraverso e poi lateralmente lungo gli strati a velocità maggiore per poi tornare in superficie. Questa energia viene rilevata in superficie attraverso una serie di ricevitori (geofoni) spazati a intervalli regolari.

Oltre una certa distanza dal punto di energizzazione il segnale rifratto giunge ai geofoni come primo arrivo, precedendo le onde dirette. Un sismografo registra i tempi di arrivo delle onde tra punto di energizzazione e ricevitori. La velocità di propagazione dell'onda rifratta dipende dalle caratteristiche elastiche e dalla conformazione dei terreni attraversati. Ne risulta che la relazione velocità dell'onda e distanza sorgente - geofono (detta dromocrona) consente di risalire agli spessori degli strati del sottosuolo con caratteristiche elastiche differenti e crescenti con l'aumentare della profondità e di definire le velocità di propagazione delle onde sismiche per ogni strato.

L'interpretazione delle misure sismiche a rifrazione è stata eseguita mediante metodo tomografico, rispetto al metodo classico la Tomografia sismica permette di individuare anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche, con un elevato potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire stratigraficamente situazioni complesse, non risolvibili con altre tecniche d'indagine.

Le indagini sono state realizzate con un sismografo a 16 canali, utilizzando geofoni verticali e orizzontali con frequenza caratteristica di 4.5Hz posizionati a 8 m l'uno dall'altro, per una lunghezza totale dello stendimento pari a 120 metri. Come sorgente è stata utilizzata una mazza da 10 Kg battente prima su piastra metallica, al fine di generare onde di compressione (P), successivamente su trave generando onde di taglio Sh; le energizzazioni sono state eseguite in nove differenti punti equidistanti, due ubicati esternamente allo stendimento e sette interni (si veda Fig.10). Tale configurazione è ottimale per ottenere una buona risoluzione finale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	27 di 95

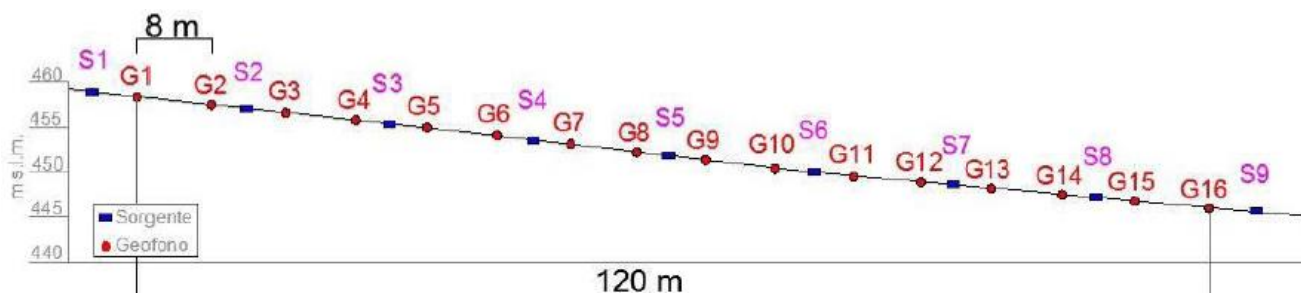


Fig. 10 - Geometria stendimento sismico a rifrazione

Ulteriori specifiche di acquisizione sono contenute nel report riportato in Elaborato 8.

Le misure HVSR, indagini di sismica passiva mediante misure di ascolto delle vibrazioni ambientali, sono state condotte utilizzando di un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) di proprietà dello scrivente soggetto attuatore. In grado di registrare, attraverso dei velocimetri, 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 (12 minuti).

Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri delle singole componenti (componente del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni).

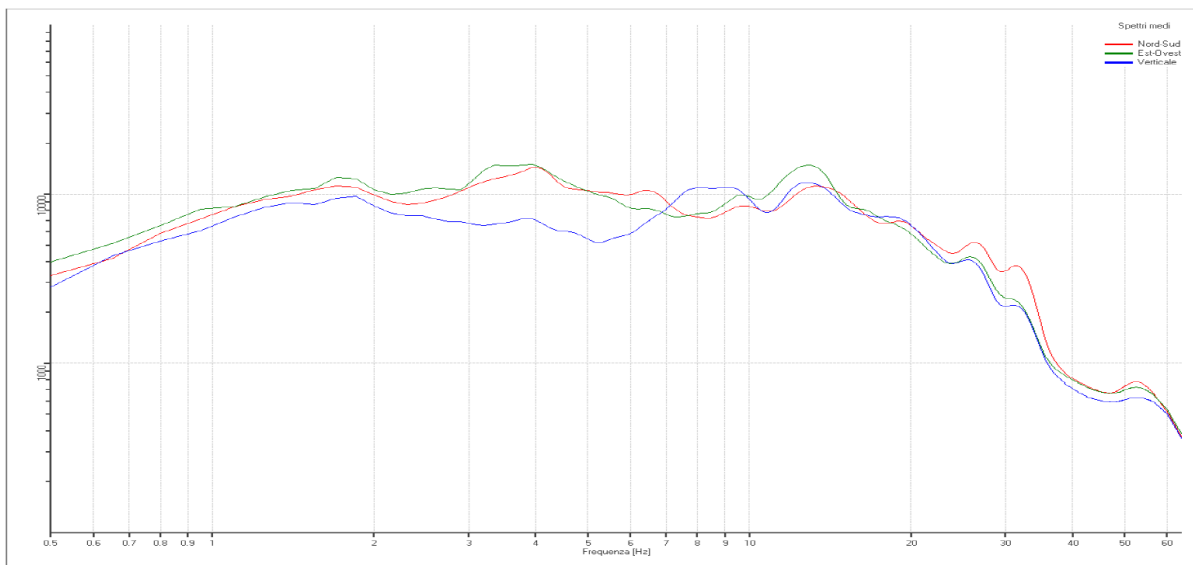



Fig. 11 - Esempio di spettro delle singole componenti

Tutte le indagini sopraindicate sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS.

A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*) nel rispetto dell'Allegato D della delibera regionale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	28 di 95

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

A tale scopo, per il Comune di Pellegrino Parmense, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti oltre a differenti cartografie tematiche, con scale di diverso grado di dettaglio.

Rimandando al paragrafo 8.2 la descrizione specifica delle caratteristiche delle 2 porzioni di territorio comunale oggetto del presente studio, di seguito, ci si limita a proporre alcune considerazioni su come il complesso assetto geologico rilevato possa modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.


A riguardo, in primo luogo, va considerato che in tutta la zona in esame, sotto le coperture quaternarie o plio-pleistoceniche, sono presenti formazioni all'interno delle quali le velocità di propagazione delle onde sismiche sono molto differenti tra loro, anche se in pochissimi casi raggiungono velocità da *bedrock* sismico, maggiori di 800 m/s.

Si consideri, inoltre, che dette velocità risultano fortemente condizionate anche dal grado di fratturazione degli ammassi rocciosi, determinato da vari fattori, primi fra tutti, l'azione tettonica, la gravità e gli agenti atmosferici. Ciò interessa, in particolare, il livello di roccia più superficiale, di spessore variabile, fortemente alterato (regolite).


Anche nelle coperture quaternarie si osservano significative variazioni nei profili delle Vs: sia in relazione allo stato di addensamento dei depositi, generalmente maggiore all'aumentare della profondità, che al tipo di litologie attraversate, con significativi incrementi al passaggio tra un orizzonte fine ad uno prevalentemente ghiaioso, mentre a una diminuzione di tessitura consegue un'inversione di velocità.

Le conoscenze geognostiche, quando possibile, consentono di individuare le prime superfici di discontinuità, ad esempio, al contatto tra i depositi quaternari e il substrato marino. Quanto alle discontinuità più profonde, come potrebbe essere il limite regolite/roccia in posto o determinate dal passaggio tra strati costituiti da litotipi differenti, all'interno del substrato marino, è difficile che si abbiano informazioni attendibili.

D'altra parte, come verrà illustrato nel prosieguo della relazione, le indagini tromografiche effettuate restituiscono curve H/V in cui sono generalmente presenti più picchi, con contrasti d'impedenza bassi e simili tra loro, a frequenze associabili a differenti profondità.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	29 di 95

E' evidente che, in un tale contesto, definire la risposta sismica locale non sia sempre facile, così come risulta spesso una discreta forzatura assimilare l'assetto geologico delle varie zone ad un modello fisico monodimensionale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	30 di 95

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Come già indicato, il presente studio, oltre ad utilizzare una i dati pregressi, ha previsto l'esecuzione e l'interpretazione di una nuova campagna d'indagini, articolata in

- n° 6 prove MASW;
- n° 1 tomografie sismiche in onde P e onde S;
- n° 10 prove HVSR,

L'analisi dei dati acquisiti mediante le prove MASW avviene attraverso le seguenti fasi:

- 1) Calcolo dello spettro di velocità;
- 2) Individuazione del modo fondamentale e degli eventuali superiori;
- 3) Picking della curva di dispersione, cioè selezione dei punti che si ritengono appartenere a un determinato modo;
- 4) Inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità Vs.

In Fig. 12 si riporta lo spettro di velocità con sovrapposto il picking del modo fondamentale nonché la curva di dispersione sintetica corrispondente al miglior modello ottenuto e i profili di velocità calcolati (in rosso quelli che presentano miglior fit con la curva di dispersione).

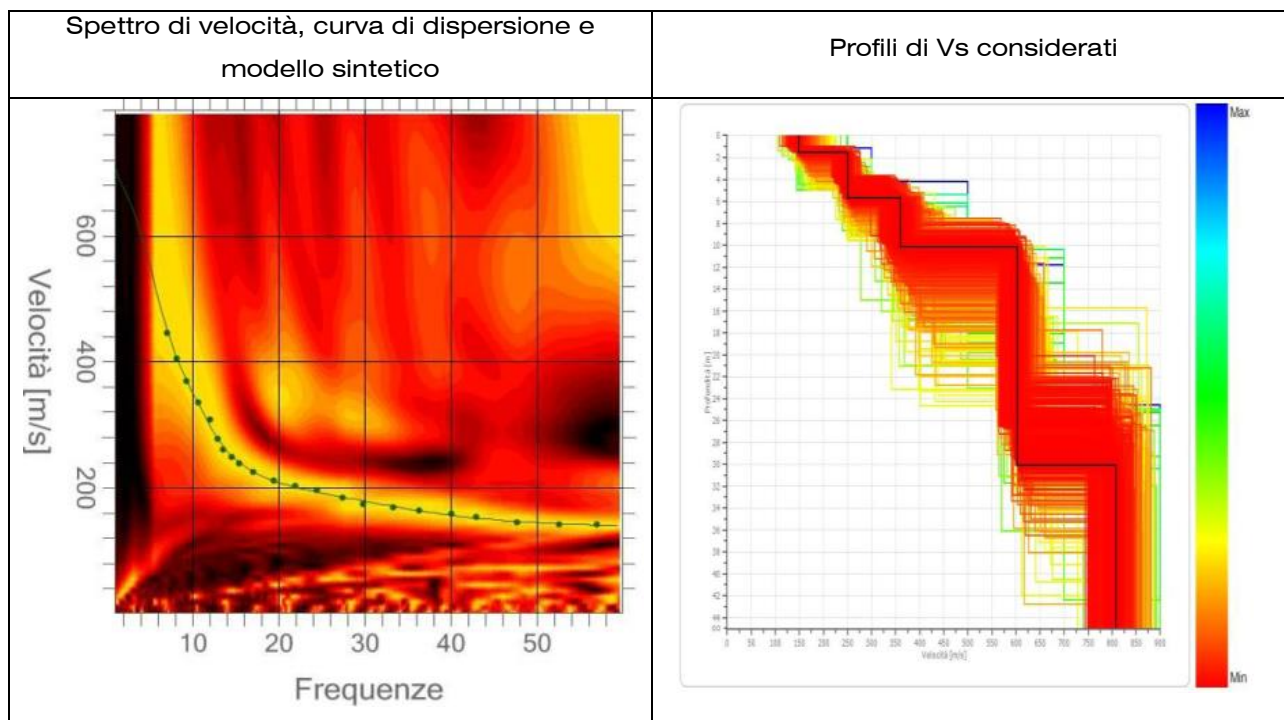


Fig. 12 - Immagini riassuntive dell'elaborazione di un'indagine MASW

Durante il processo d'inversione il codice di calcolo genera iterativamente modelli la cui curva di dispersione si avvicina sempre più al picking eseguito, il numero d'iterazioni che il programma esegue è definito dall'utente e nel presente studio è stato settato a 1000. L'accuratezza del modello ottenuto viene definita da due parametri che il software fornisce a fine elaborazione: il *fattore di disadattamento della soluzione (misfit)* e la *percentuale d'errore*, entrambi sono espressione di quanto la curva di dispersione sintetica si avvicina a quella sperimentale.

I modelli restituiti hanno dato valori di fattore di disadattamento sempre inferiori a 0,049 e percentuale di errore inferiore a 0,191% indice di un buon fitting tra curva sperimentale e sintetica.

I dati acquisiti mediante sismica a rifrazione in onde P e SH sono stati analizzati tramite elaborazione di tipo Tomografico.

La procedura d'elaborazione ha comportato in prima fase un'interpretazione secondo i canoni classici della metodologia a rifrazione, con l'individuazione dei tempi dei primi arrivi sui simogrammi (in Fig. 13 si riporta un esempio di simogramma sperimentale) ottenendo così il grafico delle dromocrone sperimentali.

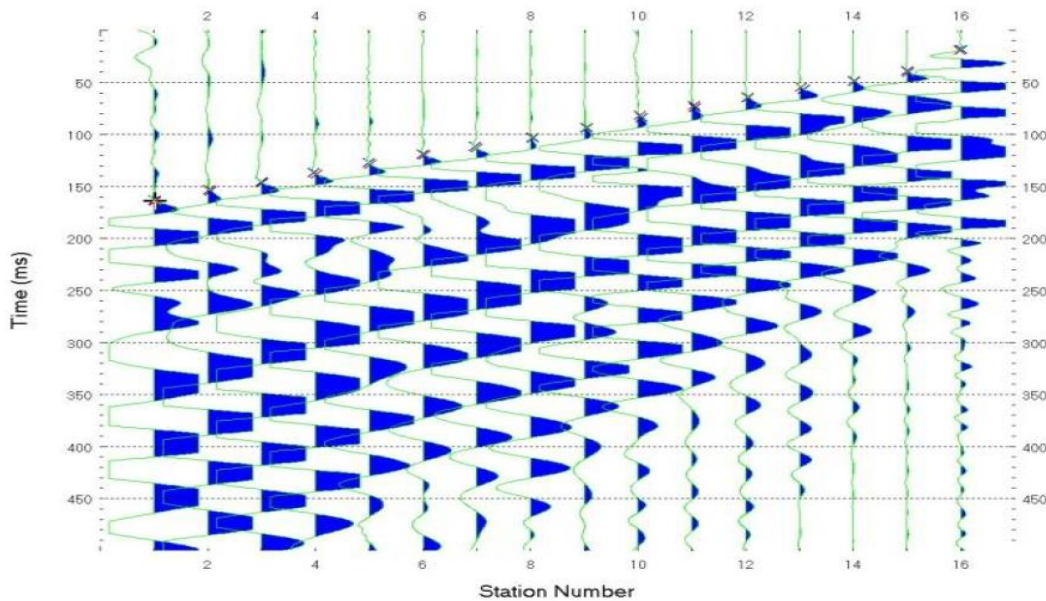



Fig. 13 - Sismogramma sperimentale, con la x sono indicanti i primi arrivi

In seguito, attraverso il software di calcolo *Rayfract*, sono stati ricostruiti i percorsi dei raggi sismici attraverso il terreno. In linea teorica ogni punto del mezzo investigato è attraversato in tutte le direzioni dai raggi sismici. Di ogni raggio è quindi calcolata la traiettoria e per ogni punto (o cella) del modello la sua velocità sismica caratteristica. Il modello si affina in modo iterativo cercando la convergenza tra le dromocrone sintetiche

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	32 di 95

e quelle sperimentali (Fig. 14), il numero di iterazioni realizzate è pari a 100. Il risultato finale dell'elaborazione consiste in una sezione di velocità sismica.

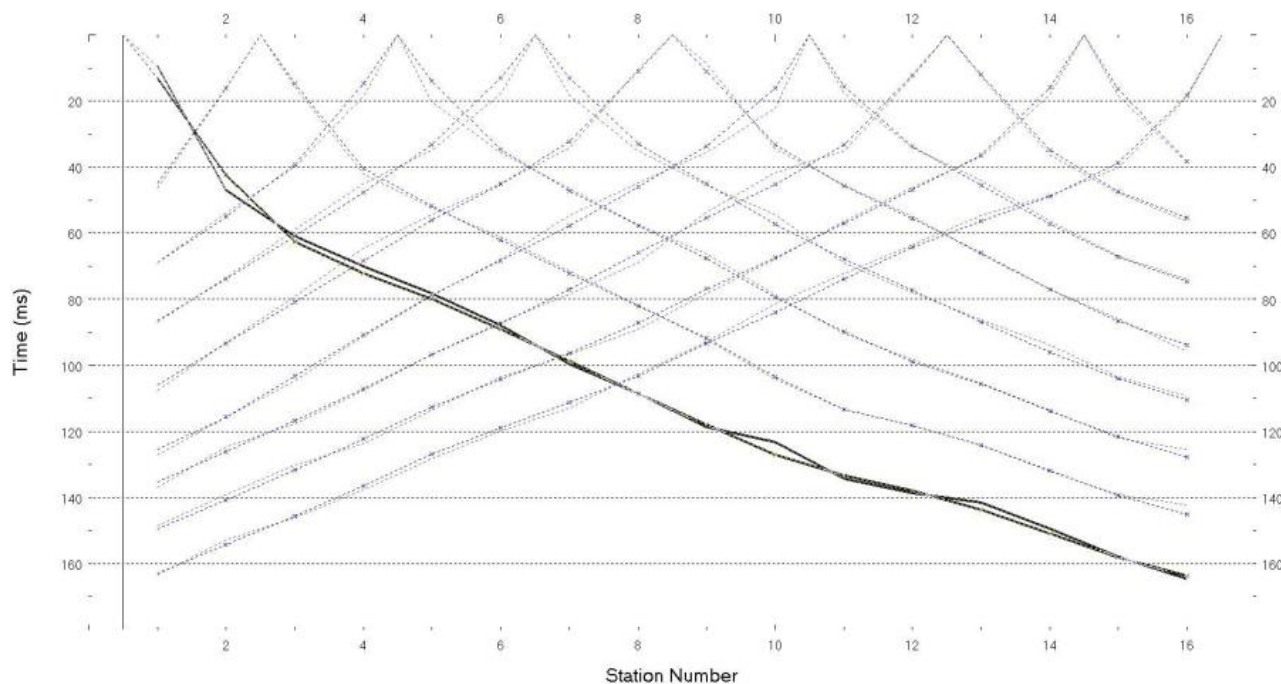



Fig. 14 - Esempio di dromocroni sperimentali (solo tratteggio) e sintetiche (tratteggio e x)

Una stima qualitativa sull'accuratezza del modello, oltre a un controllo visivo sul grafico delle dromocroni, è fornito numericamente dal software di elaborazione sotto forma di *errore percentuale*, rappresentativo dello scarto tra le dromocroni sintetiche e quelle sperimentali.

I modelli ottenuti risultano affidabili con errore percentuale inferiore al 1,9 % per le onde P e inferiore al 1,3 % per le onde SH.

La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata anche tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

A riguardo, nell'Elaborato 9 - Prove tomografiche, per ciascuna prova è riportato il grafico rapporto spettrale H/V naturale con curva H/V sintetica, in cui si possono osservare picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze (cfr. Fig. 15).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	33 di 95

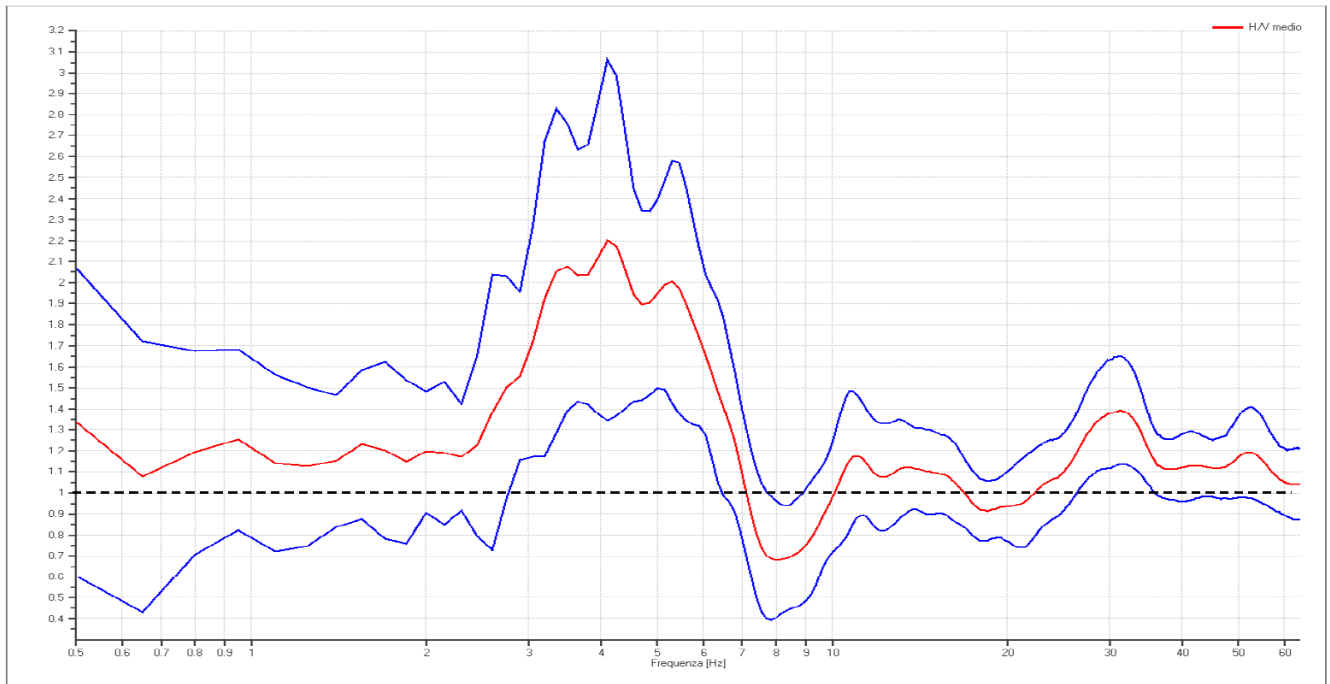



Fig. 15 – Esempio di curva H/V naturale con curva H/V sintetica

Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSR effettuate e la loro relativa affidabilità, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si è proceduto all’analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime “robuste” del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Quindi, per ogni singola acquisizione è stato valutato l’andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l’individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (*EasyHVSR di Geostru*), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale.

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla “chiarezza” del picco di possibile risonanza, essi risultano spesso non soddisfatti per i motivi già anticipati nel capitolo 5 (le caratteristiche geologiche del territorio esaminato fanno sì che, nelle curve

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	34 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

H/V, siano generalmente presenti più picchi, con contrasti d'impedenza bassi e simili tra loro).


Una considerazione a parte meritano le interpretazioni e incertezze connesse con il modello geologico del sottosuolo, in particolare, nelle zone in cui sono stati cartografati dei movimenti gravitativi.

In tali zone, infatti, è necessario identificare, oltre alla geometria del pendio, la profondità del substrato, la stratigrafia, il regime delle pressioni interstiziali, le proprietà geotecniche dei terreni costituenti i vari strati, l'entità e la posizione di eventuali carichi esterni, il cinematisimo della frana e la forma della superficie di potenziale scorrimento.

Allo scopo dovrebbero essere condotte anche indagini geotecniche in sito e di laboratorio ed essere installati strumenti per il monitoraggio delle pressioni interstiziali e degli spostamenti.

Trattasi di attività che hanno un costo molto elevato se paragonato all'importo del presente incarico e alla quantità dei dati che si possono ottenere, nel contesto territoriale indagato.

Conseguentemente, in questo studio, ci si è dovuti basare solo su dati geotecnici pregressi, accettando le incertezze che ciò ha comportato.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	35 di 95

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI


Nella prima fase di lavoro, di concerto con gli Uffici Tecnici Comunali, sono stati definiti i limiti degli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica. Infatti, si è reso necessario individuare preliminarmente, oltre alle porzioni di territorio già urbanizzate, quelle che saranno presumibilmente interessate da nuove edificazioni, nuove infrastrutture o sostanziali trasformazioni urbanistiche, su cui incentrare gli studi.

Una volta eseguita tale operazione, sono stati acquisiti dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile.

Successivamente è stata eseguita la nuova campagna di indagini sismiche (MASW, prove penetrometriche e prove HVSR).

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

- **Carta delle indagini:** in tale cartografia sono riportate le indagini pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia;
- **Carta geologico-tecnica:** tale carta è stata derivata dalla Carta lito-morfologica redatta per il vecchio studio di microzonazione sismica, rieditandola alla luce dei nuovi Standard di rappresentazione e archiviazione informatica e della Nuova Carta del Dissesto della Provincia di Parma. In questa cartografia sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni:** tale carta riporta i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR); 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).
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica:** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità e zone suscettibili di amplificazioni locali, all'interno delle quali sono state operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	36 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento


Successivamente e in diretta continuità con la prima, è stata svolta la seconda fase di lavoro, nel corso della quale è stato redatto un solo elaborato:

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S:** carta in cui sono ubicati tutti i punti di misura di V_s con indicazione, per ogni punto misura, del valore di V_{sH} o di V_{s30} .

