



**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 Compiano




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

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI COMPIANO</b> 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 .....	14
3.	Assetto geologico e geomorfologico dell'area .....	17
3.1	Geologia .....	17
3.2	Geomorfologia .....	21
4.	Dati geotecnici e geofisici .....	25
5.	Modello del sottosuolo .....	29
6.	Interpretazioni e incertezze .....	31
7.	Metodologie di elaborazione e risultati .....	35
8.	Elaborati cartografici di primo e secondo livello .....	37
8.1	Carta delle indagini .....	37
8.1.1	Abitato di Compiano .....	38
8.1.2	Abitato di Sugremaro .....	38
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica .....	38
8.2.1	Abitato di Compiano .....	39
8.2.2	Abitato di Sugremaro .....	40
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni .....	42
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica .....	43
8.5	Carte delle velocità delle onde di taglio S .....	46
8.5.1	Abitato di Compiano .....	47
8.5.2	Abitato di Sugremaro .....	48
9.	Approfondimenti di terzo livello .....	49
9.1	Area considerata .....	49
9.2	Risposta sismica locale .....	50
9.2.1	Pericolosità sismica di base .....	50
9.2.2	Segnali in input .....	51
9.2.3	Modello geofisico del sottosuolo .....	53
9.2.4	Codice di calcolo per la valutazione della RSL .....	54
9.2.5	Risultati della modellazione numerica .....	55
9.2.6	RSL per il sito di Sugremaro CC_01 .....	56
9.2.7	RSL per il sito di Sugremaro CC_05 .....	60
9.2.8	RSL per il sito di Sugremaro CC_07 .....	64
9.2.9	RSL per il sito di Sugremaro PPI .....	68
9.2.10	RSL per il sito di Compiano S1.1 .....	72
9.2.11	RSL per il sito di Compiano S1.3 .....	76
9.3	Stabilità di versante .....	81
9.3.1	Metodo di verifica .....	81
9.3.2	Ipotesi verificate .....	85
9.4	Carte di microzonazione sismica .....	89
10.	Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati .....	93
11.	Bibliografia .....	94
12.	Allegati .....	96

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	1 di 96

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

## 1. INTRODUZIONE

Nel presente documento vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello *Studio di microzonazione sismica di terzo livello del Comune di Compiano*, effettuato su incarico dell'Unione dei Comuni Valli Taro e Ceno (cfr. Determinazione n° 9 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 Sugremaro.


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 Compiano, erano già stati svolti, dal geologo Dott. Domenico Bianco, 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° 4 prove MASW che hanno consentito una migliore definizione delle Vs e, conseguentemente, della profondità del *bedrock* sismico;
- n° 10 prove penetrometriche (7 dinamiche e 3 statiche) per migliorare la comprensione dell'assetto litostratimetrico del sottosuolo;
- n° 10 prove HVSR, al fine di approfondire la conoscenza delle frequenze fondamentali dei terreni.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	2 di 96

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

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.

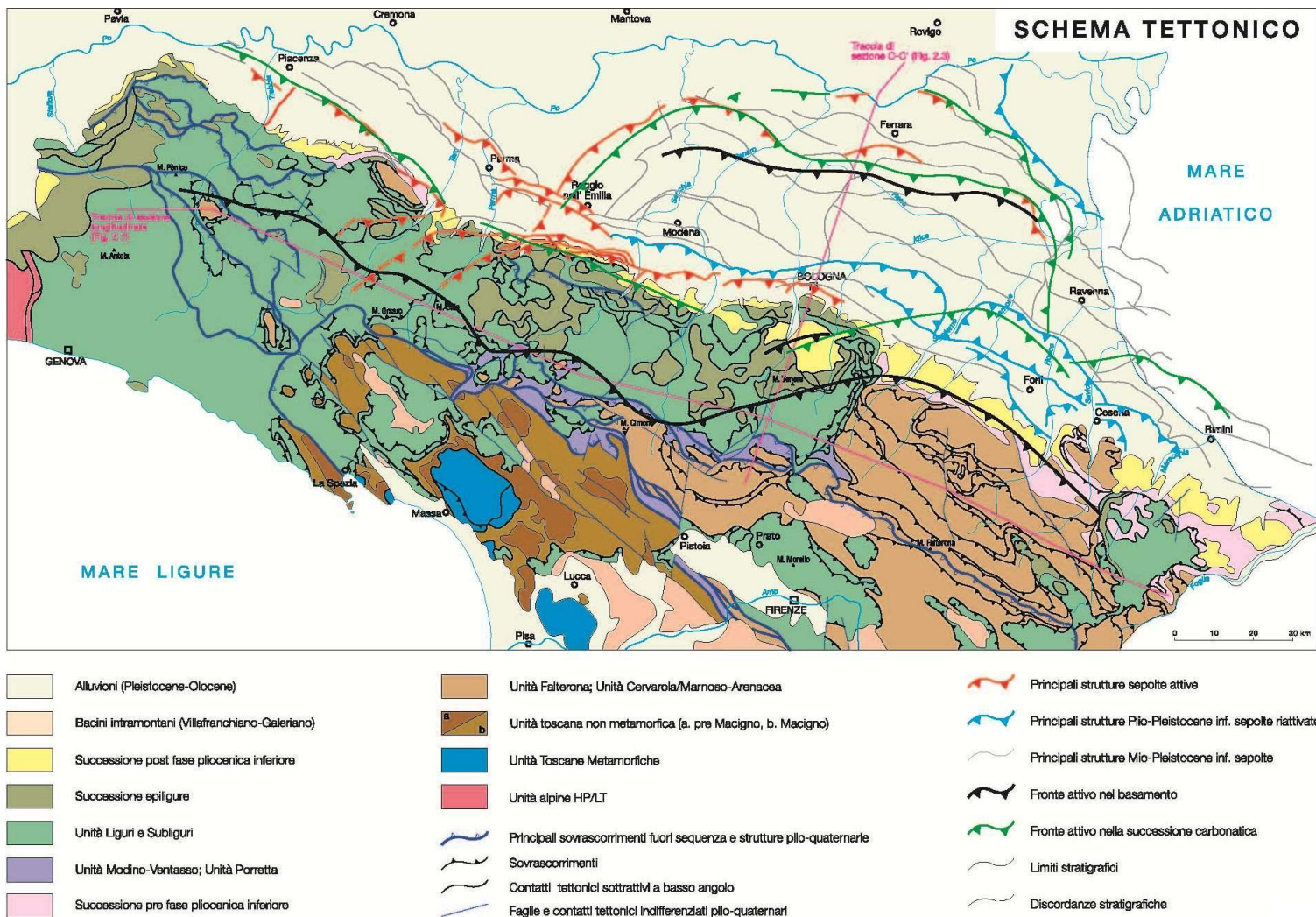
	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	3 di 96

## 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**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	4 di 96

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.