Infine, è stata effettuata l'analisi con approfondimenti di terzo livello che ha consentito di definire, sulla base di analisi di risposta sismica locale, degli spettri elastici di risposta in superficie (*output*), rappresentativi delle singole zone, di valutare il grado di pericolosità delle aree instabili e potenzialmente tali e di effettuare una zonazione più affidabile delle amplificazioni locali.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati cartografici:

- Carta di microzonazione sismica FA_{PGA} (scala 1:5.000);
- Carta di microzonazione sismica $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$ (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$ (scala 1:10.000).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	37 di 95

8. ELABORATI CARTOGRAFICI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO

8.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:5.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione (per i cui report si faccia riferimento agli elaborati 7, 8 e 9) e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o sismiche reperite presso il Servizio Tecnico dei Bacini degli Affluenti del Po – Sede di Parma oltre che presso l'Ufficio Tecnico Comunale.

Esse sono state distinte in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo (distinguendo se intercetta o meno il substrato)
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- trincea o pozzetto esplorativo
- profilo sismico a rifrazione
- MASW
- stazione microtremore a stazione singola

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 16.

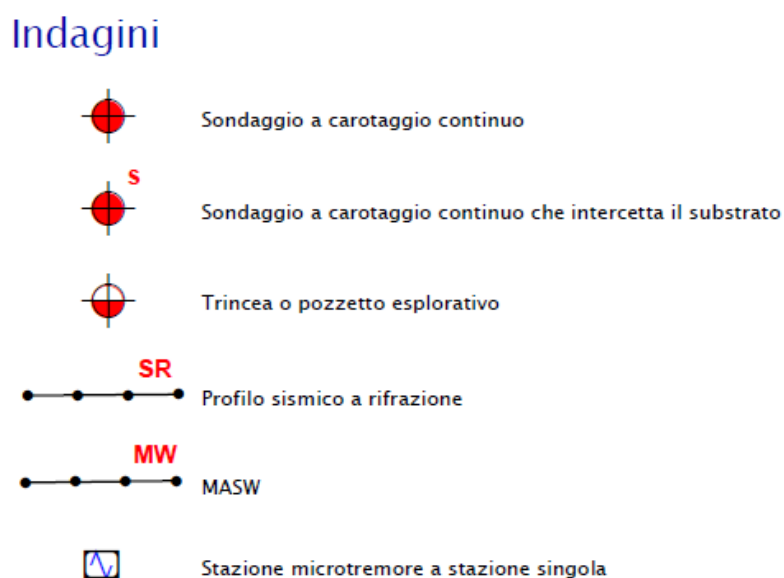



Fig. 16 – Legenda delle Carte delle indagini

Nella carta 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.

Nei successivi paragrafi vengono specificati numero e tipologia di indagini con riferimento ai due abitati oggetto di studio.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	38 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

8.1.1 Abitato di Pellegrino Parmense

Complessivamente, sommando i dati presenti negli studi di primo e secondo livello, quelli reperiti nel corso del presente studio, sono state acquisite le seguenti indagini:

- N° 4 sondaggi a carotaggio continuo,
- N° 15 trincee o pozzetti esplorativi,
- N° 1 stazioni microtremore a stazione singola.

Ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita da:

- N° 4 MASW,
- N° 6 stazioni microtremore a stazione singola
- N° 1 profili sismici a rifrazione.

8.1.2 Abitato di Grotta

A Grotta, consultando gli studi di primo e secondo livello e quelli reperiti nel corso del presente studio, sono state acquisiti:

- N° 4 sondaggi a carotaggio continuo,
- N° 8 profili sismici a rifrazione.

Ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita da:

- N° 2 MASW,
- N° 4 stazioni microtremore a stazione singola


8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

Nella Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica 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 della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1), che sarà descritta nel successivo paragrafo 8.4.

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:

- “Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna”. Sezione 198040 “Grotta” e Sezione 198080 “Pellegrino Parmense”, alla scala 1:10.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	39 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- “Nuova Carta del dissesto della Provincia di Parma”. Sezione 198040 “Grotta” e Sezione 198080 “Pellegrino Parmense”, alla scala 1:10.000, Servizio di Programmazione e Pianificazione Territoriale della Provincia di Parma
- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo (8.1).

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, nelle zone di studio, risulta sempre non rigido (caratterizzato da $V_s \leq 800$ m/s) e stratificato.

Esse sono state identificate da un codice unico nel caso del substrato (come detto sopra, sempre, non rigido e stratificato), mentre, 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 gli elementi tettonico-strutturali.

Altri elementi geologici rappresentati sono i sondaggi distinti a seconda che raggiungano o meno il substrato rigido, con indicazione della loro profondità.

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

Nei successivi paragrafi viene sinteticamente descritto l'assetto geologico e geomorfologico che caratterizza i 2 abitati oggetto di studio.


8.2.1 Abitato di Pellegrino Parmense

Il Capoluogo è ubicato nella valle del torrente Stirone, che l'attraversa nello stretto settore in cui sono stati rappresentati i Depositi fluviali costituiti da ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaie e sabbie (GPes).

Le quote sono comprese tra i 400 e i 450 m s.l.m.

All'interno del perimetro del territorio urbanizzato e urbanizzabile sono presenti limitati settori in cui il substrato geologico, costituito sempre da alternanza di litotipi, è affiorante o sub-affiorante.

Nelle altre zone si rinvengono, prevalentemente, Depositi terrazzati costituiti da ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla (GCTf) e, nella zona centrale una vasta area instabile cartografata come frana quiescente, in parte di tipo complesso e, in parte, non definita. In Fig. 17 è rappresentata una sezione che attraversa questo elemento geomorfologico, in cui si osserva che, all'interno del perimetro dell'urbanizzato e urbanizzabile, lo spessore della frana varia tra i 15 ei 30 m.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	40 di 95

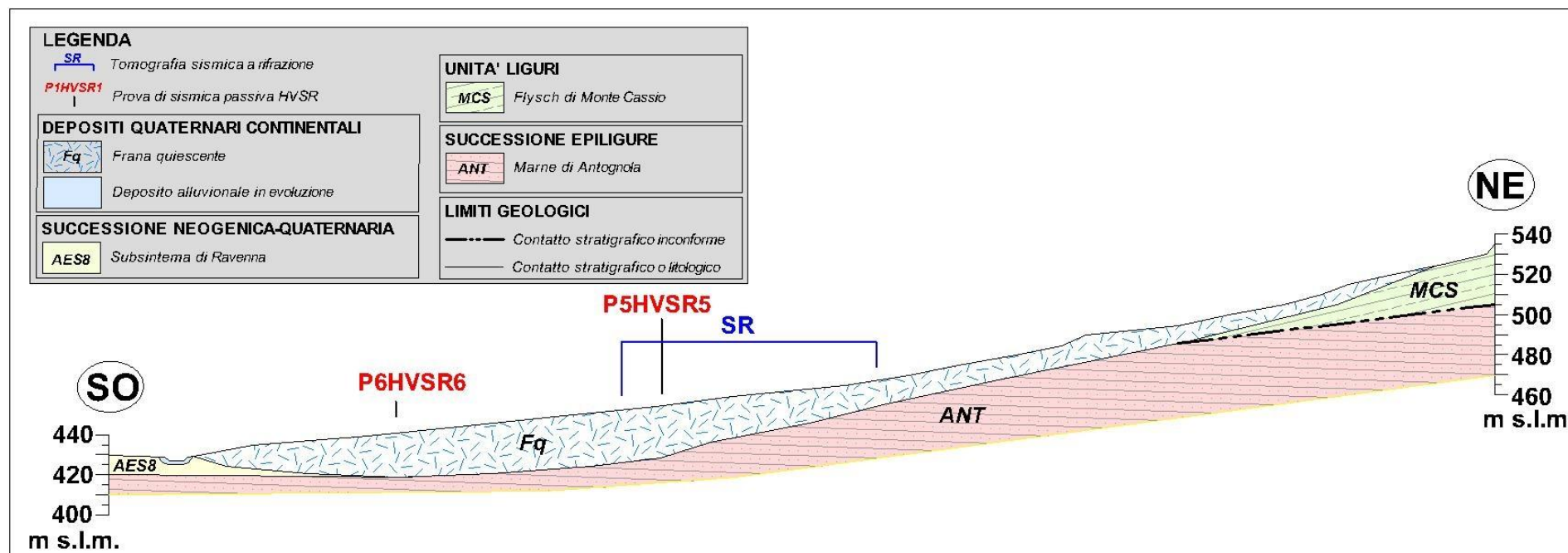



Fig. 17 - Sezione geologica a Pellegrino Parmense

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	41 di 95

Proseguendo l'esame della Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica si osserva che, all'estremità sud-orientale del Capoluogo, sono presenti Coperture detritiche costituite da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (MLec), mentre, in corrispondenza di quella nord-occidentale è presente anche un'area di modeste dimensioni interessata da una colata quiescente.

8.2.2 Abitato di Grotta

L'abitato di Grotta è ubicato in una zona di displuvio con quote comprese tra i 400 e i 450 m s.l.m. Esso è stato, in buona parte realizzato, su una porzione di territorio in cui affiorano Coperture detritiche costituite da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (MLec).

Fa eccezione il settore centrale che ricade all'interno di un'area instabile, classificata frana complessa quiescente, in corrispondenza della quale è stata disegnata la sezione, raffigurata in Fig. 18.. Da essa si evince che lo spessore dei depositi di frana sono nell'ordine dei 10-15 m.

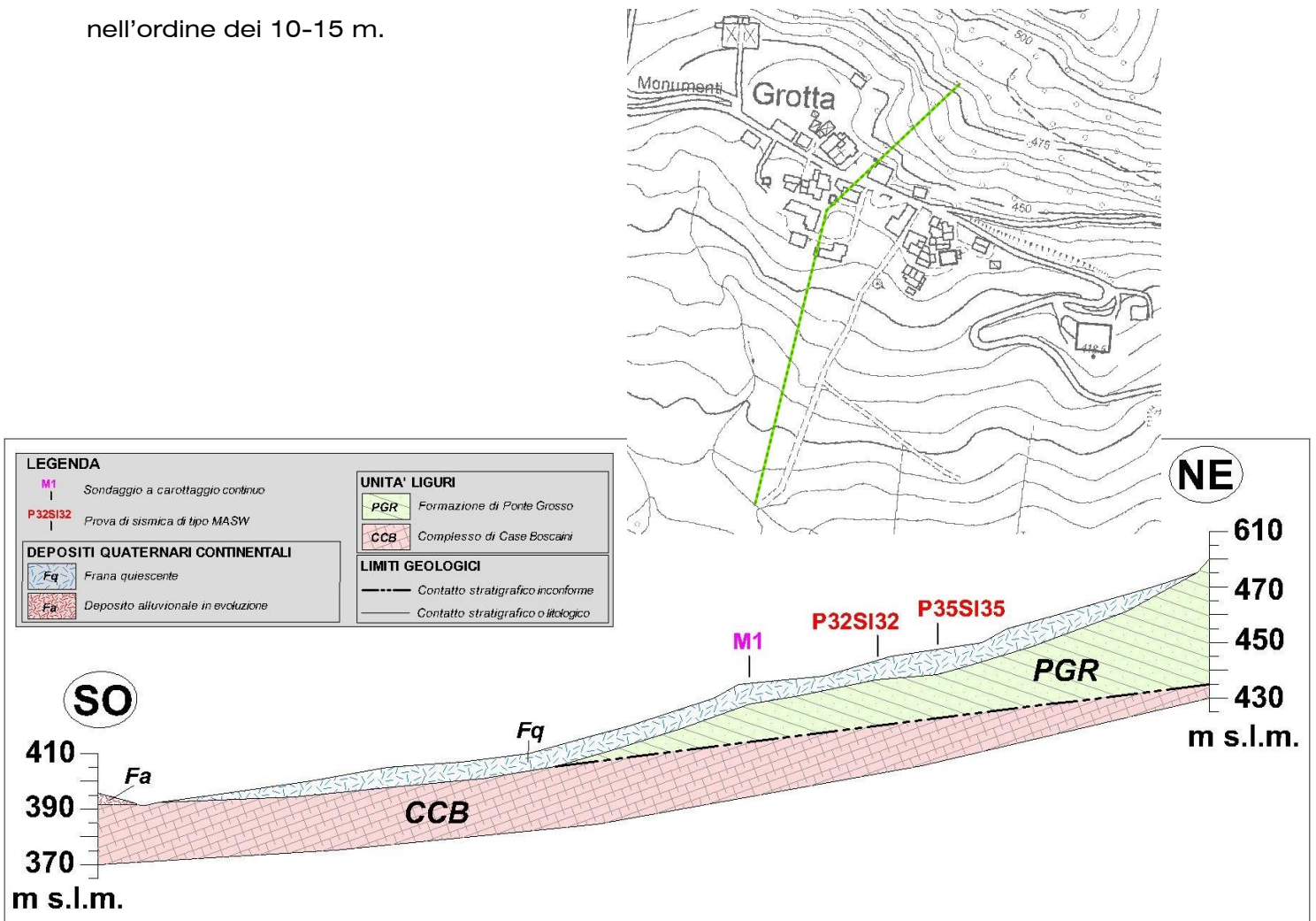



Fig. 18 - Sezione geologica a Grotta

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	42 di 95

8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia pregressi, sia di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scala 1:5.000.

In questa carta, sono stati riportati tutti i punti di misura (23), 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).

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 $H/V \leq 3$).

Nei successivi paragrafi vengono descritti e commentati i risultati a cui si è pervenuti nei due abitati oggetto di studio.

8.3.1 Abitato di Pellegrino Parmense

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tomografiche eseguite a Pellegrino Parmense, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza dei picchi principali e frequenze dei picchi secondari:

prova	picco principale F_0		picco secondario F_1
	frequenza Hz	ampiezza H/V	frequenza Hz
034028P16HVSR16	3,1	2,8	
034028P2HVSR2	2,84	3,33	
034028P3HVSR3	13,28	3,42	5,6
034028P4HVSR4	2,91	3,21	5,5
034028P6HVSR6	2,69	4,64	

prova	picco principale F0		picco secondario F1
	frequenza Hz	ampiezza H/V	frequenza Hz
034028P7HVSR7	2,66	4,47	
034028P8HVSR8	2,81	2,93	12
034028P9HVSR9	4,38	4,56	
034028P44HVSR45	4,1	2,2	
034028P45HVSR46	4,7	2,8	
034028P46HVSR47	5,6	2,27	
034028P48HVSR49	3,05	1,9	14,9
034028P49HVSR50	11	1,9	
034028P5HVSR5	3,72	3,91	13
034028P12HVSR12	4,91	6,8	
034028P10HVSR10	6,03	3,15	2,4
034028P1HVSR1	2,81	4,79	
034028P11HVSR11	4,69	3,08	2,3
034046P46HVSR104	26,3	2,8	

Tab. 4 – Riepilogo dei risultati delle prove tromografiche a Pellegrino Parmense

I dati relativi ai picchi principali sono stati rappresentati nel grafico di Fig. 19.

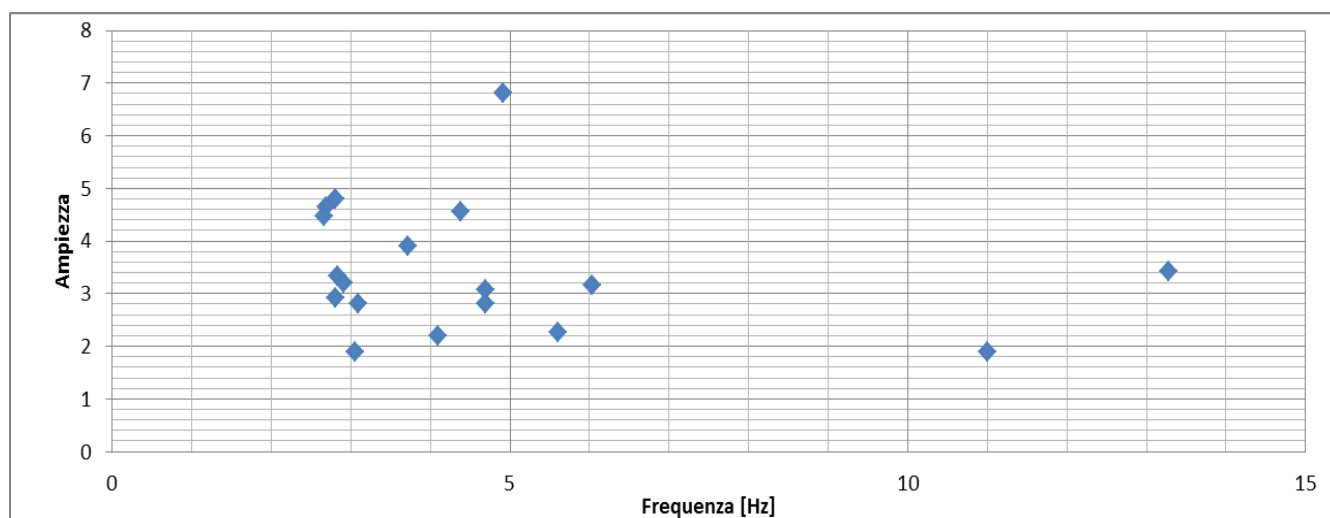


Fig. 19 – Picchi principali a a Pellegrino Parmense

Sulla base dell'esame di Tab. 4 e di Fig. 19, si osserva una certa variabilità dei picchi, sia in termini di ampiezza che di frequenze, anche se quest'ultime ricadono, quasi sempre, nella classe $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8 \text{ Hz}$.

8.3.2 Abitato di Grotta

Analogamente a quanto fatto per Pellegrino Parmense, di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tomografiche eseguite a Grotta, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza dei picchi principali:

prova	picco principale F0	
	frequenza Hz	ampiezza H/V
034028P40HVS41	3,05	1,52
034028P41HVS42	3,9	1,39
034028P42HVS43	4,8	1,3
034028P43HVS44	5,3	1,44

Tab. 5 - Riepilogo dei risultati delle prove tomografiche a Grotta

I dati relativi agli stessi picchi sono stati rappresentati nel grafico di Fig. 20.

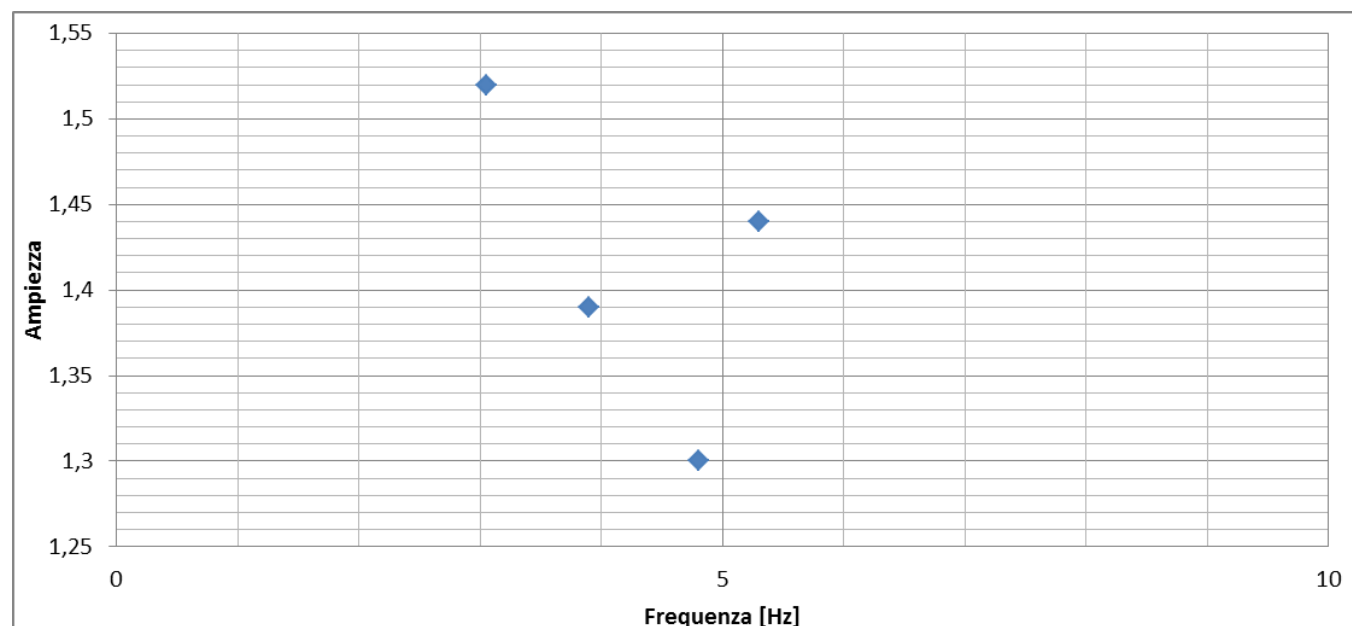


Fig. 20 - Picchi principali a Grotta

Sulla base dell'esame di Tab. 5 e di Fig. 20, si osserva, come per il Capoluogo, una certa variabilità dei picchi, sia in termini di ampiezza che di frequenze, anche se quest'ultime ricadono sempre nella classe $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8 \text{ Hz}$.

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica


La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresentano il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

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 delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di Pellegrino Parmense, non è mai presente la categoria 1 – zone stabili. Invece, sono state individuate le seguenti 4 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:


- Zona 1 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m. Si rinviene solo nel Capoluogo a caratterizzare limitati settori dell'abitato.
- Zona 2 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da detrito di versante, a granulometria prevalentemente argillosa, di spessore medio pari a 5 m. Interessa due piccoli settori del Capoluogo: uno più ristretto, all'estremità nord-occidentale dell'abitato, e uno più ampio, all'estremità sud-orientale.
- Zona 3 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da detrito di versante, a granulometria prevalentemente argillosa, di spessore medio pari a 15 - 20 m. Caratterizza l'intero abitato di Grotta.
- Zona 4 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista,

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	46 di 95

prevalentemente ghiaiosi di spessore medio pari a 10 m. Si rinviene in 2 ampi settori del Capoluogo.

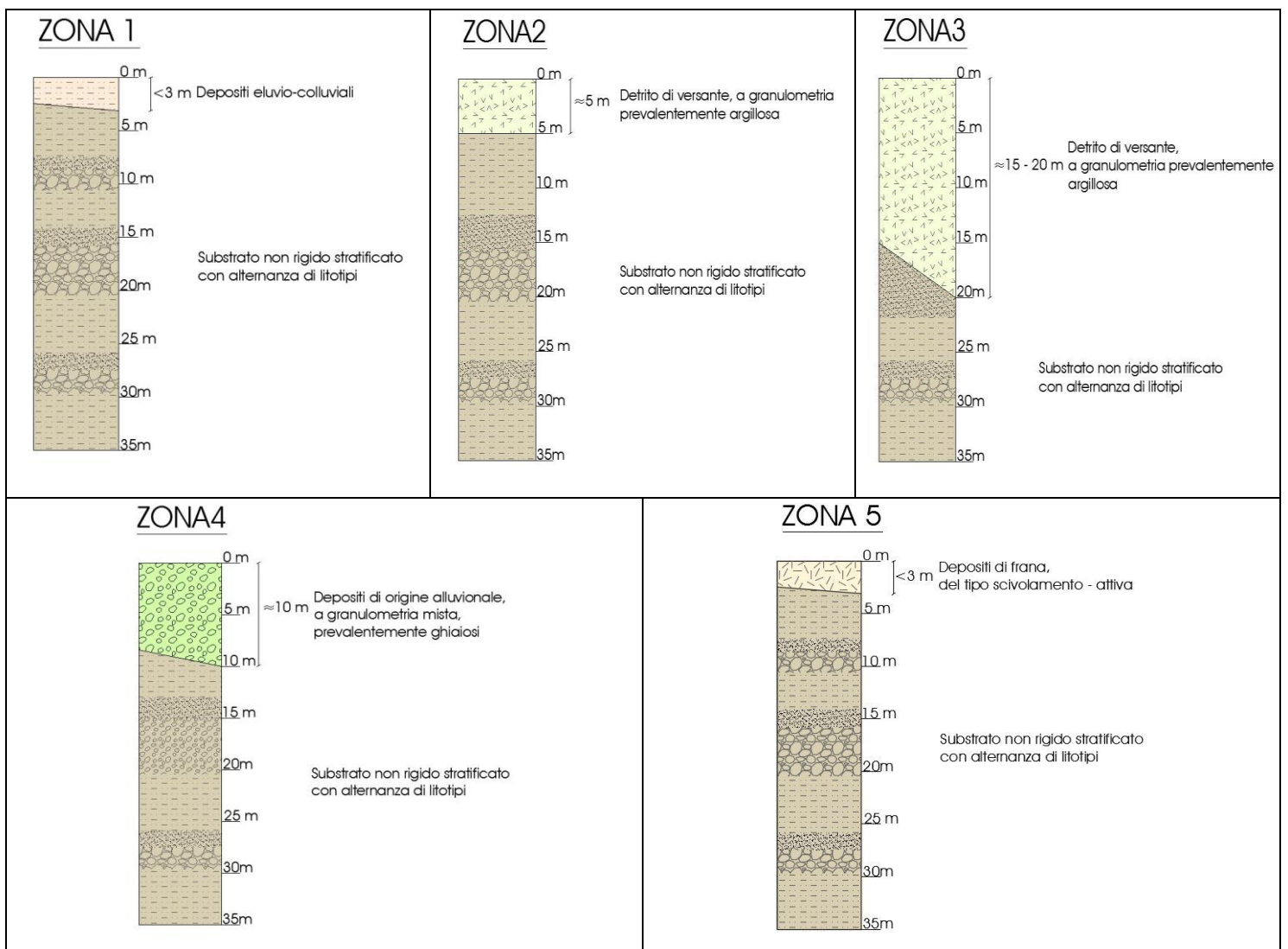
Sempre nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica sono state raffigurate anche 6 Zone di attenzione per instabilità di versante:

- ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 5, di dimensioni molto ridotte, a Pellegrino Parmense, in località “Condominio Maura”, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore inferiore a 3 metri di depositi di frana, del tipo scorrimento-attiva, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti sul substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi.
- ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 6, che coinvolge una buona porzione dell’abitato di Grotta, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio paria a 15 - 20 metri di depositi di frana, del tipo complessa-quiescente, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti sul substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi.
- ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 7, che riguarda l’estremità nord occidentale del Capoluogo, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio paria a 20 - 30 di depositi di frana, del tipo colata-quiescente, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti sul substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi.
- ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 8, corrisponde con un settore allungato lungo il confine nord-orientale del territorio urbanizzato di Pellegrino, caratterizzato da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio paria a 20 - 30 di depositi di frana, del tipo complessa-quiescente, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti sul substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi.
- ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 9, lungo l’estremità nord-orientale del Capoluogo e di dimensioni quasi trascurabili, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio paria a 20 - 30 di depositi di frana, del tipo non definita-attiva, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti sul substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	47 di 95

- ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 10, interessa la zona centrale dell’abitato di Pellegrino Parmense ed è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio paria a 20 - 30 di depositi di frana, del tipo non definta-inattiva, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti sul substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi.