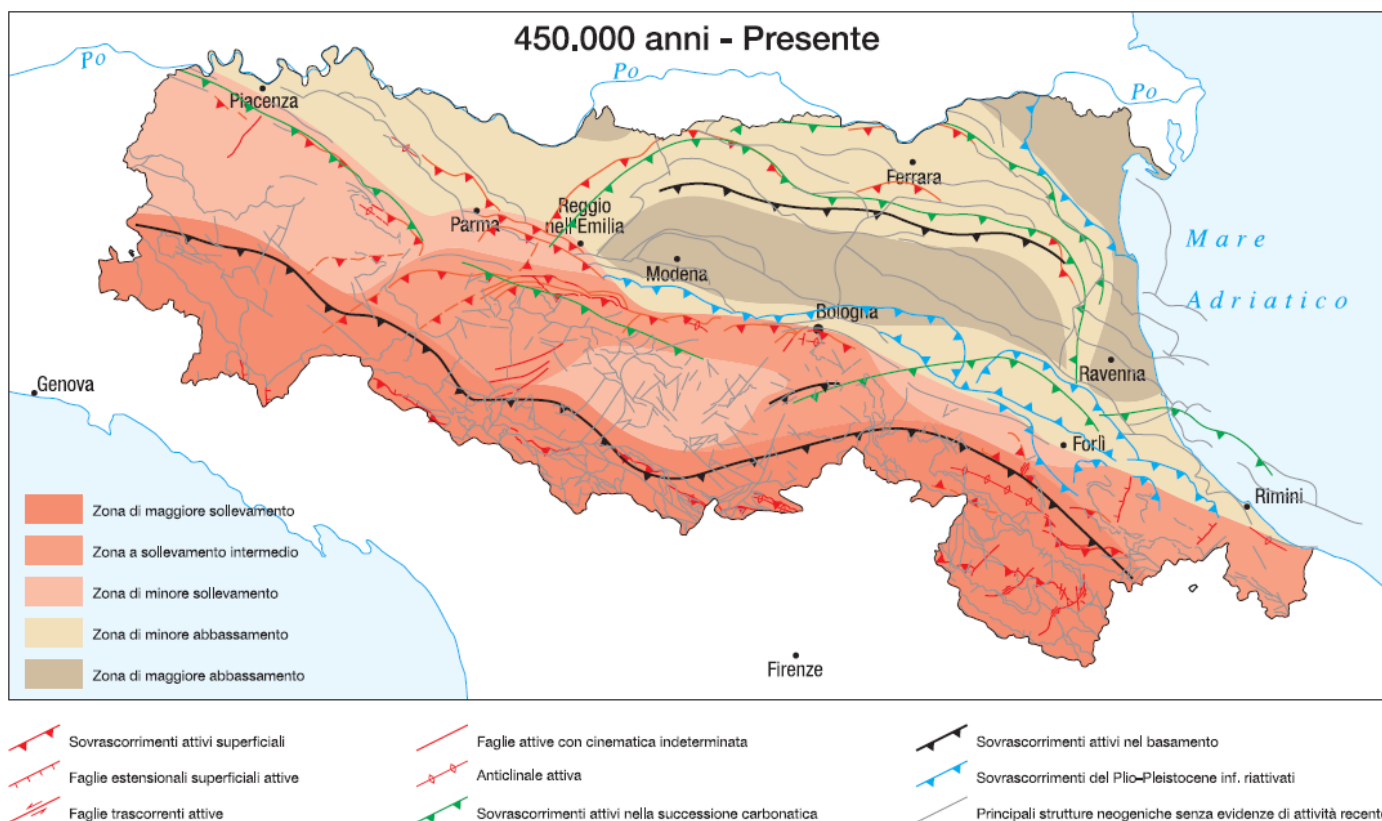
Il fronte appenninico è evidenziato dalle strutture ad arco delle pieghe emiliane e ferraresi, posizionate quasi a ridosso del fiume Po, dove sovrascorre con direzione settentrionale la piattaforma padano-veneta.

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  $\geq 1$  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**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	5 di 96

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

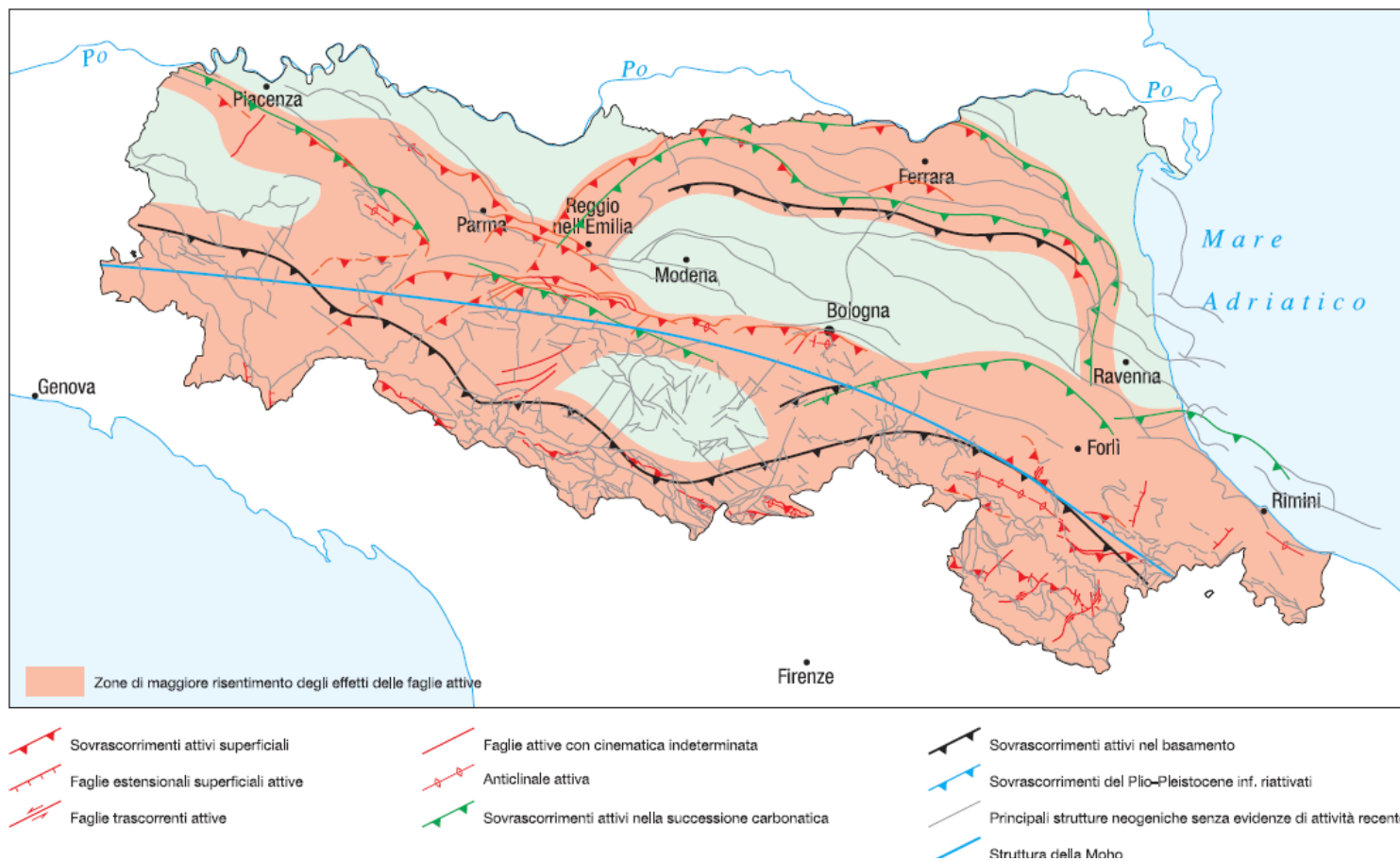
La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi tra 15 e 35 km, mostra una distribuzione simile a quella più superficiale ma con una densità inferiore. Anche in questo caso i meccanismi focali risultano compressivi e trascorrenti con direzioni di compressione sia NW-SE che NE-SW ed i meccanismi 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 Compiano è situato in zona di maggior risentimento degli effetti delle faglie attive.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	6 di 96