In Fig. 21 sono rappresentati i profili stratigrafici caratteristici delle 10 microzone sopradescritte.



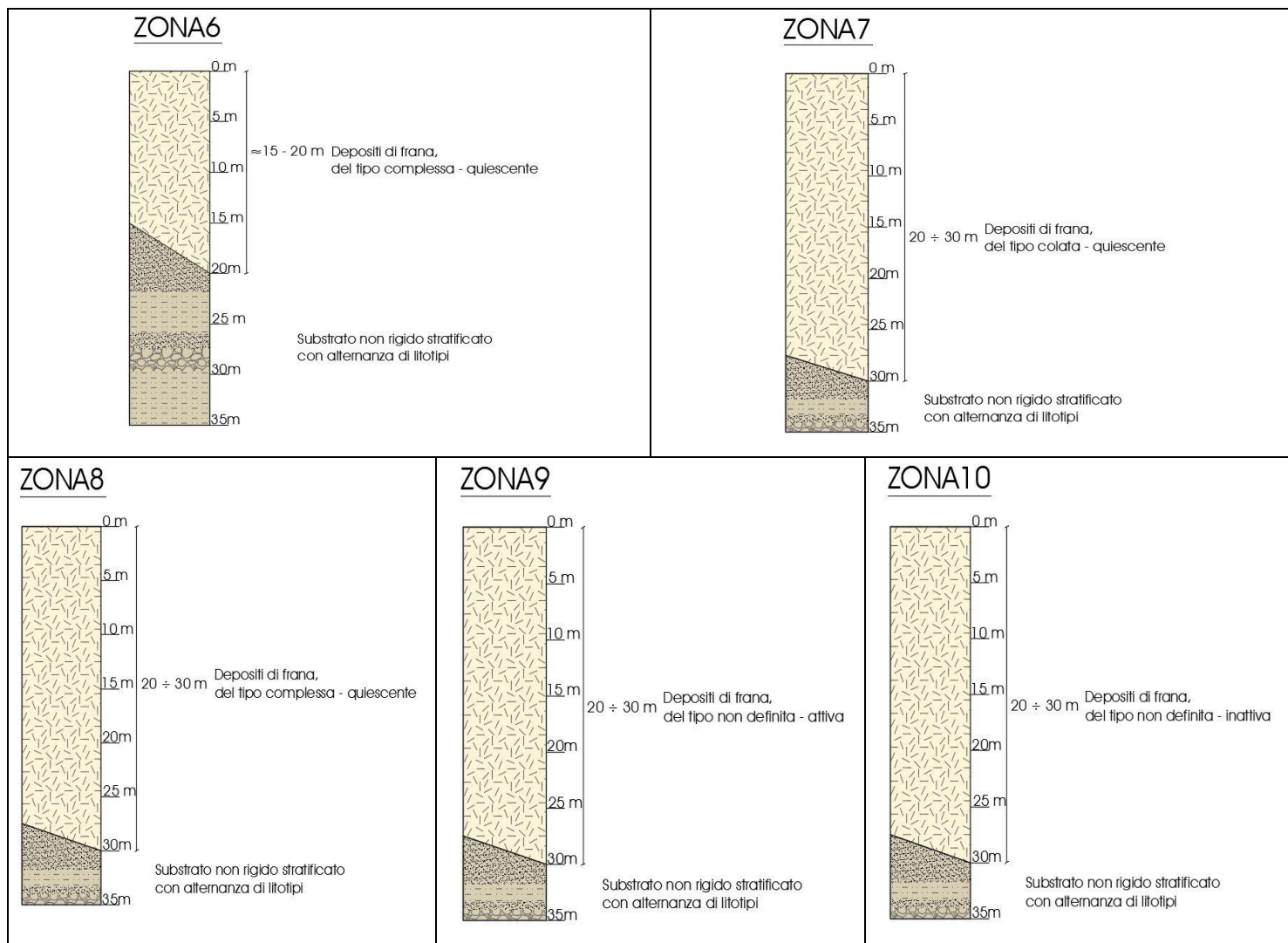



Fig. 21 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative della microzone

8.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, è stata redatta per le 2 aree oggetto di studio la Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s).

In tale elaborato sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tromografica o MASW e indicando il corrispondente valore di V_{s30} o di V_{sH} (in m/s), dove:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	49 di 95

$$V_{S_H} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

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*);

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

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).

A riguardo, va chiarito che, si è indicato V_{S_H} quando la profondità (H , anch'essa rappresentata nelle carte) da p.c. del contrasto di velocità più significativo individuato dalla prove è risultata compresa tra 3 e 50 m, mentre, per profondità inferiori a 3 m o superiori a 50 m è stato riportato il valore di $V_{S_{30}}$.

Nei successivi paragrafi vengono riportati i risultati a cui si è pervenuti nei due abitati oggetto di studio.

8.5.1 Abitato di Pellegrino Parmense

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa delle misure di velocità delle onde di taglio S a Pellegrino Parmense.

Indagine	Tipo indagine	VSH	H	VS30
034028P16HVSR16	HVSR	175	10,2	
034028P2HVSR2	HVSR	216	22	
034028P3HVSR3	HVSR			481
034028P4HVSR4	HVSR	324	18,85	
034028P6HVSR6	HVSR	210	22,5	
034028P7HVSR7	HVSR	209	22,65	
034028P8HVSR8	HVSR	304	33	
034028P9HVSR9	HVSR	165	12,55	
034028P15HVSR15	HVSR	259	23,35	
034028P5HVSR5	HVSR	335	26,9	

Indagine	Tipo indagine	VSH	H	VS30
034028P13HVSR13	HVSR			341
034028P14HVSR14	HVSR	264	24,25	
034028P12HVSR12	HVSR	153	9,75	
034028P10HVSR10	HVSR	312	15,6	
034028P1HVSR1	HVSR	197	18,95	
034028P11HVSR11	HVSR	211	12,2	
034028L10MASW10	MASW	146	7,9	
034028L11MASW11	MASW	270	7,1	
034028L12MASW12	MASW	187	3,35	
034028L13MASW13	MASW	209	9,05	

Tab. 6 – Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S a Pellegrino Parmense

Dall'esame di Tab. 6, si osserva che, a Pellegrino Parmense, tranne in 2 prove, sono sempre stati determinati dei valori di V_{sH} . Questi risultano mediamente pari a 230 m/s, anche se contraddistinti da una discreta variabilità (il valore massimo è di 335 m/s mentre il minimo è di 146 m/s).

8.5.2 Abitato di Grotta

A Grotta sono state eseguite solo due misure di velocità delle onde di taglio S, riepilogate nella seguente tabella.

Indagine	Tipo indagine	VSH	H
034028L9MASW9	MASW	252	7,7
034028L14MASW14	MASW	243	9,35

Tab. 7 – Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S a Grotta

9. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO

9.1 Area considerata

Gli approfondimenti di terzo livello sono stati eseguiti in corrispondenza di quattro aree di cui si dispone di sufficienti dati stratigrafici e di Vs, necessari per definire il modello geofisico del sottosuolo (cfr Fig. 22 – Ubicazione dei siti per cui sono state realizzati approfondimenti di 3° livello).

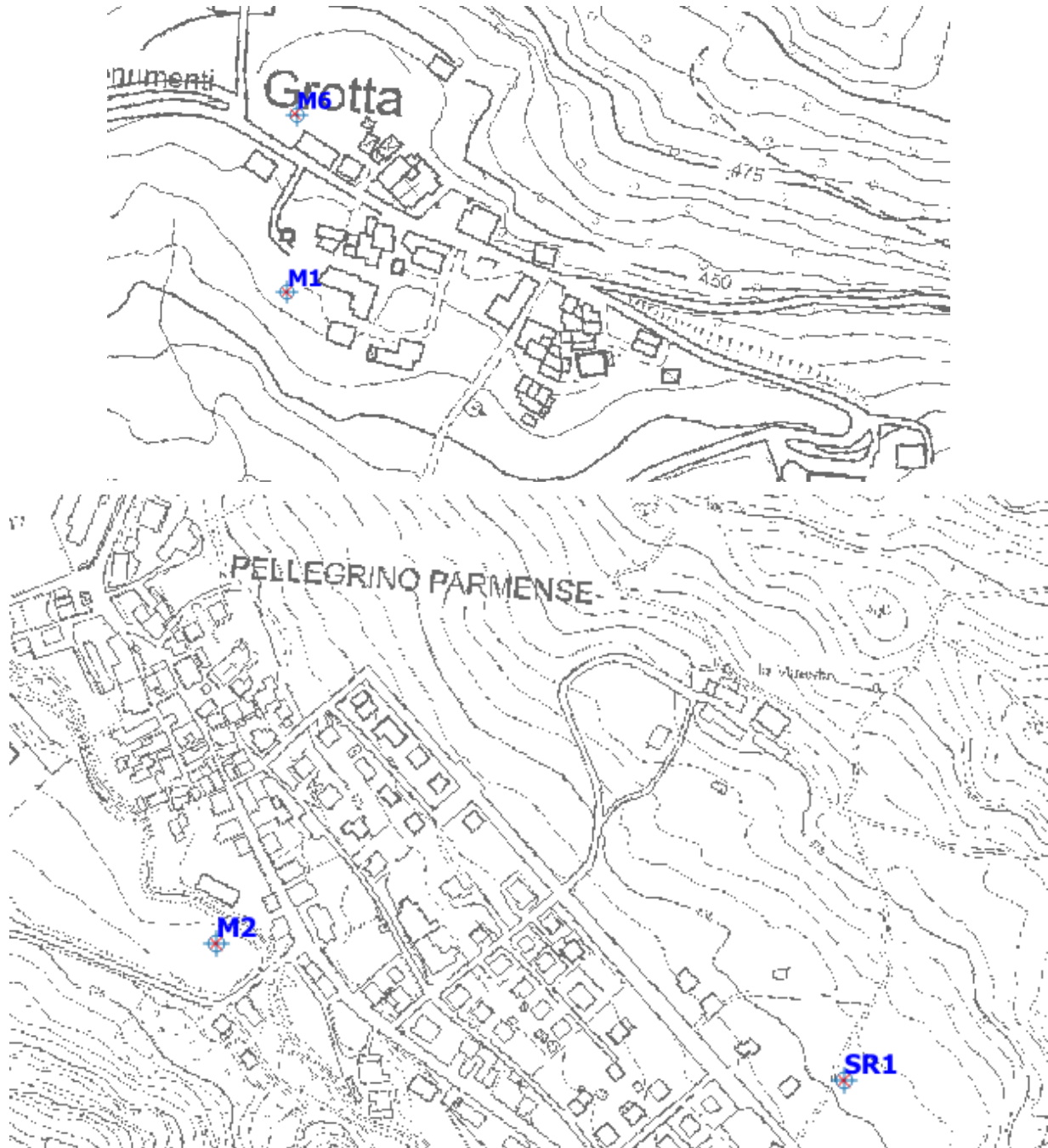



Fig. 22 – Ubicazione dei siti per cui sono state realizzati approfondimenti di 3° livello

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	52 di 95

9.2 Risposta sismica locale

Di seguito vengono fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale. Nei successivi paragrafi, saranno, poi, illustrati i risultati della RSL per ciascun punto indagato.

9.2.1 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 DAL 112/2007 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;
- i valori di a_{refg} (10% di probabilità di superamento in 50 anni) di ogni comune dell'Emilia-Romagna;
- le indicazioni per il reperimento e l'utilizzo dei segnali di riferimento selezionati.

Per il Comune di Pellegrino Parmense il parametro a_{refg} risulta 0.157

Di conseguenza, lo spettro elastico di risposta in accelerazione (Fig. 23) di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale, ed il conseguente spettro di risposta in velocità, per il calcolo dell'intensità di Housner, (Fig. 24), sono i seguenti:

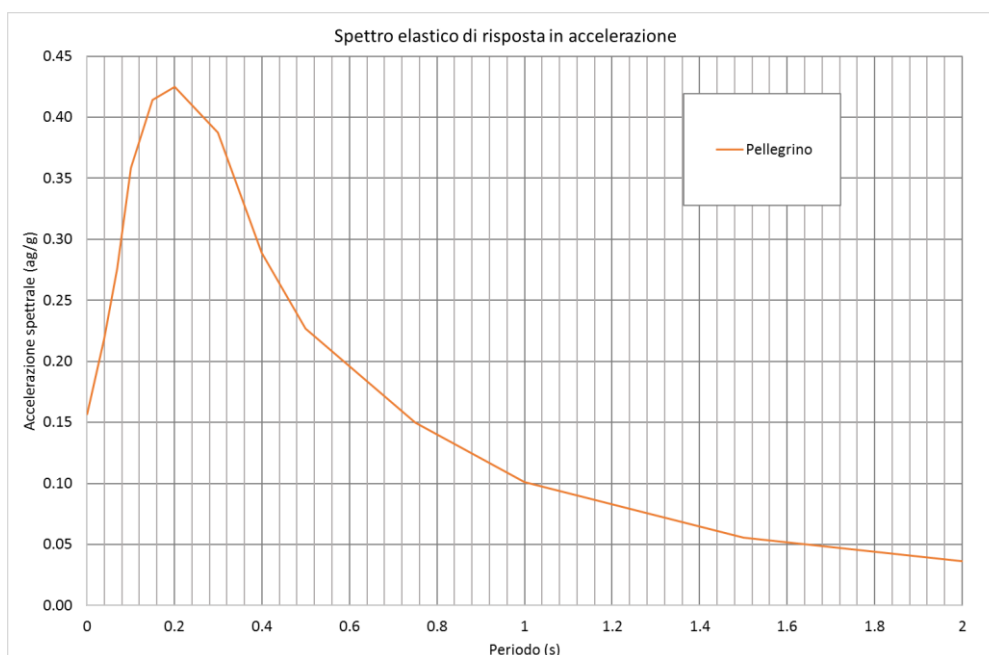



Fig. 23 – Spettro di risposta elastico in accelerazione su suolo A (475Y)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	53 di 95

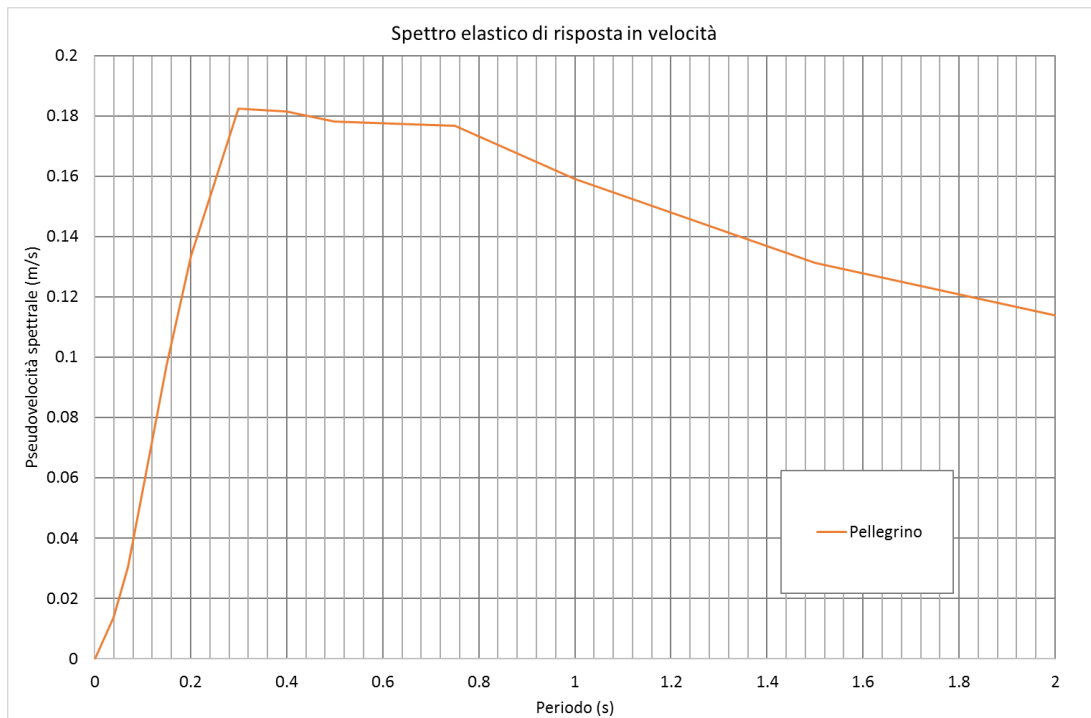


Fig. 24 – Spettro di risposta elastico in velocità su suolo rigido (475Y)

9.2.2 Segnali in input

Quali dati di input sismico sono stati utilizzati, oltre a quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DAL 112/2007², anche quelli forniti dal software *SEISM-HOME*³ 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. 23, mentre, nel caso di *SEISM_HOME*, il confronto è stato 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.

² disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica

³ 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.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	54 di 95

Nel complesso, quindi, sono stati utilizzati 10 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale. Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalla RER.

Segnali RER	Segnali Seism-Home
000046xa_034028PellegrinoParmense.xy	TR475_ID15378_1 - 7 - tratti dai segnali:
000126xa_034028PellegrinoParmense.xy	000764xa.cor
000354xa_034028PellegrinoParmense.xy	000182xa.cor
	000234ya.txt
	0455y.txt
	1033y.txt
	SAG0010503201053.NS
	20090406_013239ITDPC_MTR_NSC.DAT

Tab. 8 - Segnali in input utilizzati nelle analisi di RSL

In Fig. 25 sono stati riportati gli accelerogrammi in input dei siti di Pellegrino Parmense e Grotta.

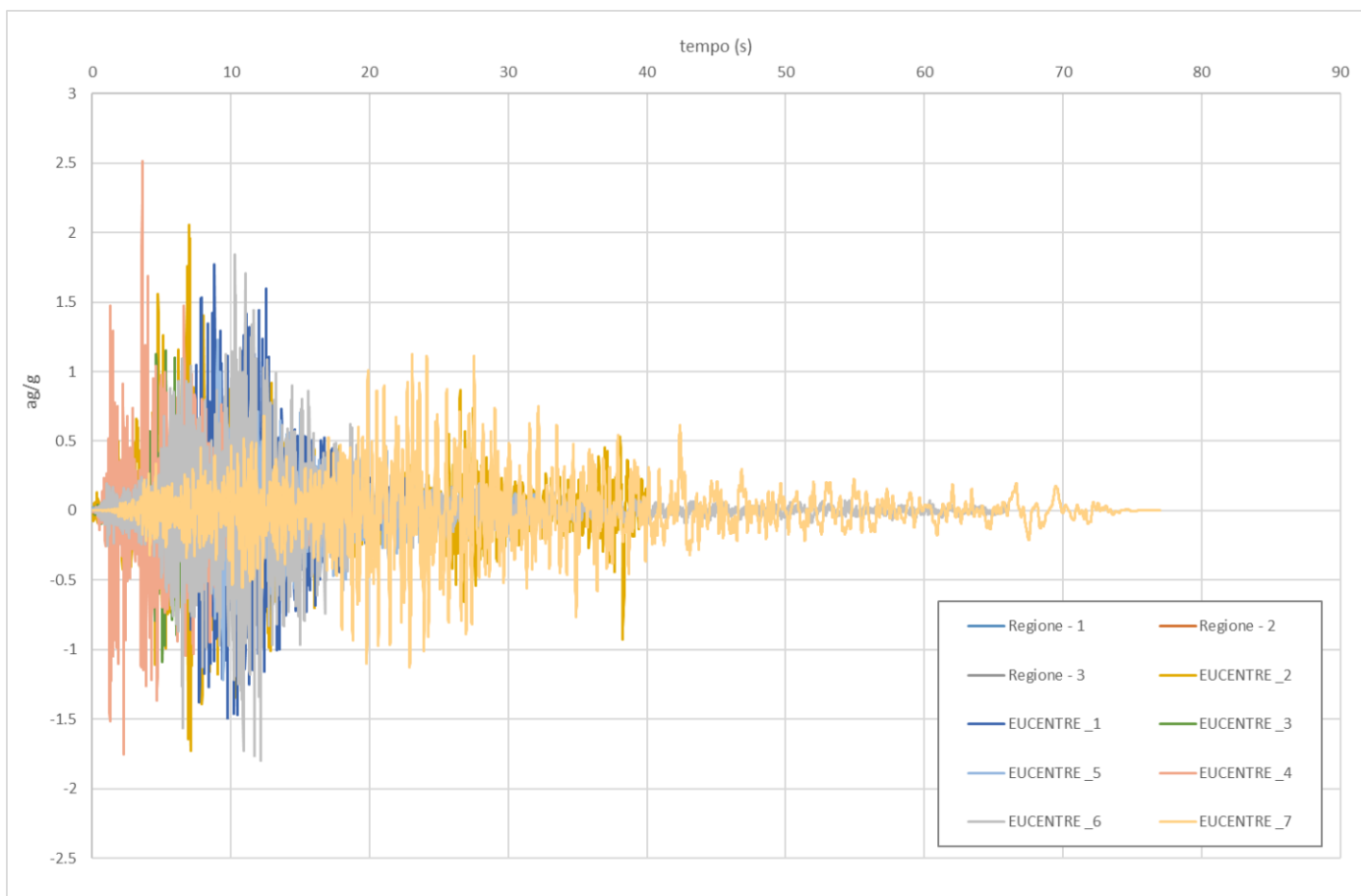


Fig. 25 - Accelerogrammi in input

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

9.2.3 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, difficilmente raggiungibile nelle zone in questione.

In effetti, tale problematica è stata affrontata nell'allegato A2 alla DGR 2193/2015. Nelle zone collinari e montane per il calcolo dei fattori di amplificazione di applicano tabelle distinte, a seconda che il substrato rigido identificato raggiunga o meno il valore di 800 m/s. Ciò ha consentito di superare il concetto di bedrock, differenziando invece tra substrato rigido e substrato non rigido. Come verrà illustrato in seguito tale modifica risulta fondamentale nei siti oggetto di studio.

9.2.3.1 Litologia


Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati, principalmente, i dati delle stratigrafie dei sondaggi realizzati in ciascun sito. Quando i sondaggi non corrispondono esattamente alle condizioni rilevate con le indagini sismiche, perché la loro posizione non corrisponde col punto di valutazione della RSL, o perché i sondaggi non appaiono significativi, si è preferito effettuare una valutazione sulla base dei dati sismici.

9.2.3.2 Determinazione della V_s e del *bedrock* sismico

La determinazione della V_s in funzione della profondità è stata effettuata mediante prove MASW o Tomografie sismiche. Le prove HVSR sono state utilizzate per verificare che la frequenza caratteristica dei terreni registrata da queste prove corrisponda al picco della funzione di trasferimento ricavata dalla modellazione della risposta sismica locale.

9.2.3.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) in funzione della deformazione

La mancanza di campioni sui terreni studiati non ha consentito di utilizzare curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) in funzione della deformazione

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	56 di 95

ricavate appositamente nelle aree di studio. Pertanto sono state utilizzate curve derivanti da dati bibliografici riferite a terreni il più possibile simili a quelli analizzati.

Per i terreni ghiaiosi delle alluvioni del fondovalle di Pellegrino Parmense sono stati utilizzate le curve di Rollins⁴.

Per i terreni superficiali, prevalentemente di frana, si è fatto riferimento ai dati pubblicati da Madaia⁵, relativamente alla frana di Spinello.

Per il substrato alterato sono state utilizzate le curve di EPRI⁶ per i terreni rocciosi, variabili in funzione del carico litostatico.

I grafici di G/G_0 e D , per tutti i tipi di terreno utilizzati, diagrammati in funzione dello sforzo, sono riportati in Fig. 26.