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

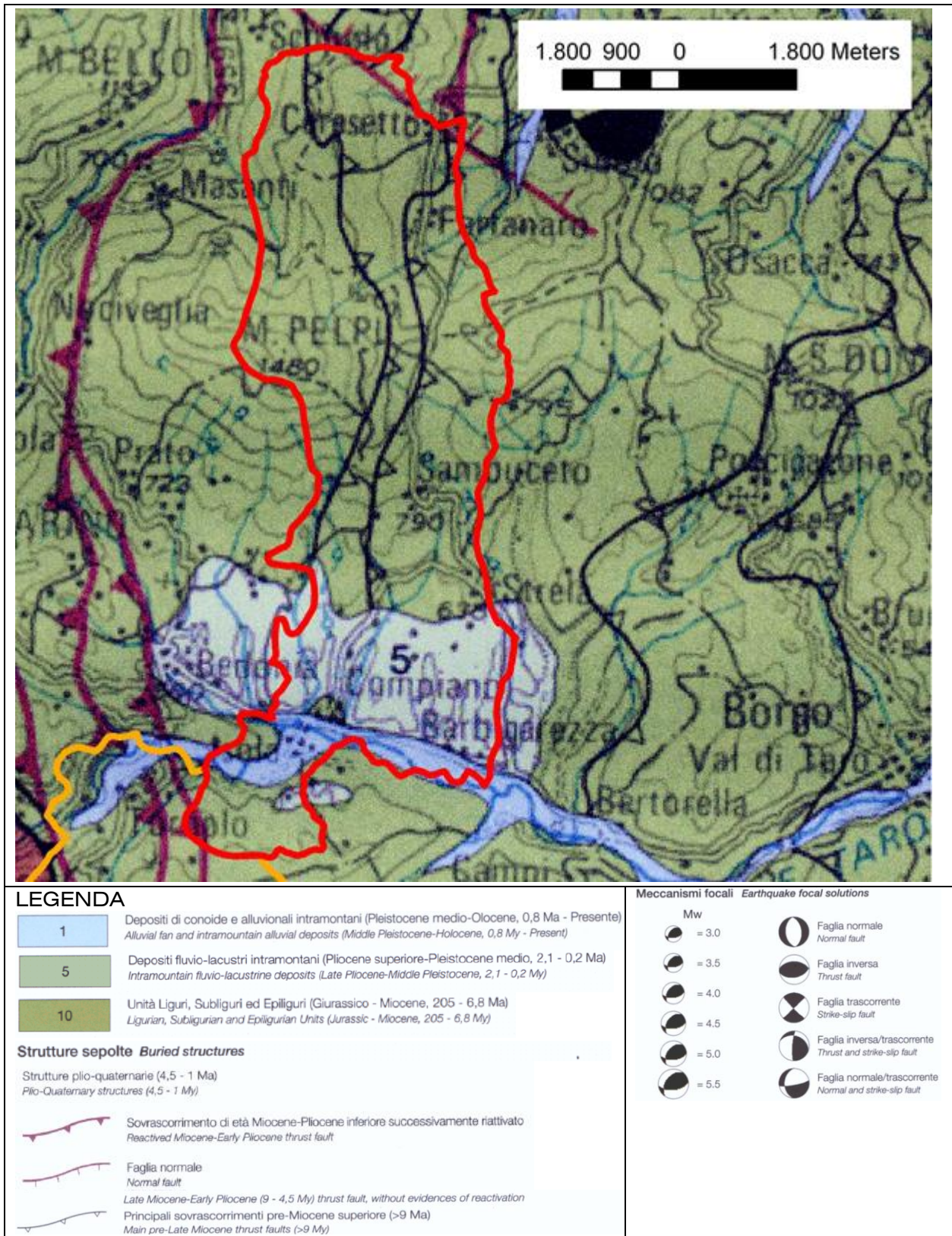
La Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna alla scala 1:250.000, rappresenta il documento fondamentale per la definizione della pericolosità sismica locale e all'individuazione di strutture potenzialmente sismogenetiche ed ha consentito di ottenere il quadro neotettonico e sismotettonico dell'area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

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

Nel dettaglio, in Fig. 4, all'interno del perimetro comunale di Compiano, si evidenziano numerose strutture (sovrascorrimenti e faglie) attive, affioranti, recenti e di età più antica senza chiare evidenze di riattivazione (Miocene Sup. - Pliocene Inf. 9 - 4,5 M.A. e Miocene Sup. > 9 M.A.), a conferma del sensibile grado di sismicità dell'area.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	7 di 96