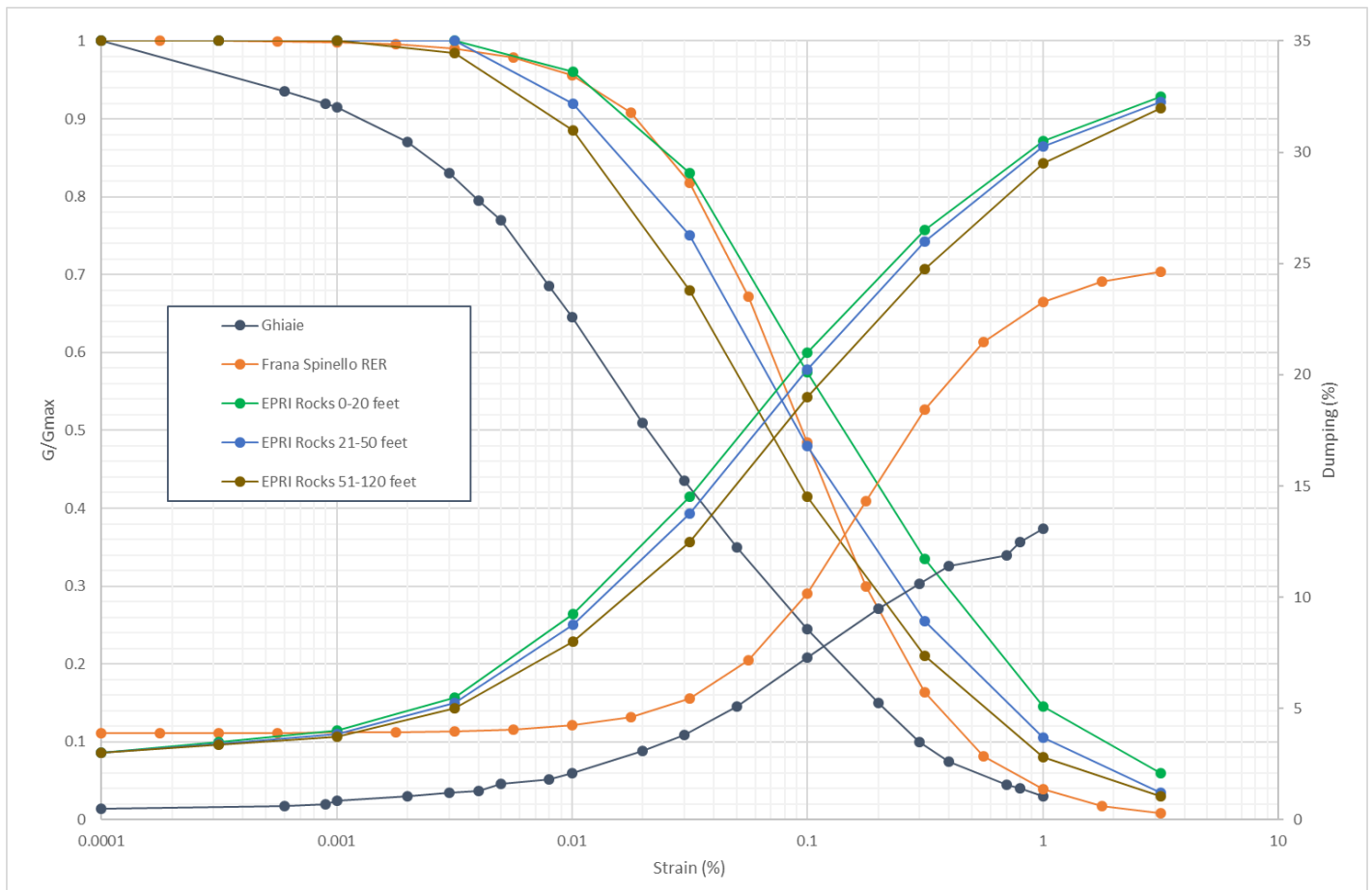



Fig. 26 - Grafico delle curve G/G_0 e D per tutti i tipi di terreni utilizzati

⁴ 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.

⁵ Madaia 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.

⁶ EPRI (1993) – Guidelines for determining design basis ground motions TR-102293s-V1-V5

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	57 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

9.2.4 Codice di calcolo per la valutazione della RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo Strata⁷ sviluppato da A. Kottke e E. Rathje⁸. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer⁹, 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.

9.2.5 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 indagato:

- 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;
- 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;

⁷ Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.

⁸ Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California

⁹ 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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	58 di 95

- 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. 24). In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

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

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

A completamento di questa fase di studio, viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 2193/2015 o secondo le indicazioni delle N.T.C. 2008.

9.2.6 RSL per il sito di Grotta M1

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi al sondaggio P33S33. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW M1 (in database denominata L9MASW9), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova HVSR H1 (in database denominata P40HVSR41).

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Soil Types				
	Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G_max Model	Damping Model
1	frana	18.50	Frana RER	Frana RER
2	substrato alterato1	20.00	EPRI Rocks 21-50 feet	EPRI Rocks 21-50 feet
3	Substrato alterato 2	20.00	EPRI Rocks 51-120 feet	EPRI Rocks 51-120 feet

Fig. 27 - Tipi di suolo del modello geofisico

Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	2.00	frana	150.00
2	2.00	7.70	frana	225.00
3	9.70	13.40	substrato alterato1	400.00
4	23.10	20.50	Substrato alterato 2	500.00
5	43.60	Half-Space	Bedrock	756.00

Fig. 28 - Modello geofisico

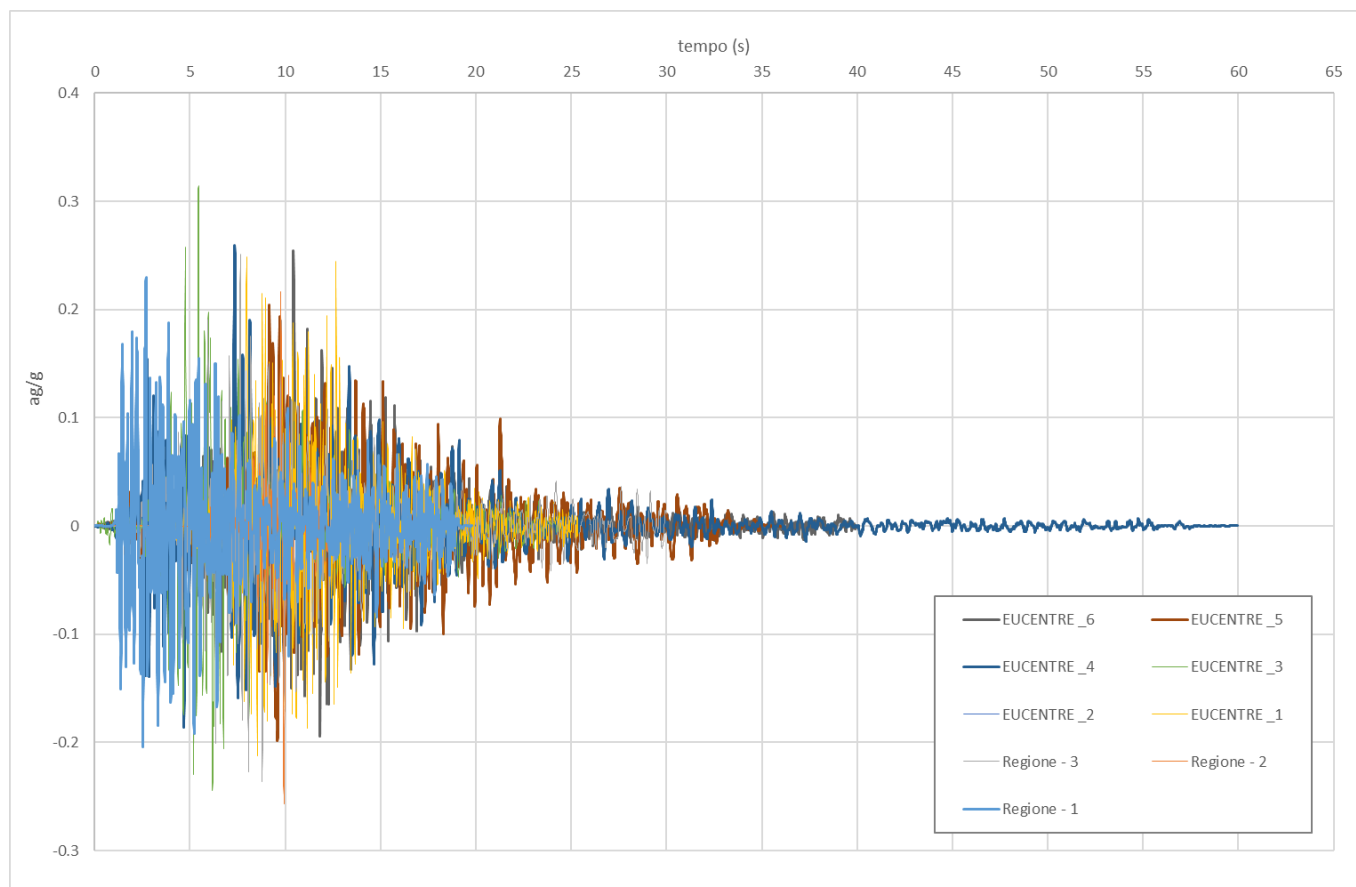


Fig. 29 - Output accelerogrammi

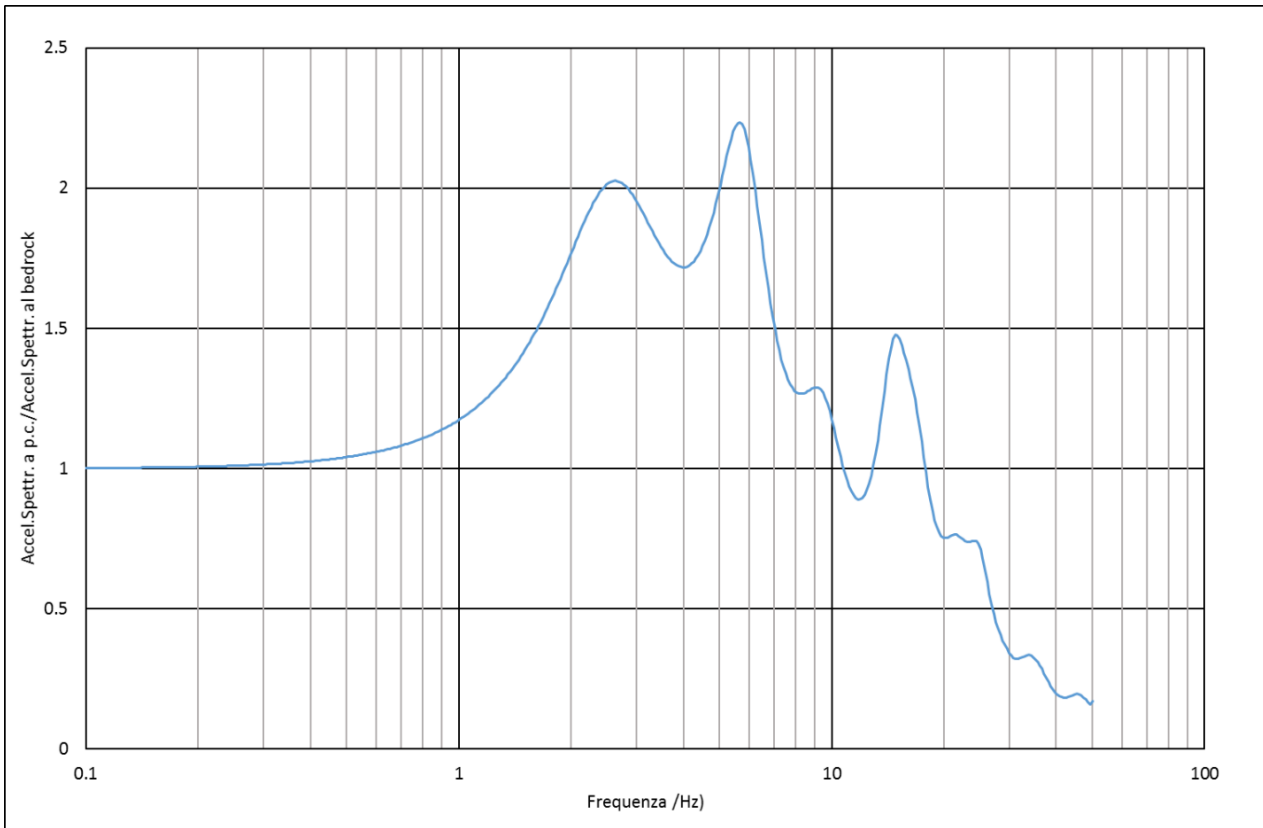


Fig. 30 - Funzione di trasferimento

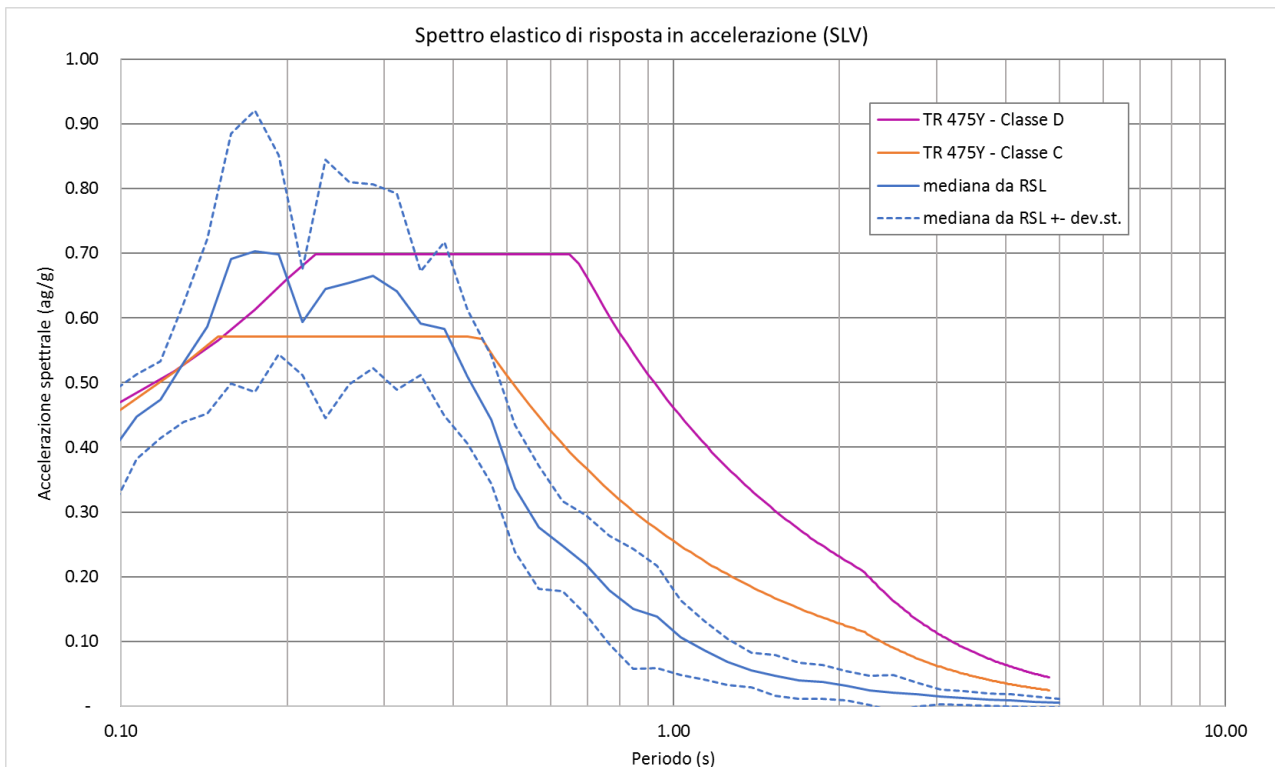


Fig. 31 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

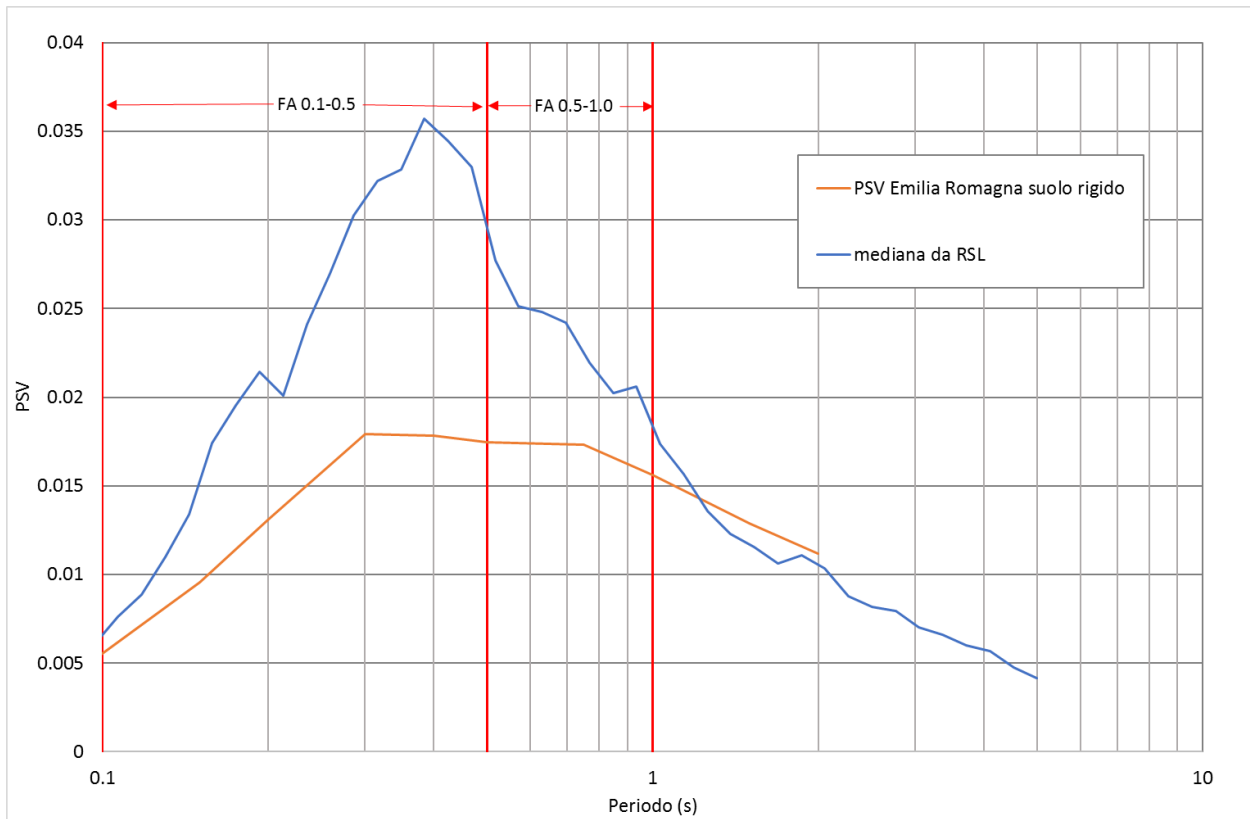


Fig. 32 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

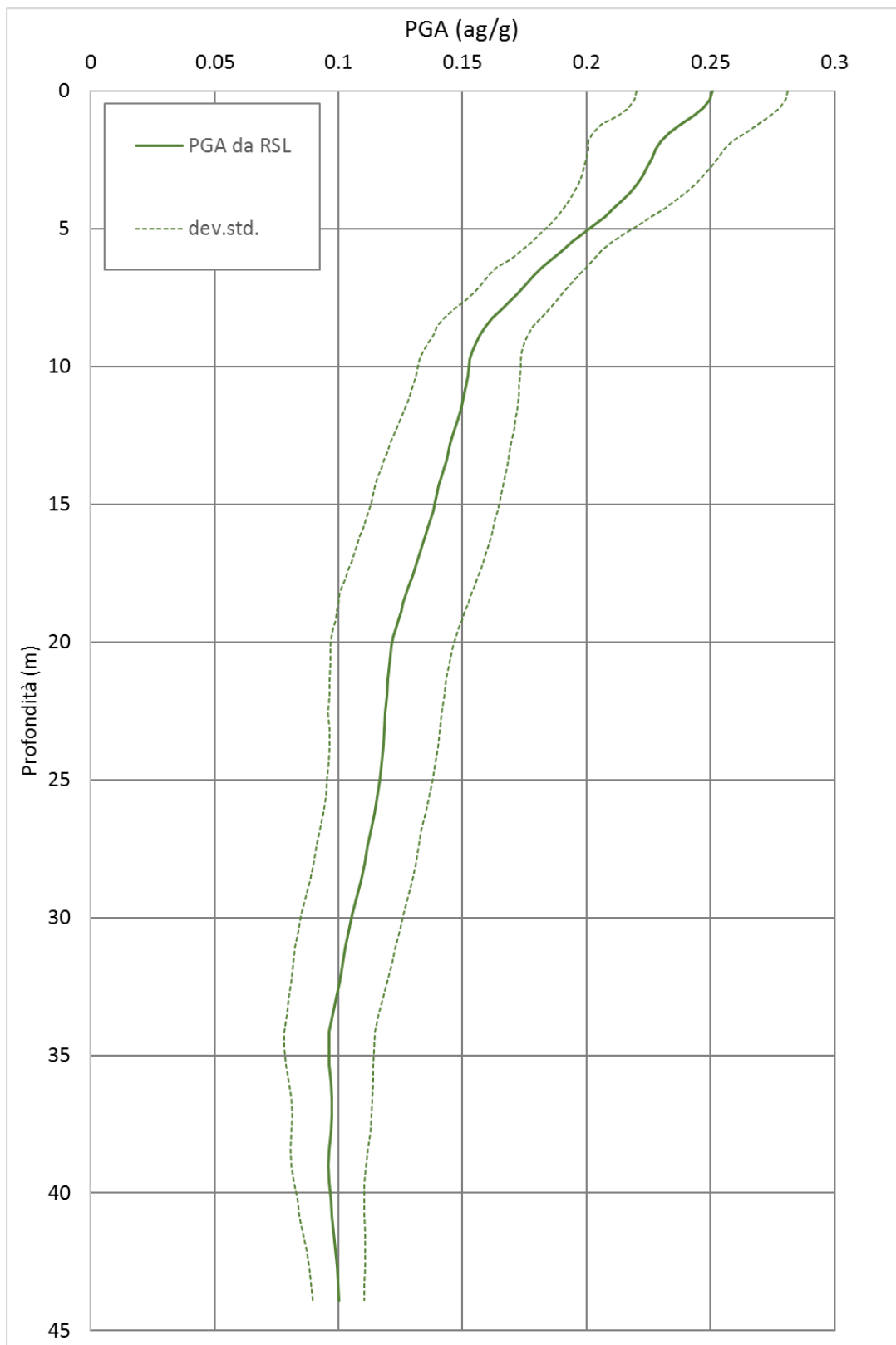


Fig. 33 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
FA_{PGA}	1.64	1.9* - 2.2**	1.47
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.73	2.2* - 2.3**	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.28	2.4* - 1.6*	

Tab. 9 – fattori di amplificazione

- * Tabella appennino, bedrock > 800 m/s, Vs30 316 m/s, spessore 40
- ** Tabella appennino, bedrock << 800 m/s, VsH 200 m/s, spessore 10

9.2.7 RSL per il sito Grotta M6

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi al sondaggio P33S33.. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW M6 (in database denominata L14MASW14), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova HVSR H4 (in database denominata P43HVSR44).

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Soil Types

	Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	frana	18.50	Frana RER	Frana RER	
2	substrato alterato1	20.00	EPRI Rocks 21-50 feet	EPRI Rocks 21-50 feet	

Fig. 34 – Tipi di suolo del modello geofisico

Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	2.20	frana	175.00
2	2.20	7.15	frana	277.00
3	9.35	14.80	substrato alterato1	570.00
4	24.15	Half-Space	Bedrock	850.00

Fig. 35 – Modello geofisico

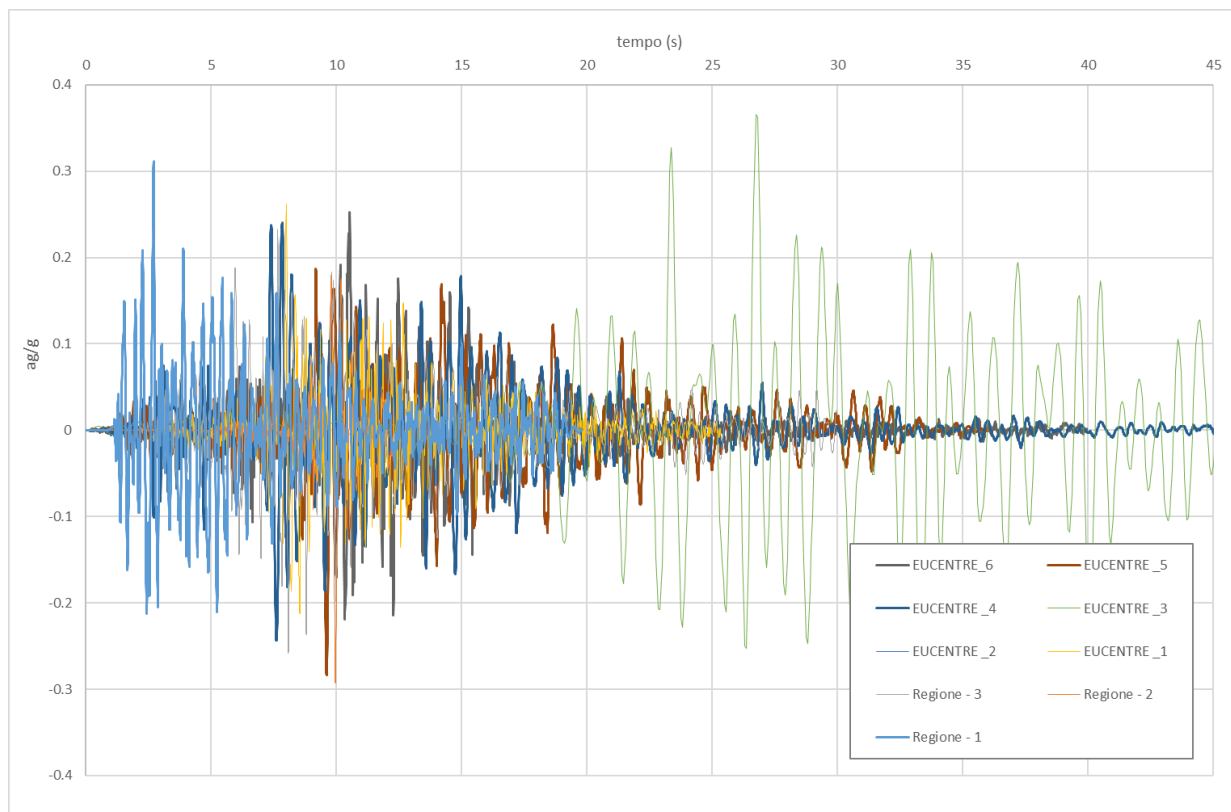


Fig. 36 - Output accelerogrammi

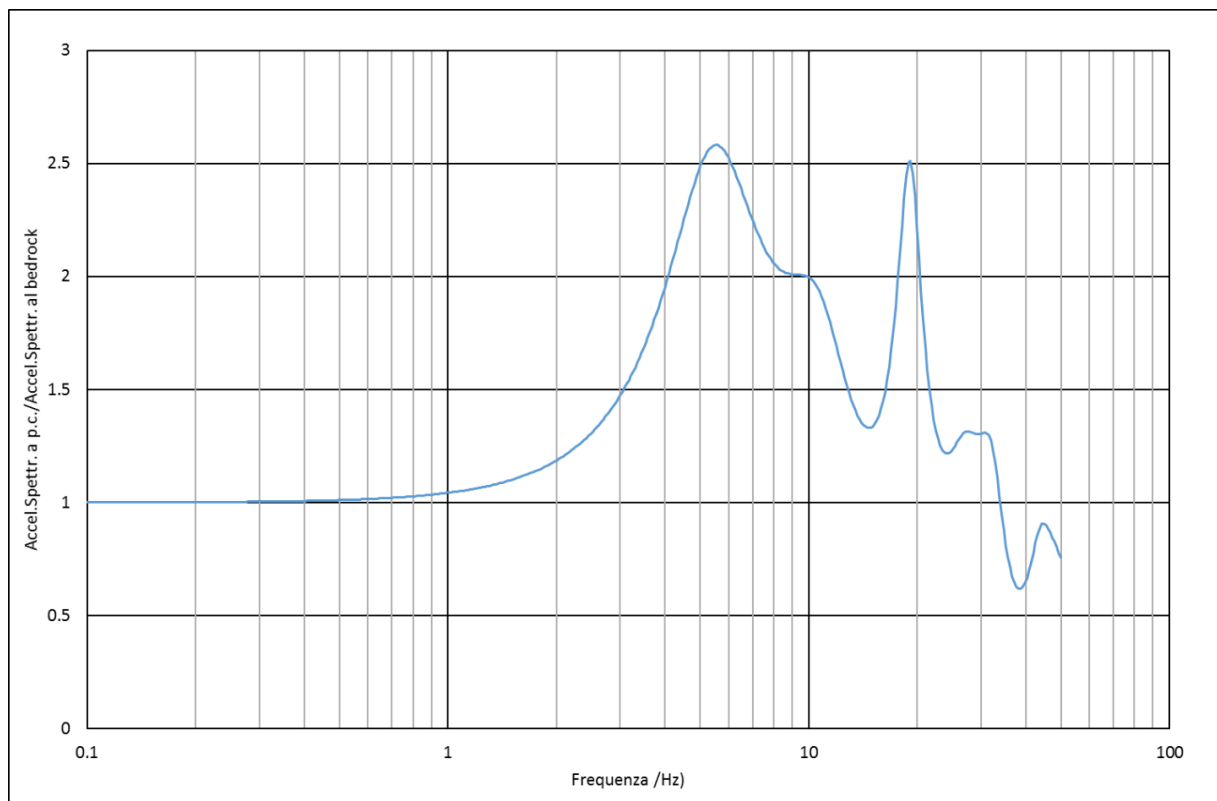



Fig. 37 - Funzione di trasferimento

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	65 di 95

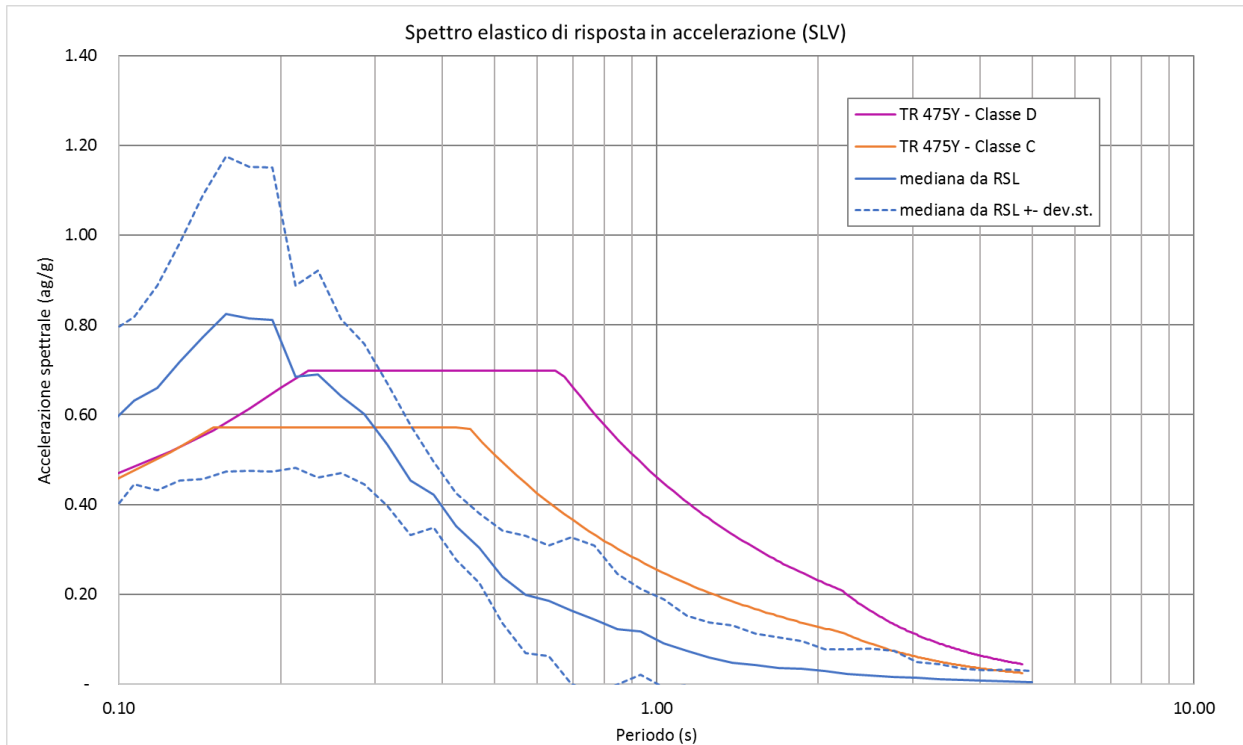


Fig. 38 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

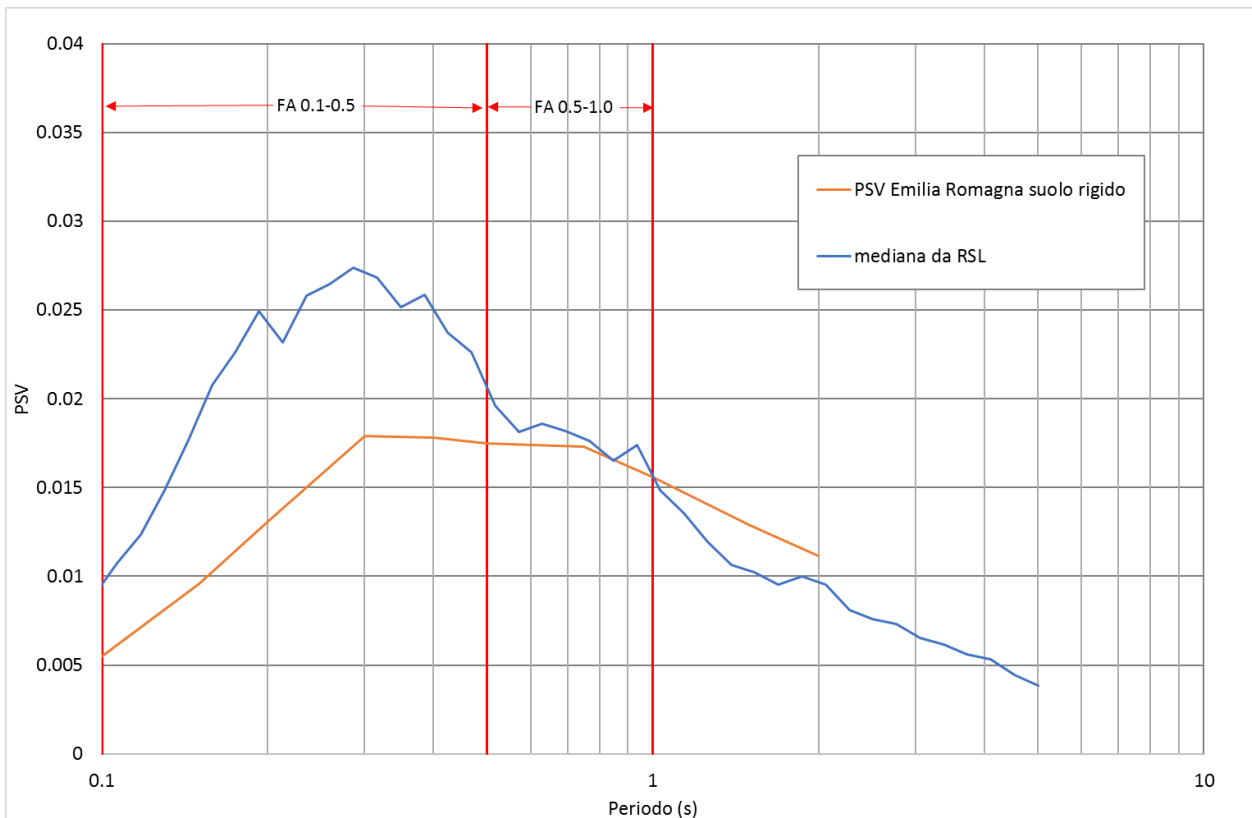



Fig. 39 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	66 di 95

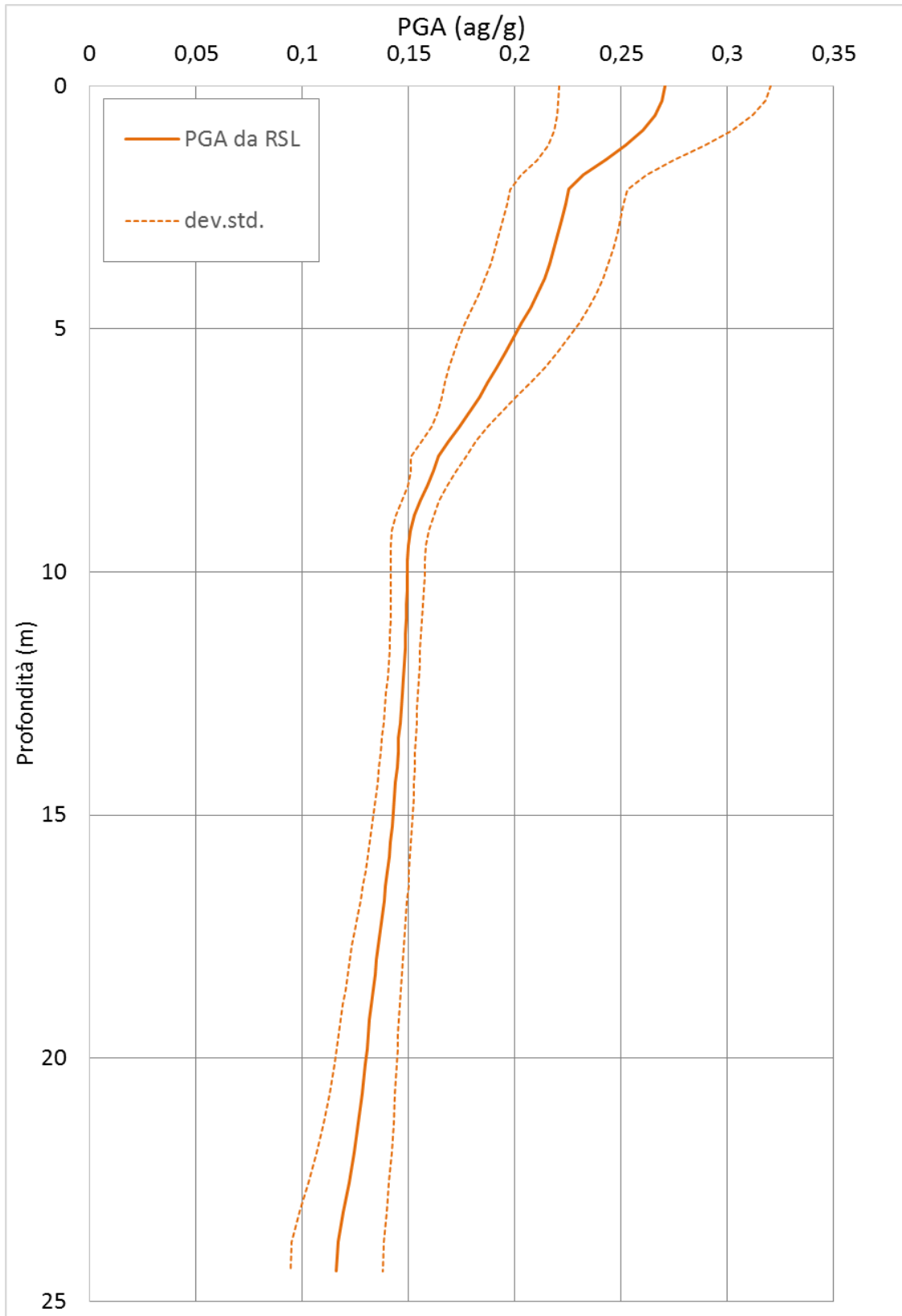


Fig. 40 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
FA_{PGA}	1.78	1.8* - 2.0**	1.47
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.55	1.7* - 1.9**	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.02	1.1* - 1.4**	

Tab. 10 – fattori di amplificazione

- * Tabella appennino, bedrock > 800 m/s, VsH 376 m/s, spessore 25
- ** Tabella appennino, bedrock << 800 m/s, VsH 245 m/s, spessore 10

9.2.8 RSL per il sito di Pellegrino SR1

Per il sito in questione non sono disponibili dati stratigrafici significativi. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla tomografia sismica SR1 (in database denominata L15SR15), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova P5HVSR5.

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Soil Types				
	Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G_max Model	Damping Model
1	Frana	18.00	Frana RER	Frana RER
2	Substrato alterato 1	20.00	EPRI Rocks 21-50 feet	EPRI Rocks 21-50 feet
3	Substrato alterato 2	20.00	EPRI Rocks 51-120 feet	EPRI (93), 50-120 ft

Fig. 41 – Tipi di suolo del modello geofisico

Site Profile				
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	1.50	Frana	180.00
2	1.50	2.40	Frana	220.00
3	3.90	3.20	Frana	280.00
4	7.10	13.00	Substrato alterato 1	370.00
5	20.10	14.00	Substrato alterato 2	500.00
6	34.10	Half-Space	Bedrock	800.00

Fig. 42 – Modello geofisico

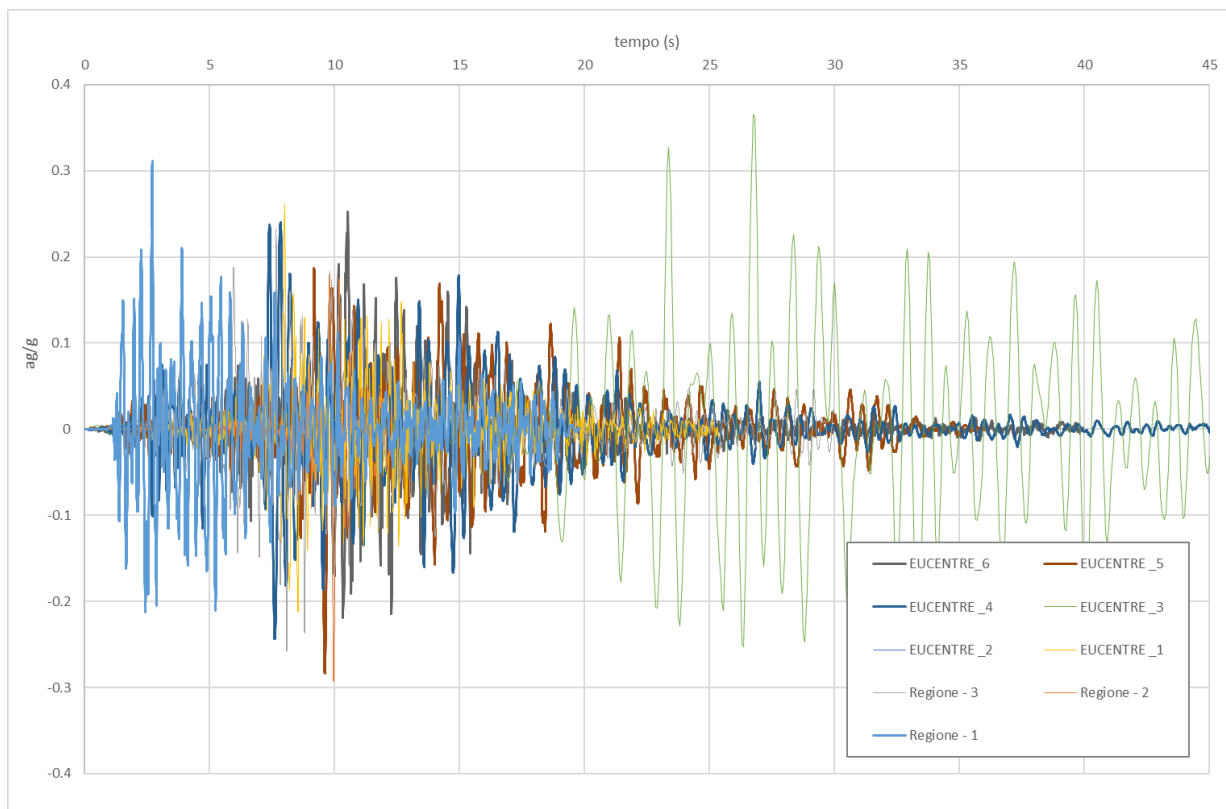


Fig. 43 - Output accelerogrammi

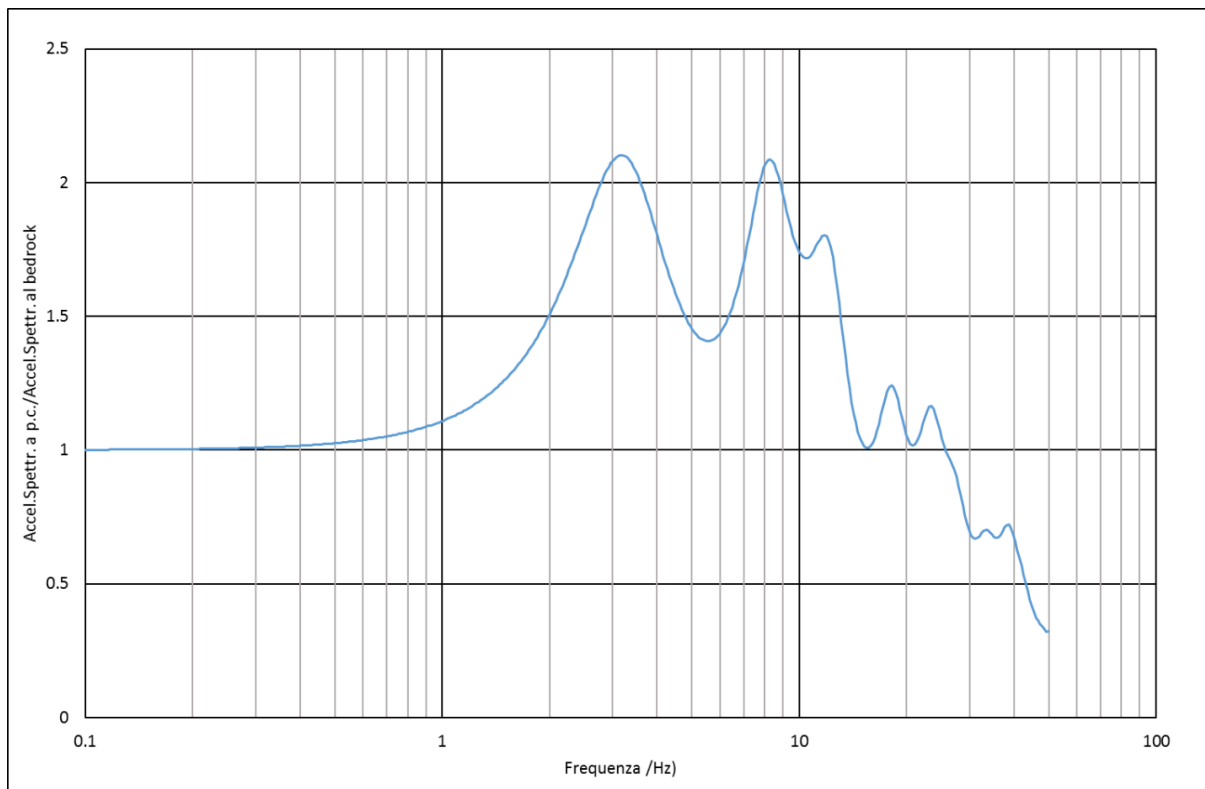


Fig. 44 - Funzione di trasferimento

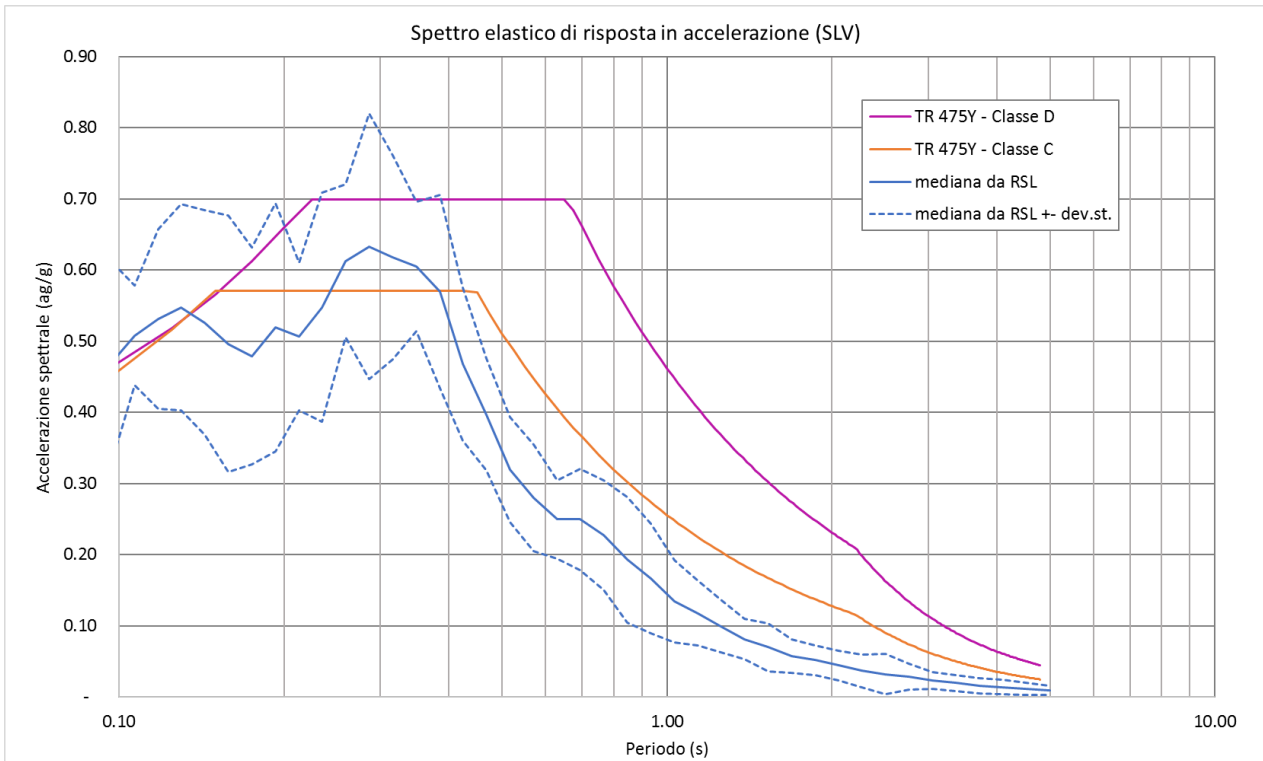


Fig. 45 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

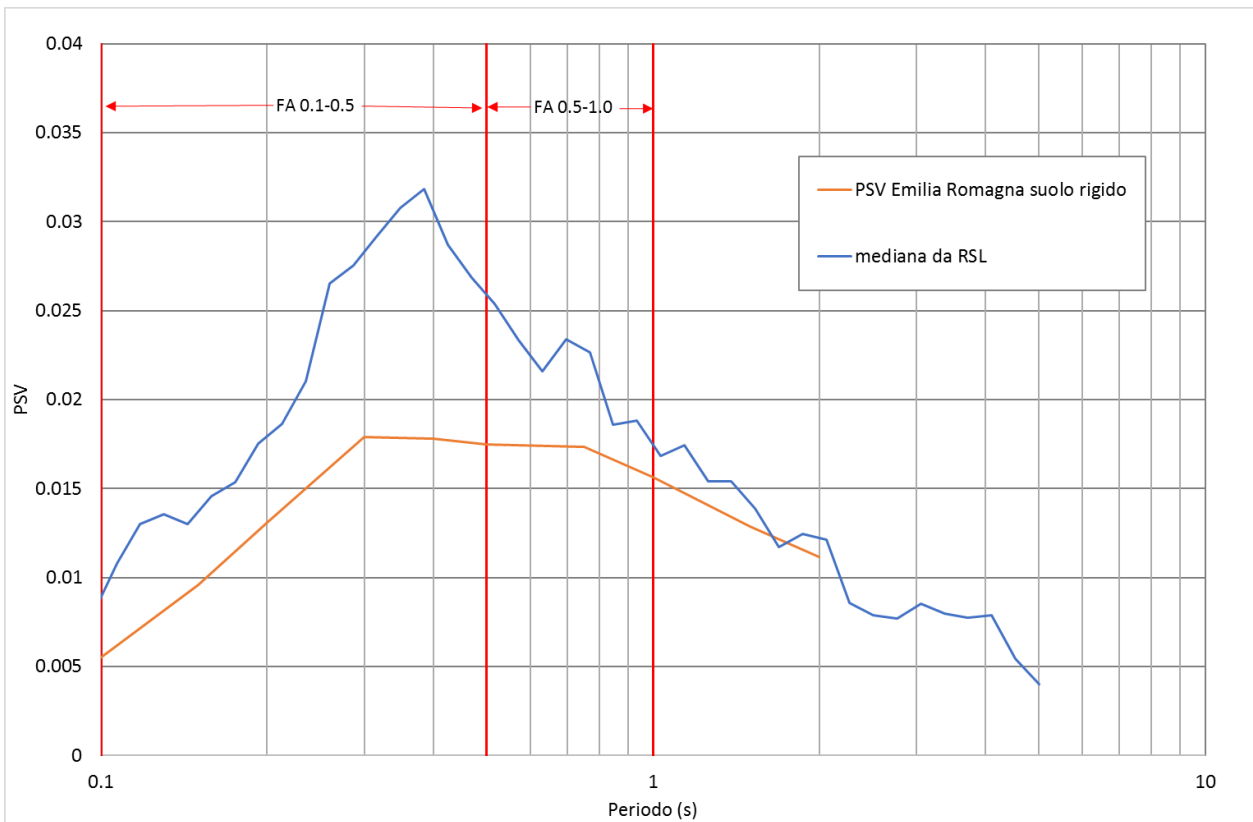


Fig. 46 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

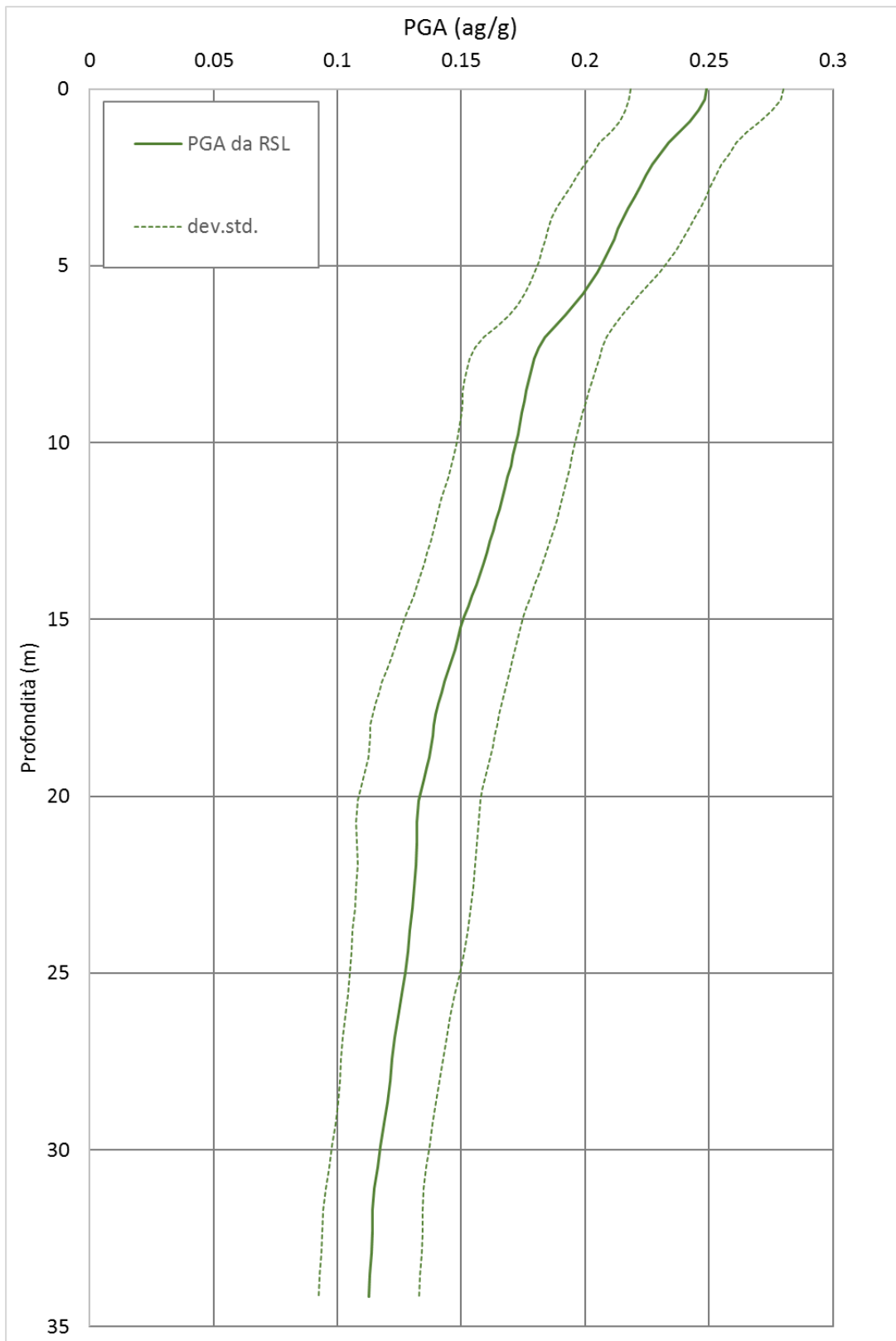


Fig. 47 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
FA_{PGA}	1.64	1.7* - 1.6**	1.47
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.58	2.0* - 1.5**	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.21	1.5* - 1.4**	

Tab. 11 – fattori di amplificazione

- * Tabella appennino, bedrock > 800 m/s, VsH 400 m/s, spessore 40
- ** Tabella appennino, bedrock < 800 m/s, VsH 240 m/s, spessore 7.2

9.2.9 RSL per il sito di Pellegrino M2

Per il sito in questione non sono disponibili dati stratigrafici significativi. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla MASW M2 (in database denominata L10MASW10), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova P2HVSR2.

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Soil Types					
+ Add Insert - Remove					
	Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	Alluvioni ghiaiose	19.00	Ghiaia 1 - Rollins	Ghiaia 1 - Rollins	
2	Substrato alterato 1	20.00	EPRI Rocks 0-20 feet	EPRI Rocks 0-20 feet	
3	Substrato alterato 2	20.00	EPRI Rocks 21-50 feet	EPRI (93), 20-50 ft	

Fig. 48 – Tipi di suolo del modello geofisico

Site Profile				
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	5.90	Alluvioni ghiaiose	150.00
2	5.90	2.00	Alluvioni ghiaiose	215.00
3	7.90	18.80	Substrato alterato 1	420.00
4	26.70	Half-Space	Bedrock	550.00

Fig. 49 – Modello geofisico

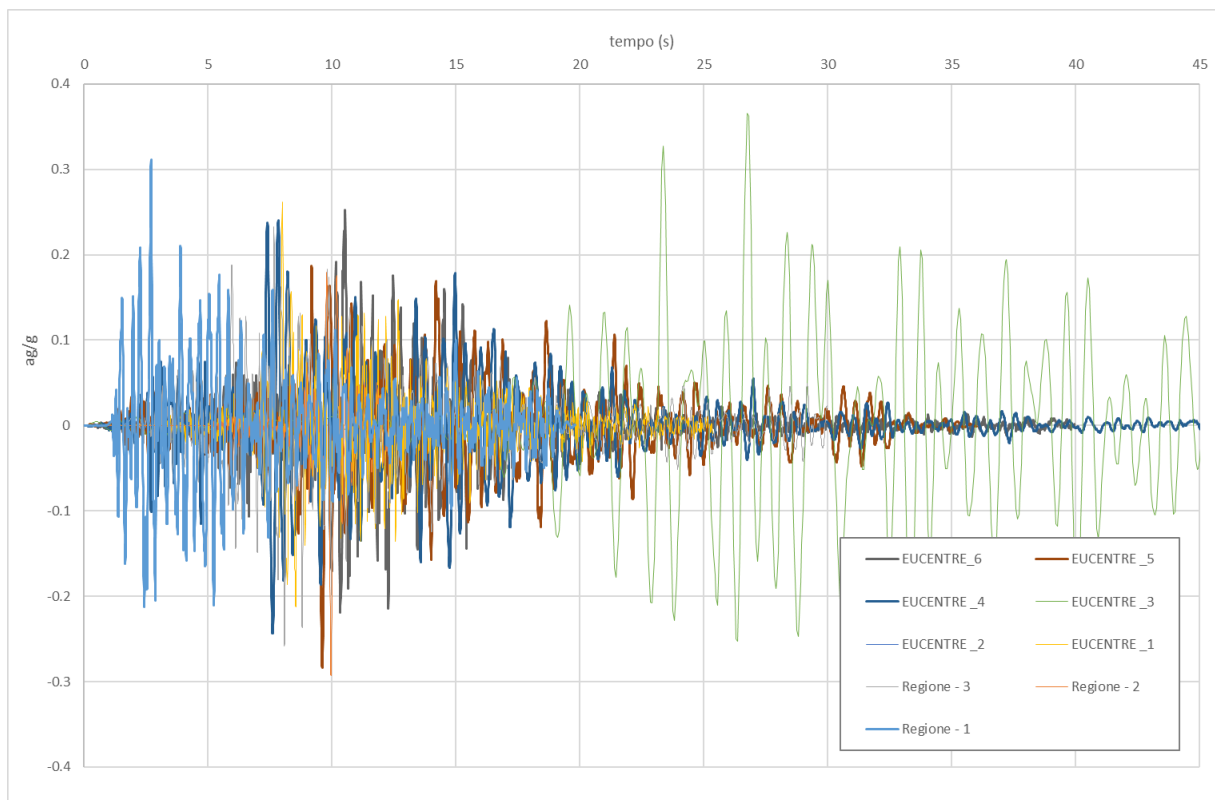


Fig. 50 - Output accelerogrammi

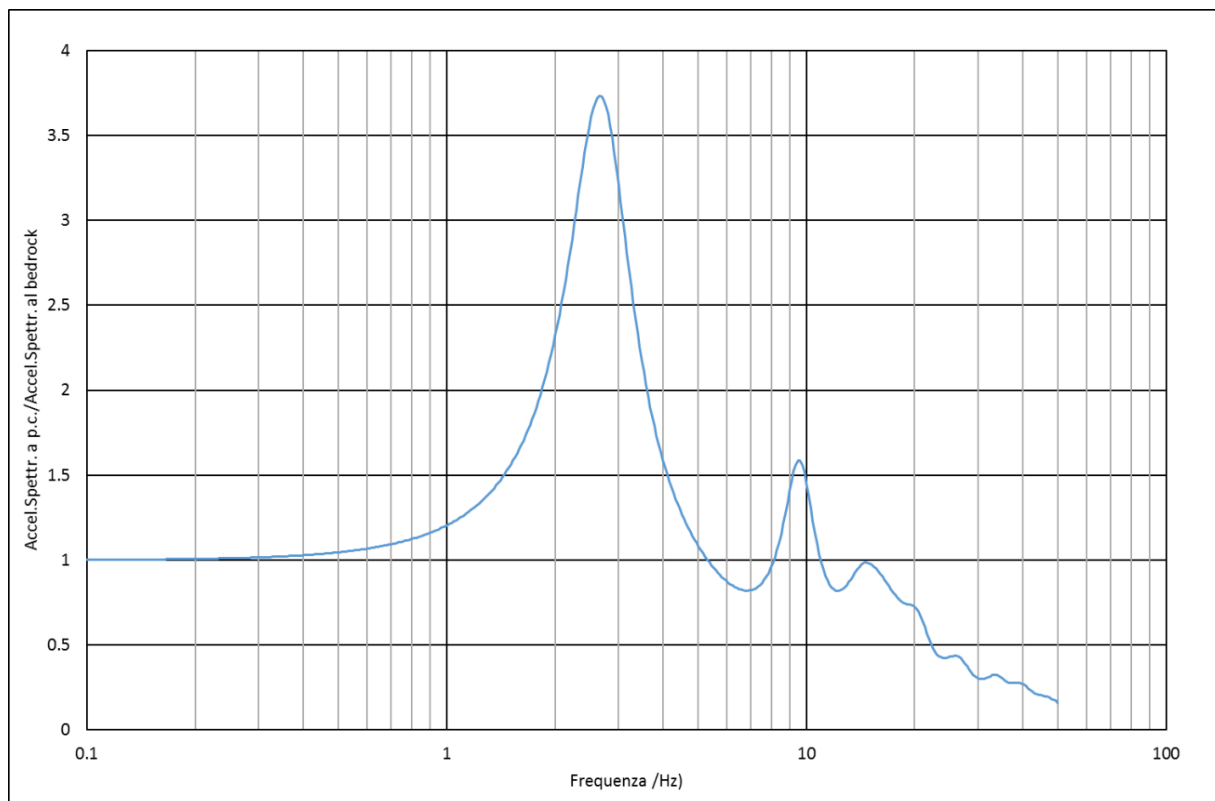


Fig. 51 - Funzione di trasferimento

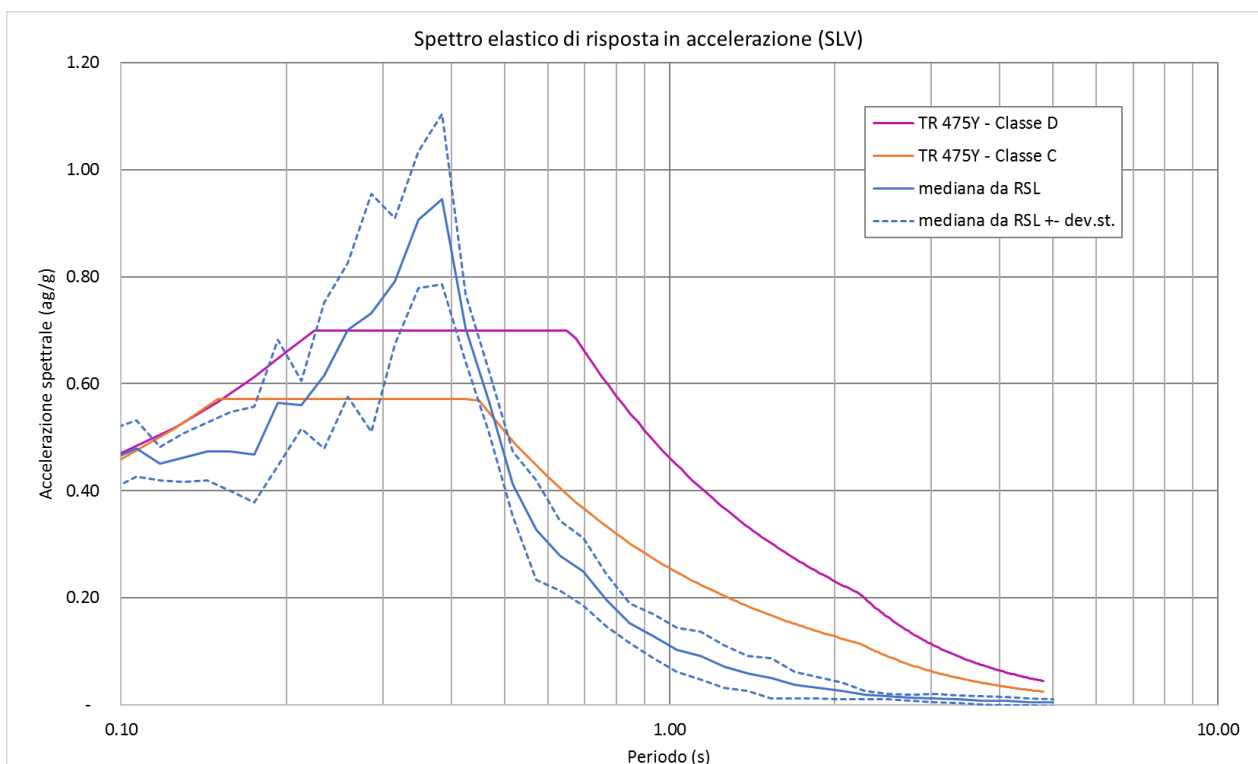


Fig. 52 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

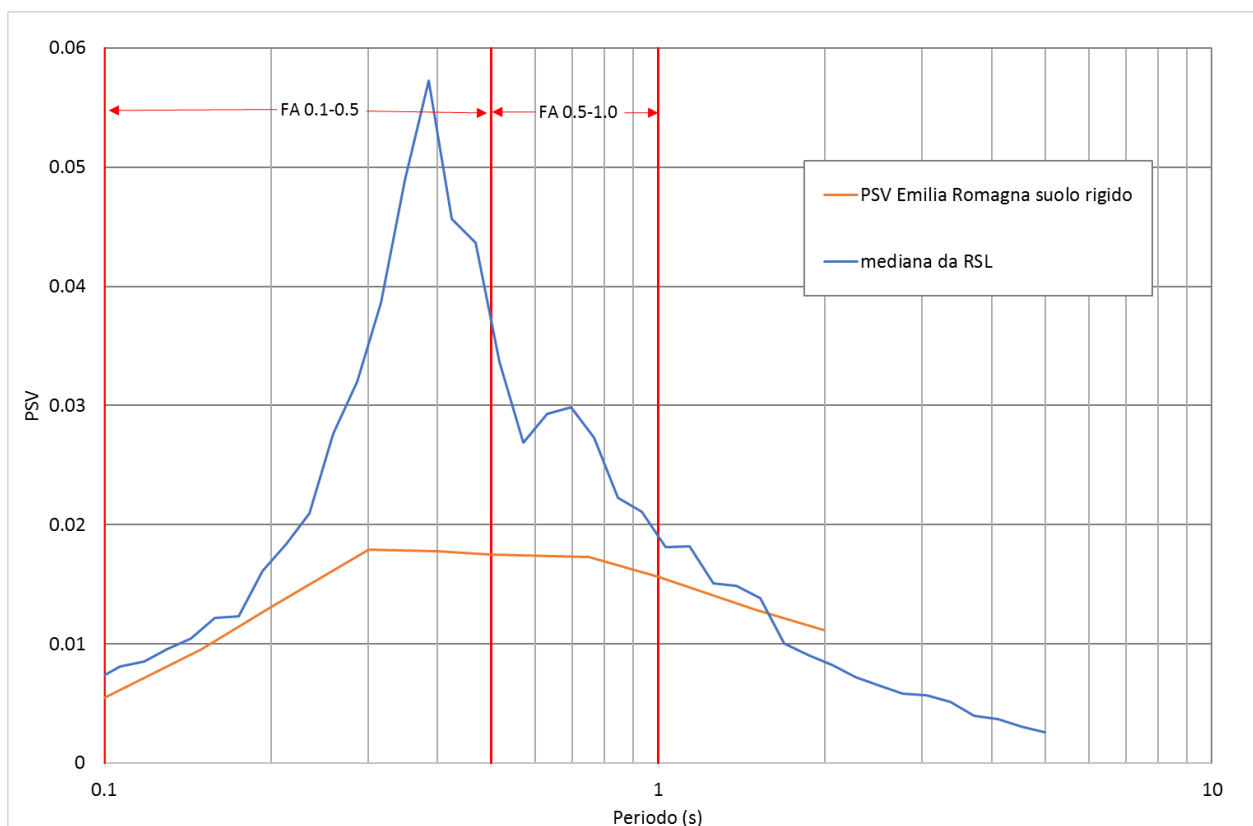


Fig. 53 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

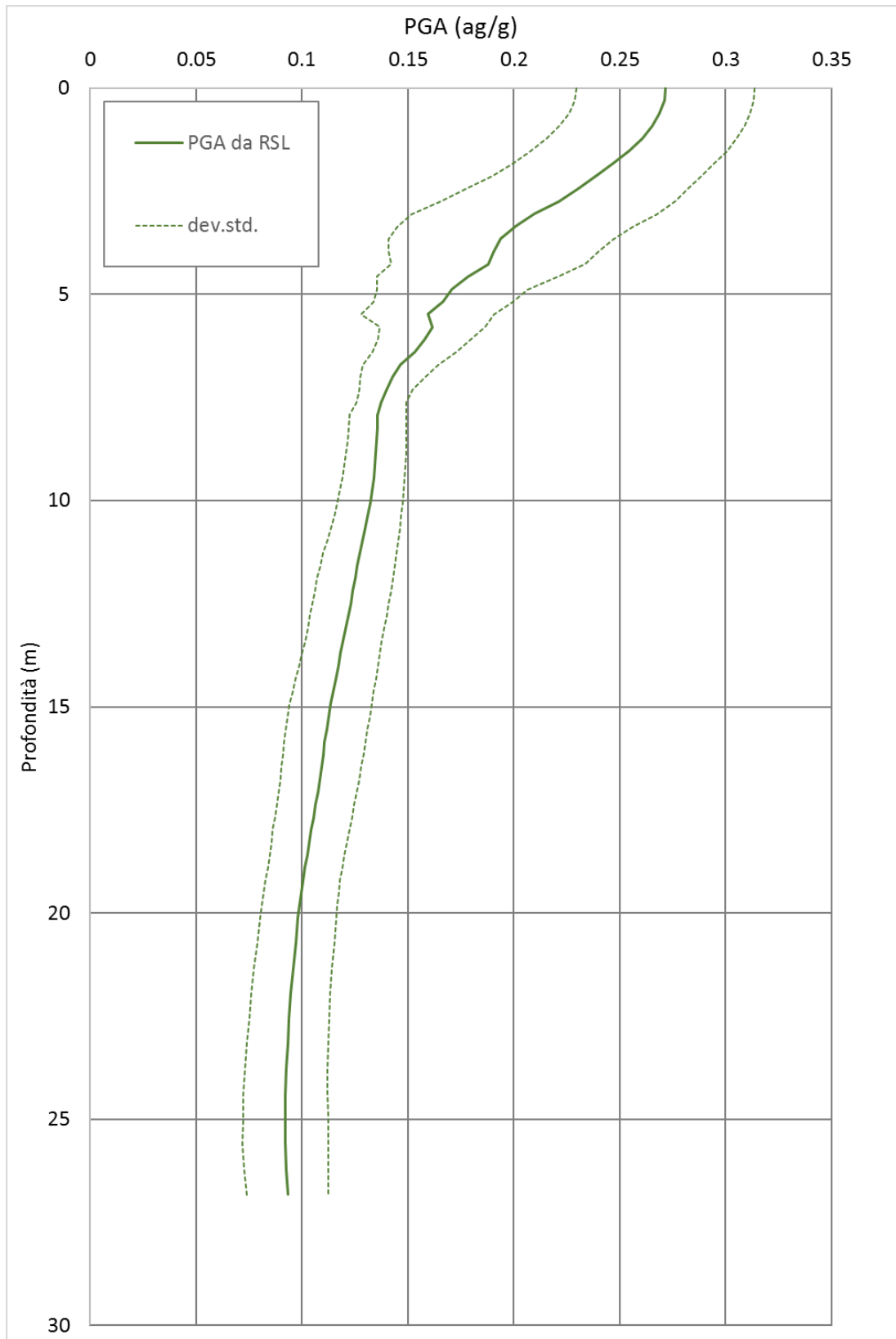



Fig. 54 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	75 di 95

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
FA_{PGA}	1.78	2.3*	1.47
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	2.01	2.3*	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.44	1.6*	

Tab. 12 – fattori di amplificazione

- * Tabella appennino, bedrock << 800 m/s, VsH 160 m/s, spessore 8 m

9.3 Stabilità di versante

9.3.1 Metodo di verifica

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo SLOPE della GEOSTRU. In particolare, in questa sede si è fatto riferimento al metodo di *Jambu*, che prevede l'utilizzo di superfici di scivolamento di forma qualsiasi.

Il metodo di *Jambu* è un semplice, ma accurato, metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_j agisce nel punto medio della base della striscia.


Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Il fattore di sicurezza risulta calcolato dalla seguente formula

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

in cui i diversi parametri assumono i significati descritti in Fig. 55.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	76 di 95

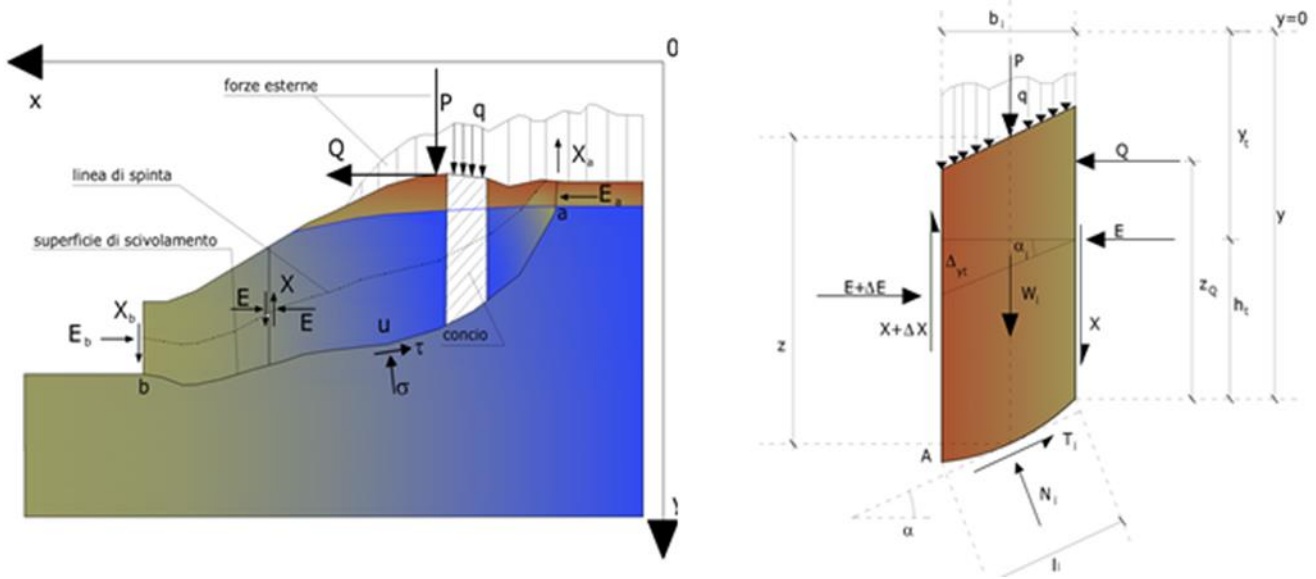


Fig. 55 - Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Janbu, inoltre, propone un metodo per la correzione del fattore di sicurezza che tiene conto della forma della frana e dei parametri geotecnici:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici (Fig. 56). Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

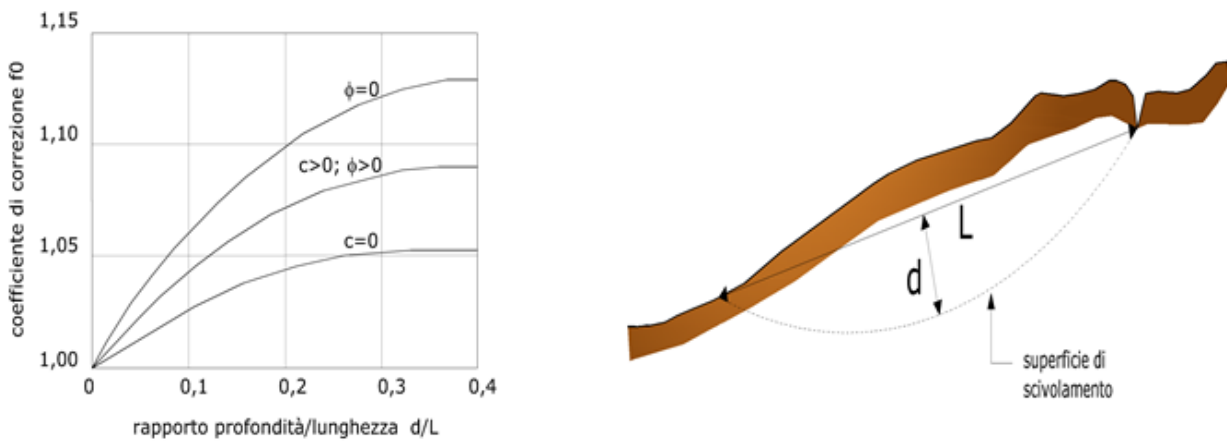



Fig. 56 - Correzione del fattore di sicurezza in funzione della forma della frana e dei parametri geotecnici

La stabilità nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico considerando un incremento della spinta a tergo del blocco dovuta all'accelerazione (verticale ed orizzontale) provocata dal sisma stesso. Tali valori

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	77 di 95

dell'accelerazione provocata dal sisma sono valutati come una frazione dell'accelerazione di gravità g e i coefficienti moltiplicatori di g (K_x e K_v) variano con le caratteristiche sismiche della zona. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono quindi considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro di ogni concio, W il peso del concio e K_x e K_y i coefficienti sismici orizzontale e verticale già introdotti in precedenza.

Gli effetti dello spostamento indotto dal sisma sono stati calcolati con il metodo di *Newmark*.

L'analisi alla *Newmark* è un metodo di analisi numerica utile alla definizione dello spostamento di una frana potenziale, considerata come un blocco rigido disposto su un pendio, imponendo le forze dinamiche (sisma) agenti sul blocco stesso. In sostanza il metodo valuta lo spostamento di un blocco di massa pari a quella del corpo in frana, sottoposto alla accelerazione indotta dal sisma (cfr. Fig. 57).

Una volta definita la superficie di scorrimento il programma utilizzato (QSIM della GEOSTRU) definisce l'accelerazione critica che determina il movimento del blocco equivalente al volume della frana e successivamente confronta tale valore con l'accelerogramma del sito per valutare per quanto tempo il blocco rimane in condizioni di accelerazione superiori a quella critica (cfr. Fig. 58).

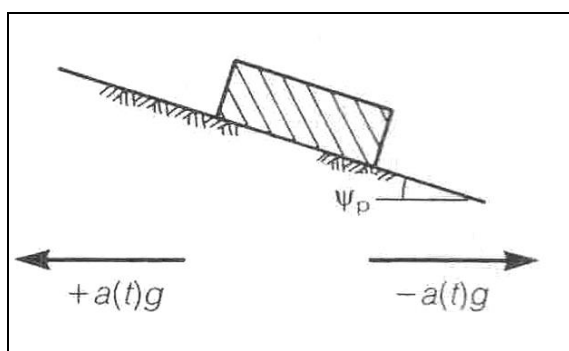



Fig. 57 - Schematizzazione del metodo di *Newmark*

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	78 di 95

Il calcolo degli spostamenti permanenti avviene attraverso la doppia integrazione (accelerazione >> velocità >> spostamento) delle porzioni dell'accelerogramma che supera il valore di accelerazione critica (al di sopra del quale si ha instabilità).

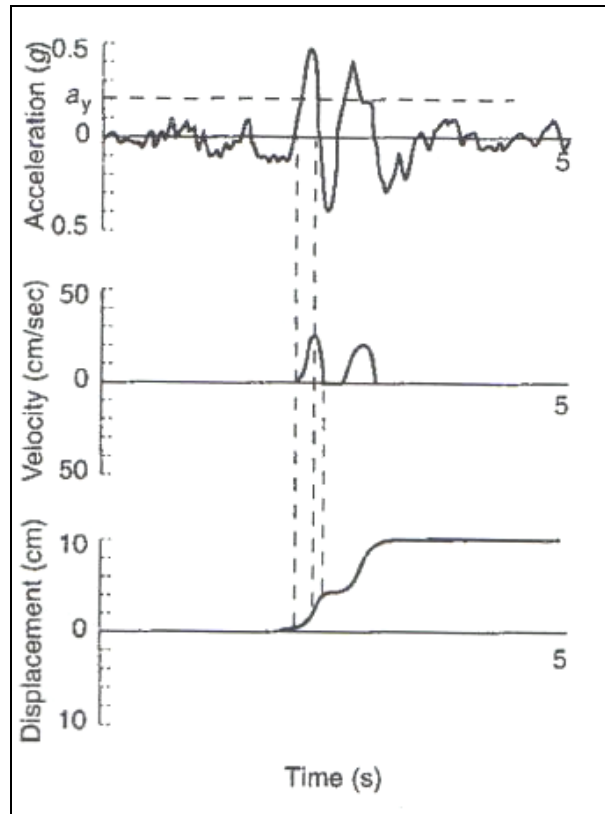



Fig. 58 - Esempificazione della metodologia di *Newmark*, con doppia integrazione dell'accelerogramma

In pratica il programma calcola lo spostamento massimo per ciascun accelerogramma considerato di riferimento, per la porzione di pendio di cui il metodo pseudostatico ha definito il fattore di sicurezza minimo.

A titolo esemplificativo in Fig. 59 si riporta il risultato di una verifica effettuata per la frana di Pellegrino Parmense ipotizzando un fattore di sicurezza $F_s = 1$

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	79 di 95

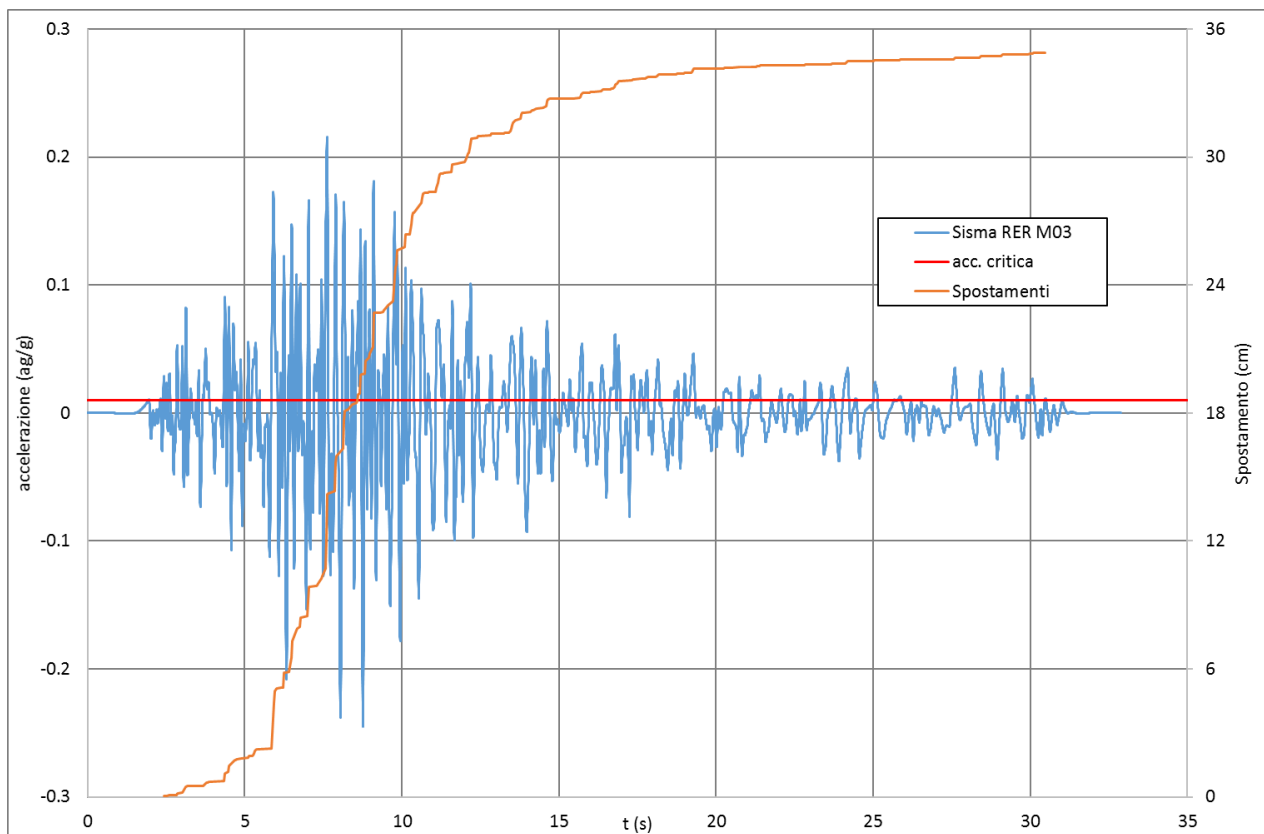


Fig. 59 – Risultati della verifica dello spostamento della frana di Pellegrino Parmense per con $F_s=1$ per il sisma RER M03


9.3.2 Le ipotesi verificate

Le verifiche sono state effettuate sulle zone di attenzione per instabilità di versante identificate nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica. Lo spessore dei corpi di frana e la posizione della superficie di scorrimento sono quelle descritte nel paragrafo 8.2. Si rimanda, invece al capitolo 6 per la descrizione delle incertezze relative a tali determinazioni.

Il numero e le dimensioni degli ammassi franosi non hanno consentito, anche in relazione ai fondi disponibili, di effettuare le indagini che l'Allegato 3 punto C) della DGR 2193/2015 indica come opportune per la verifica di stabilità in condizioni sismiche. In particolare non sono disponibili dati affidabili relativi ai parametri geotecnici dei materiali in frana.

Per questo motivo si è preferito procedere con una metodologia di verifica mediante *back analysis*: definita la superficie di scorrimento della frana si è effettuata una verifica in condizioni non sismiche che ha fornito le coppie dei parametri geotecnici ϕ' e c' che determinano un coefficiente di sicurezza $F_s=1$ (cfr. Fig. 60).

Considerato che si tratta, di frane quiescenti, il cui coefficiente di sicurezza non è noto, ma che deve risultare $F_s \geq 1$, si è quindi proceduto con successive verifiche,

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	80 di 95

aumentando progressivamente i parametri di resistenza al taglio ottenendo fattori di sicurezza crescenti.

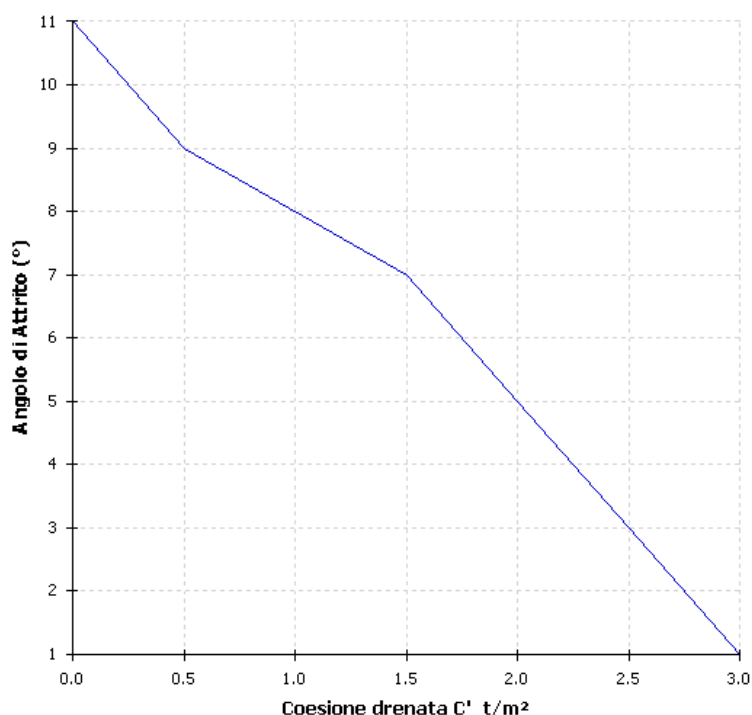


Fig. 60 – Esempio di *back analysis* per la frana di Pellegrino Parmense


Per ciascuna di queste verifiche è stata quindi calcolata l’accelerazione critica e successivamente è stata effettuata l’analisi dinamica.

La verifica dinamica è stata effettuata per i tre accelerogrammi forniti dalla regione Emilia Romagna, già descritti nel paragrafo 9.2.2, opportunamente scalati mediante i metodi della risposta sismica locale (accelerogrammi di output di Strata cfr. Cap. 9.2).

In questo modo, per ciascuna frana, si è ottenuta una tabella in cui vengono riportati gli spostamenti calcolati in funzione del coefficiente di sicurezza crescente (cfr. Tab. 13)

c _u	F _s	A _c	Sisma (RER)		
			M1	M2	M3
Kg/cm ²	-	a _g /g	cm	cm	cm
0.75	1	0.01	25.42	4.49	38.26
0.8	1.08	0.02	11.08	1.87	16.22
0.85	1.15	0.03	6.41	1.04	9.15
0.9	1.22	0.04	4.17	0.66	5.79
0.96	1.3	0.06	2.88	0.45	3.88
1.03	1.4	0.07	1.53	0.23	1.96

Tab. 13 – Tabella riassuntiva delle verifiche effettuate per la frana di Pellegrino Parmense

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	81 di 95

Nella Carta di microzonazione sismica che saranno descritte nel paragrafo 9.4 il valore di spostamento riportato di III livello è quello massimo registrato con $F_s=1$.

Di seguito si riportano in modo sintetico i risultati delle verifiche eseguite per le diverse aree di frana analizzate.

9.3.3 Frana di Pellegrino Parmense

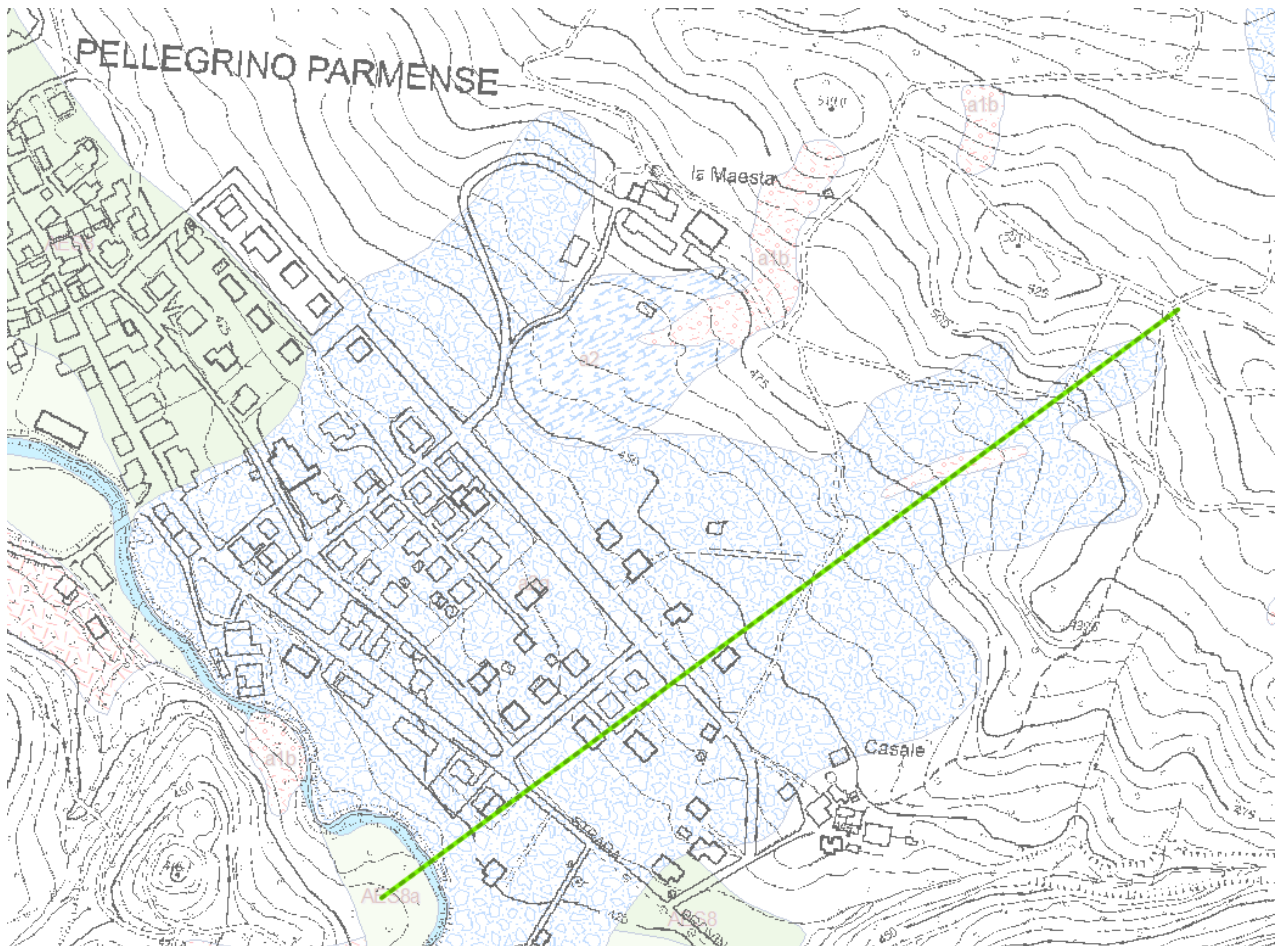


Fig. 61 - Ubicazione della sezione analizzata

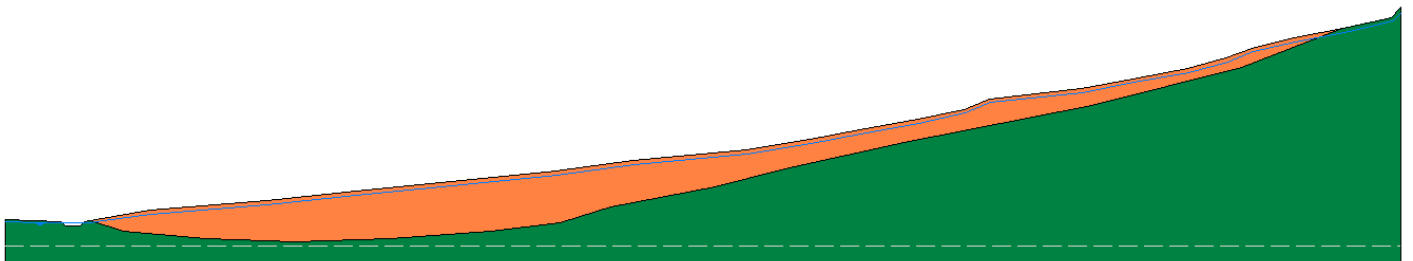



Fig. 62 - Sezione analizzata

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	82 di 95

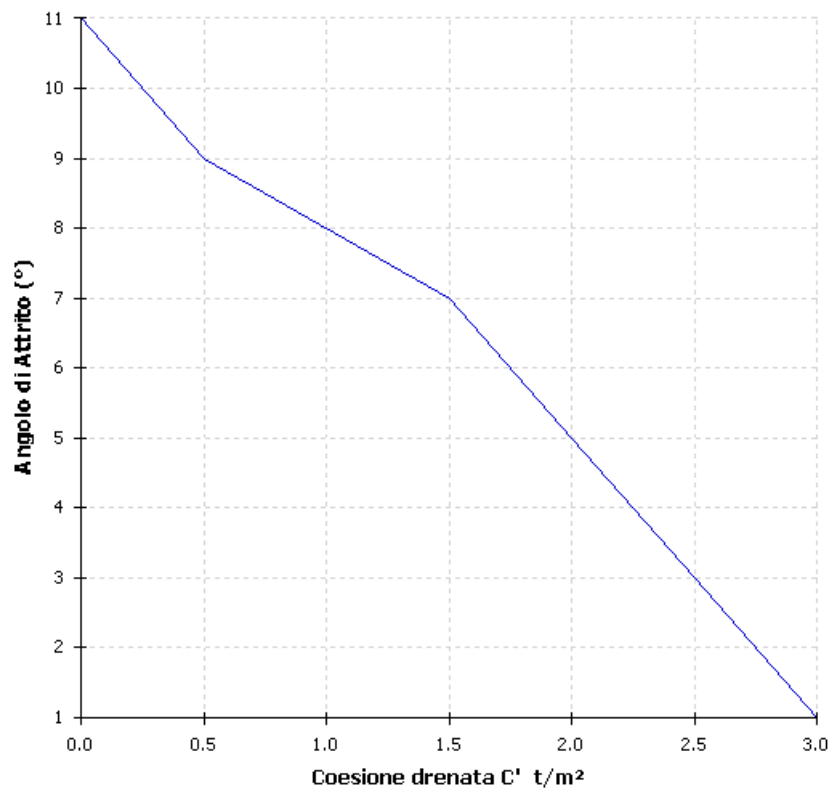


Fig. 63 - Back Analysis: grafico angolo di attrito - coesione drenata

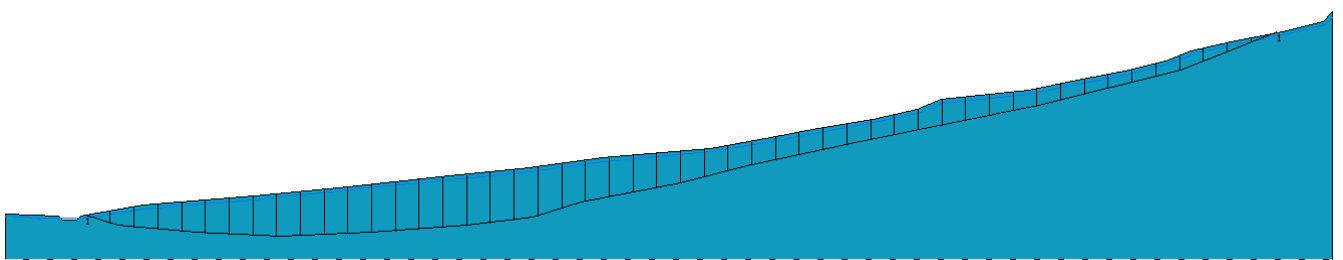



Fig. 64 - Sezione analizzata con suddivisione in conci del corpo di frana

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	83 di 95

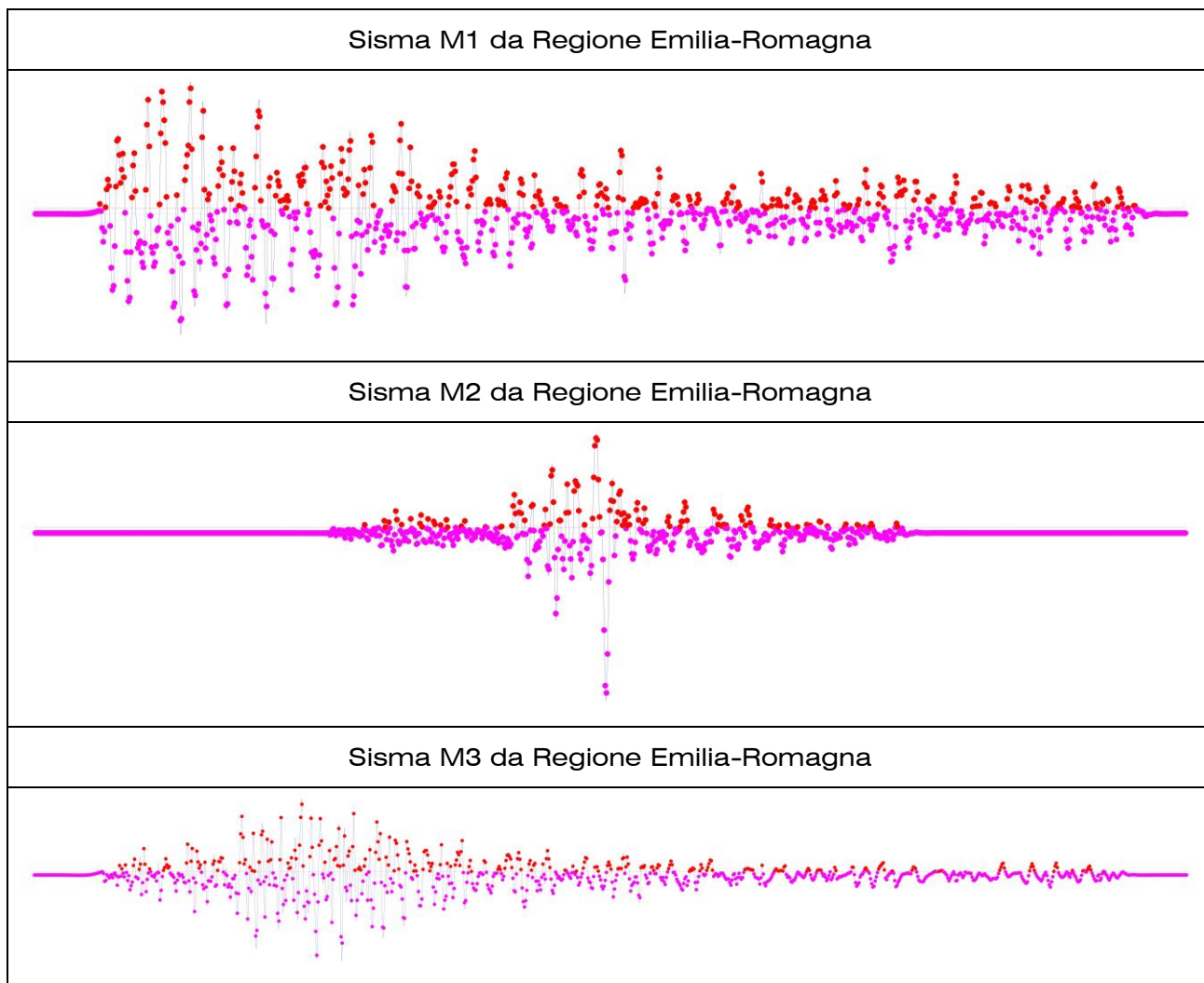



Fig. 65 - Analisi dinamica: accelerogrammi (in rosso i punti con accelerazione superiore all'accelerazione critica che determinano spostamento)

c _u	F _s	A _c	Sisma (RER)		
			M1	M2	M3
Kg/cm ²	-	a _g /g	cm	cm	cm
0.3	1	0.01	22.12	4.31	34.86
0.33	1.12	0.02	9.51	1.78	14.66
0.36	1.21	0.03	5.41	0.97	8.19
0.38	1.3	0.04	3.45	0.6	5.14
0.41	1.39	0.05	2.33	0.39	3.45
0.3	1	0.01	22.12	4.31	34.86

Tab. 14 - Analisi dinamica: tabella riassuntiva

 ENGEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	84 di 95

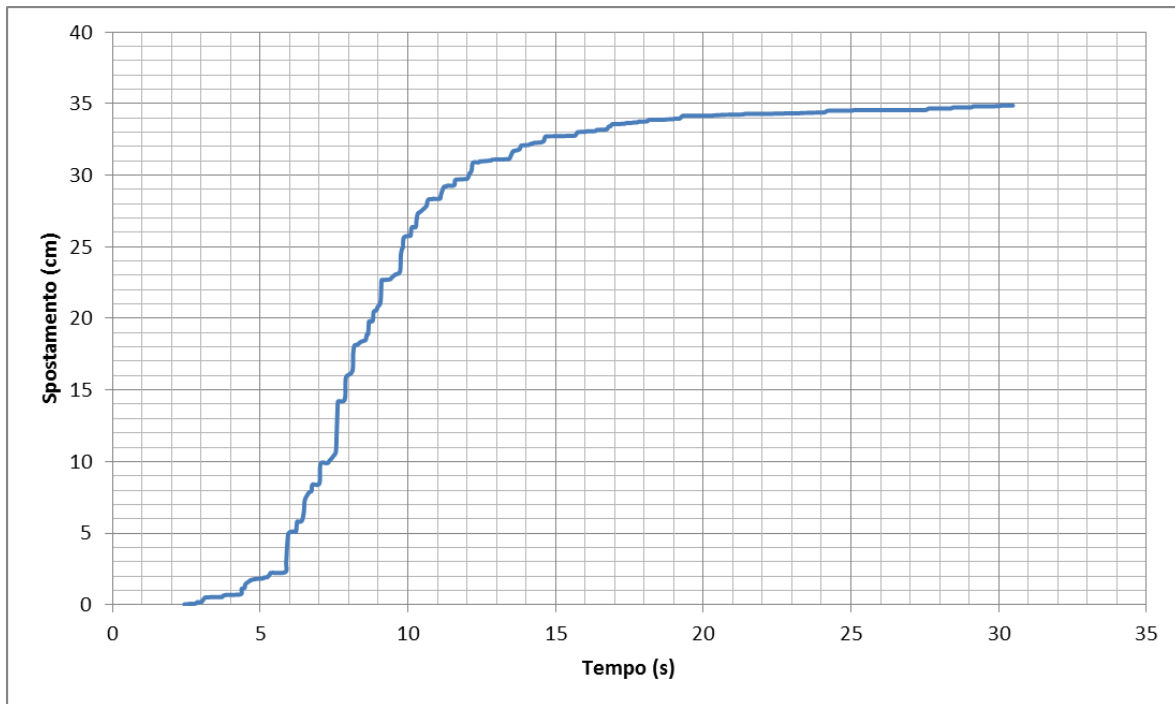


Fig. 66 – Analisi dinamica: grafico tempo – spostamento per il caso più critico

9.3.4 Frana di Grotta

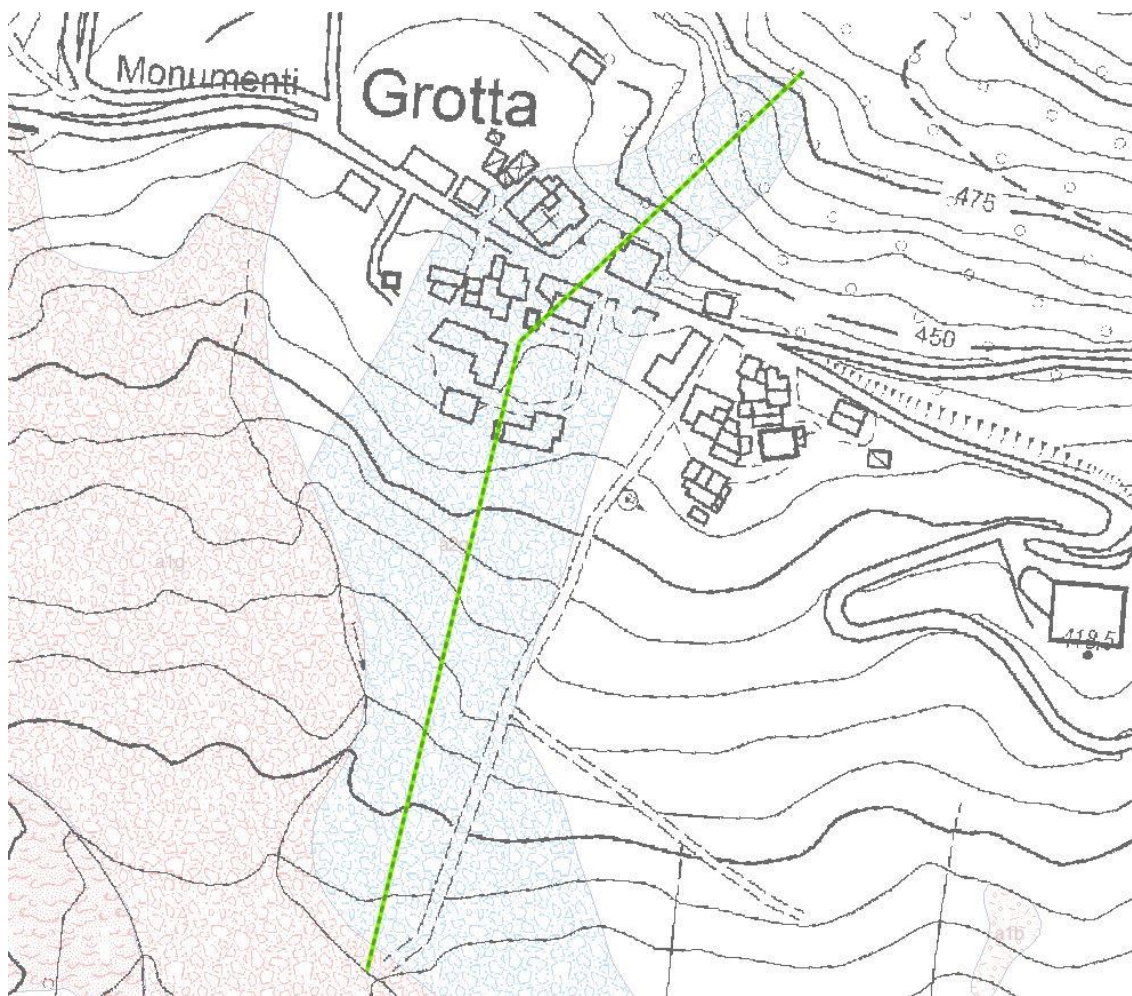


Fig. 67 - Ubicazione della sezione analizzata

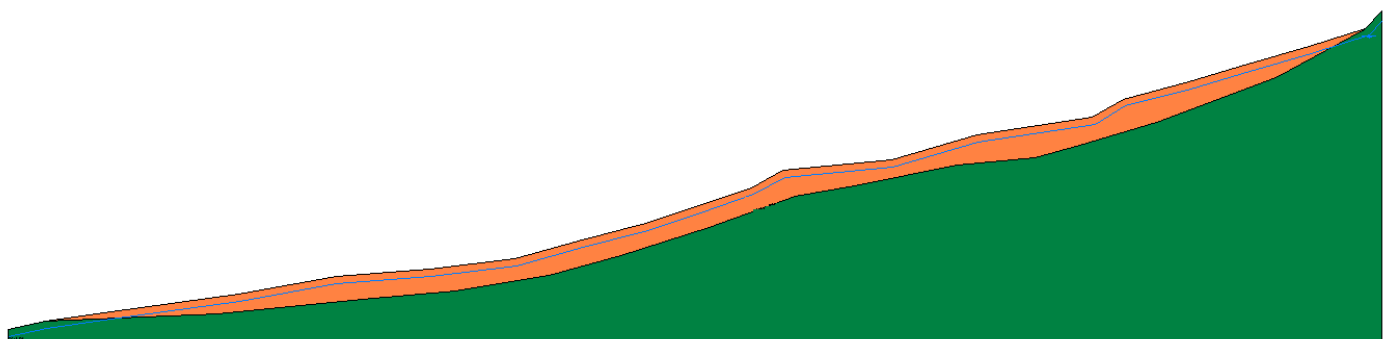



Fig. 68 - Sezione analizzata

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	86 di 95

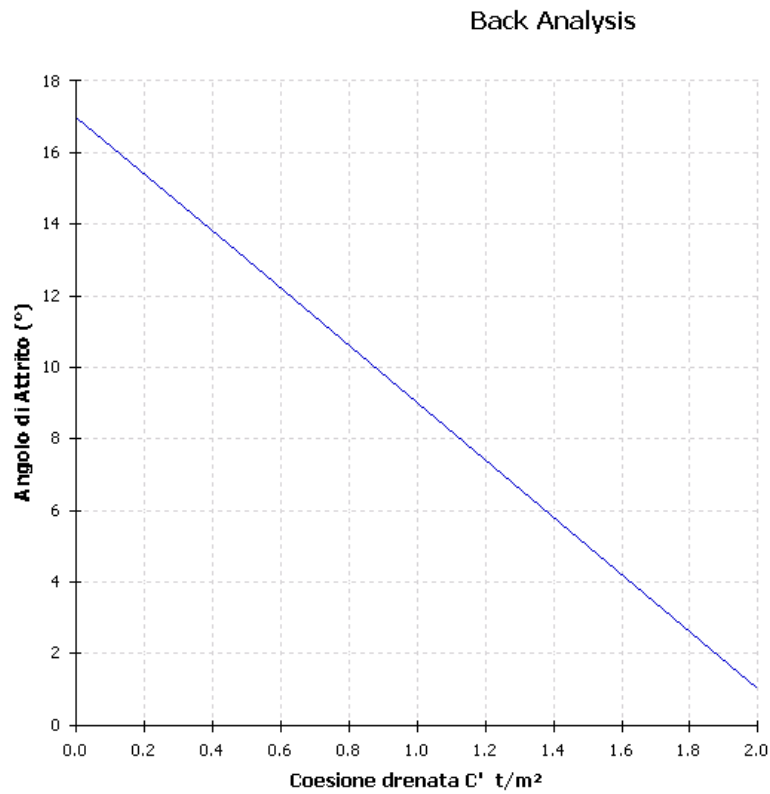


Fig. 69 - Back Analysis: grafico angolo di attrito - coesione drenata

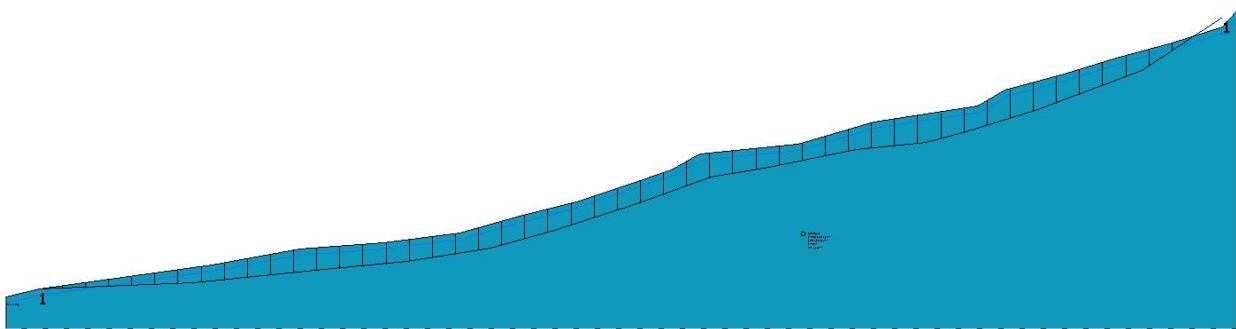



Fig. 70 - Sezione analizzata con suddivisione in conci del corpo di frana

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	87 di 95

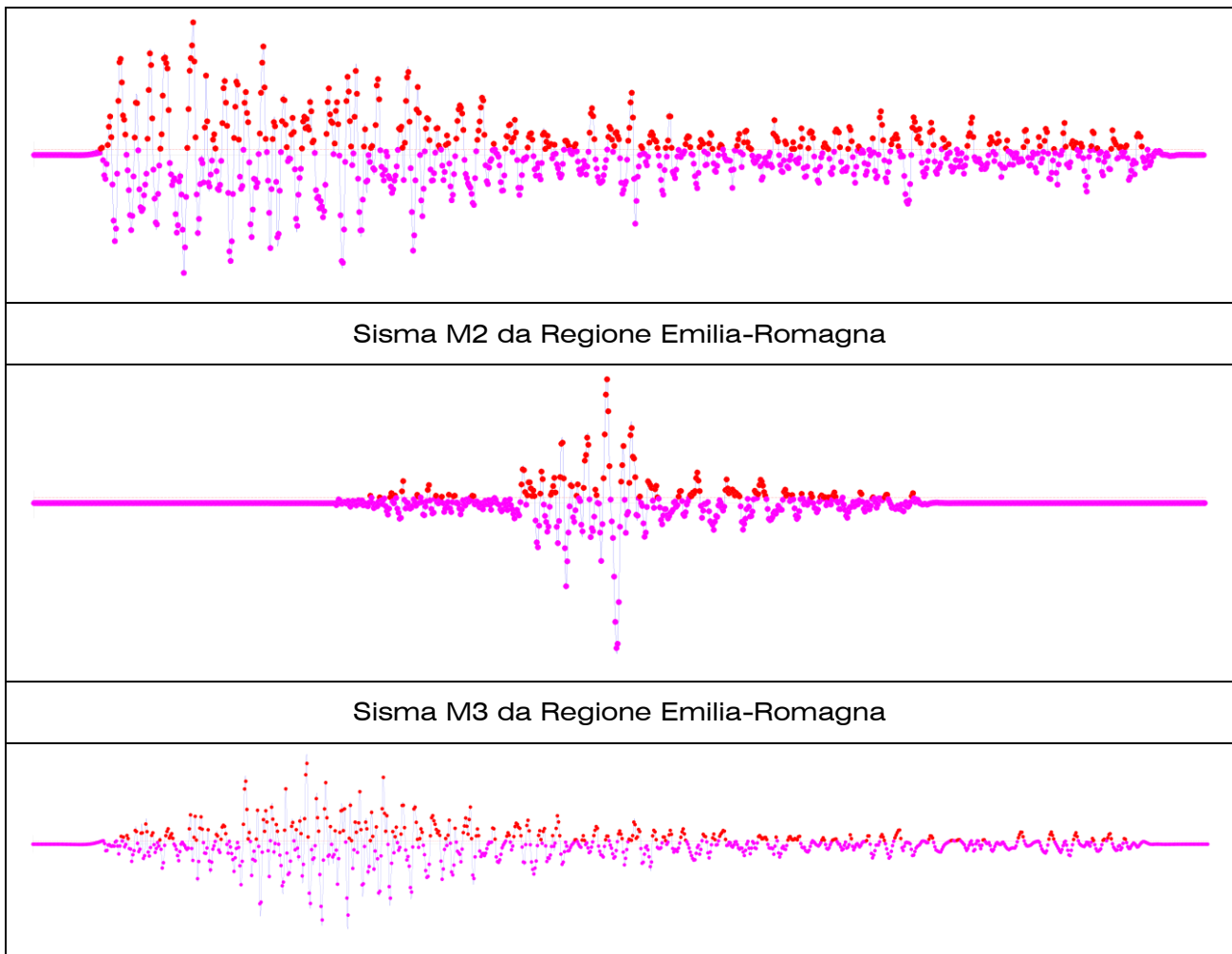


Fig. 71 - Analisi dinamica: accelerogrammi (in rosso i punti con accelerazione superiore all'accelerazione critica che determinano spostamento)

Cu	Fs	Ac	Sisma (RER)		
			M1	M2	M3
Kg/cm ²	-	a _g /g	cm	cm	cm
0.2	1	0.01	22.76	5.31	36.05
0.22	1.07	0.02	9.82	2.26	15.13
0.25	1.2	0.05	2.41	0.58	3.51
0.28	1.33	0.07	1.21	0.30	1.74
0.3	1.4	0.09	0.64	0.17	0.93
0.2	1	0.01	22.76	5.31	36.05
0.22	1.07	0.02	9.82	2.26	15.13
0.25	1.2	0.05	2.41	0.58	3.51

Tab. 15 - Analisi dinamica: tabella riassuntiva

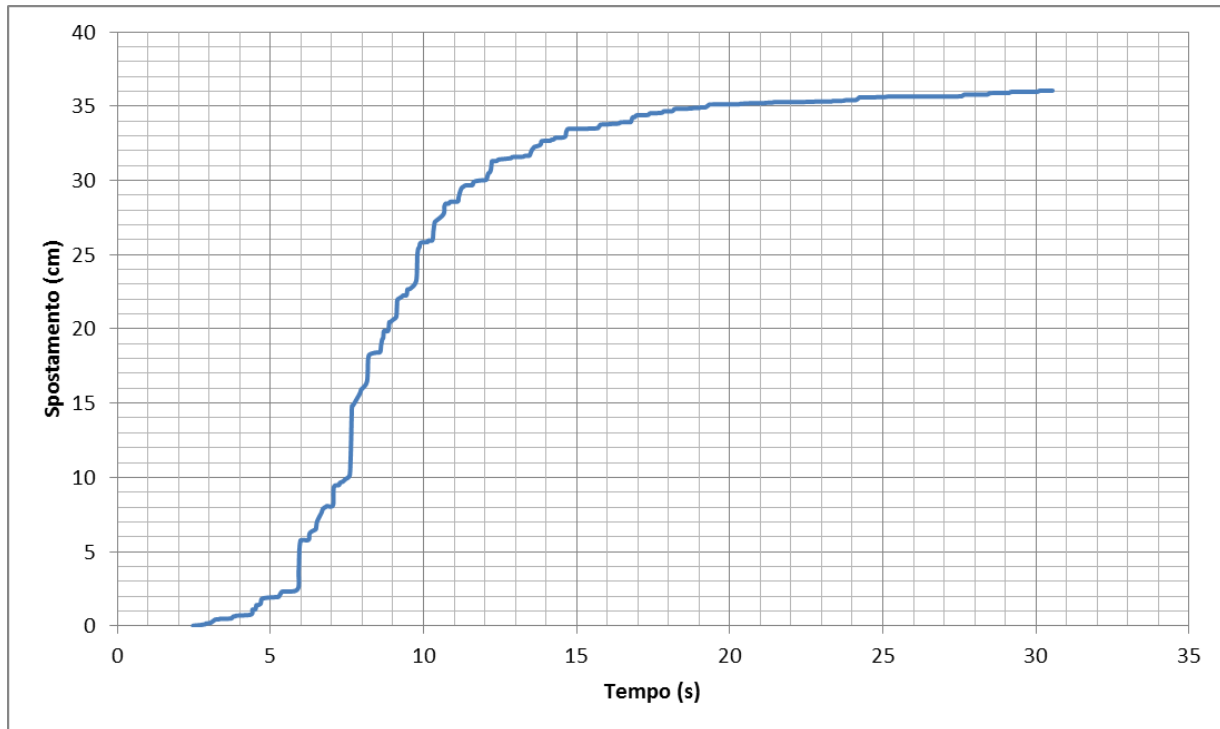


Fig. 72 - Analisi dinamica: grafico tempo - spostamento per il caso più critico

9.4 Carte di microzonazione sismica

Gli ultimi elaborati grafici del presente studio sono le Carte di microzonazione sismica, anch’esse redatte alla scala 1:5.000, in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate e le zone suscettibili di instabilità, per i due settori di territorio in esame.

L’amplificazione è stata calcolata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di Intensità di *Housner* (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi.

In generale, sono stati attribuiti a ciascuna microzona omogenea i fattori desunti con l’analisi approfondita di terzo livello descritta nel paragrafo 9.2, inserendo all’interno del database i vari spettri rappresentativi, in accelerazione e in velocità.

Solo per la Zona 1 (Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m), la Zona 2 (Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da detrito di versante, a granulometria prevalentemente argillosa, di spessore medio pari a 5 m) e la Zona 5 (Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da depositi di frana di spessore medio inferiore a 3,00 m), tutte di

modeste dimensioni, la stima per dell'amplificazione stratigrafica è stata effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi).

In questi casi, il calcolo dei singoli fattori di amplificazione è stato effettuato considerando:

- per la zona 1 e la zona 5, substrato marino non rigido affiorante con V_{S30} pari a 350 m/s
- per la zona 2, substrato marino non rigido a profondità (H) di 5 m e V_{SH} pari a 250 m/s

Quanto alle Zone 7, 8, 9 e 10 sono stati attribuiti gli stessi fattori di amplificazione, determinati con l'analisi di RSL per il sito di Pellegrino SR1, in considerazione del fatto che presentano analoga successione stratigrafica, se non si tiene in considerazione la tipologia di movimento gravitativo che caratterizza i primi 20-30 m di sottosuolo.

Conseguentemente, agli areali oggetto di microzonazione sono stati attribuiti i valori riportati nella seguente tabella (Tab. 16):

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10
F.A. P.G.A.	1,6	1,6	1,78	1,78	1,6	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
F.A. Is (0.1s<T₀<0.5s)	1,6	1,5	1,55	2,01	1,6	1,73	1,58	1,58	1,58	1,58
F.A. Is (0.5s<T₀<1.0s)	1,4	1,4	1,02	1,44	1,4	1,28	1,21	1,21	1,21	1,21

Tab. 16 - Valori dei fattori di amplificazione sismica

Fig. 73 - Calcolo del fattore di amplificazione topografica secondo gli indirizzi regionali

I fattori di amplificazione calcolati come sopradescritto sono stati rappresentati nelle Carte di microzonazione sismica, effettuando gli accorpamenti indicati dagli SRAI e riportati nella seguente figura.







	1.0
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0

Fig. 74 - Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Nelle stesse carte sono state raffigurate anche le zone suscettibili di instabilità di versante indicando il parametro che quantifica tali fenomeni: ovvero, il massimo movimento (FRT, in centimetri). Questo è stato assunto, cautelativamente, uguale al massimo tra i valori calcolati come descritto nel paragrafo 9.3 (quindi, considerando un fattore di sicurezza uguale a 1 e il sismogramma RER M3).


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	91 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

10. CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI


In Comune di Pellegrino Parmense, non è stato possibile effettuare un'analisi della distribuzione dei danni degli eventi sismici avvenuti in passato, in quanto, relativamente a tale tematica, non sono stati trovati documenti specifici.

A riguardo, non è stata utile neppure la consultazione di DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano, poiché, in esso, l'unica località considerata ricadente all'interno del territorio comunale è il Capoluogo.

 ENGEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	92 di 95


11. 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 Tinto A. (201). UNIONE TERRE DI CASTELLI: VALIDAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (2010) - 29° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato.
- Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.
- 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
- 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). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>
- Madaia 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, Tinto A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA" (2009)
- 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 dalla Protezione Civile
- 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.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	93 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- 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
- CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. SEZIONE 198040 “GROTTA” E SEZIONE 198080 “PELLEGRINO PARMENSE”, alla scala 1:10.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – Scala 1:250.000 (2004) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Firenze
- 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
- 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
- NUOVA CARTA DEL DISSESTO DELLA PROVINCIA DI PARMA. SEZIONE 198040 “GROTTA” E SEZIONE 198080 “PELLEGRINO PARMENSE”, alla scala 1:10.000. Servizio di Programmazione e Pianificazione Territoriale della Provincia di Parma
- 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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	94 di 95

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI PELLEGRINO PARMENSE Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento


12. ALLEGATI

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

Elaborato 1	Carta delle indagini	scala 1:5.000
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 microzone omogenee in prospettiva sismica	scala 1:5.000
Elaborato 5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s)	scala 1:5.000
Elaborato 6.a	Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA}	scala 1:5.000
Elaborato 6.b	Carta di microzonazione sismica - $FA_{IS\ 0,1-0,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.c	Carta di microzonazione sismica - $FA_{IS\ 0,5-1,0\ s}$	scala 1:5.000

Inoltre, alla presente relazione, sono allegati:

Elaborato 7	Prove MASW
Elaborato 8	Tomografie sismiche in onde P e onde S
Elaborato 9	Prove tomografiche

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	95 di 95