**Fig. 4 - Stralcio della carta sismotettonica della regione Emilia Romagna**

## 2.2 Zonazione sismogenetica

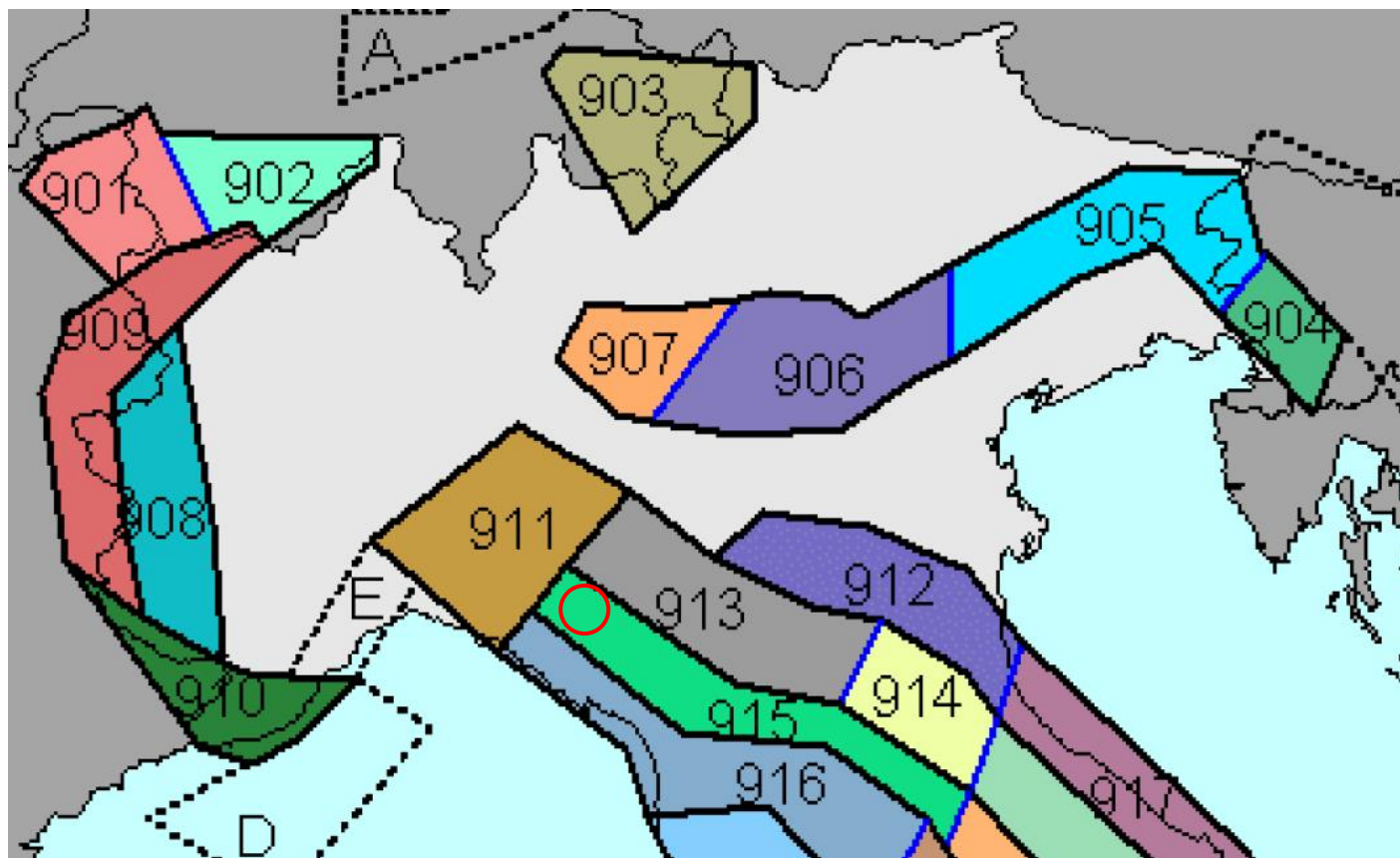
Allo scopo di associare la sismicità dell'area con i meccanismi responsabili dell'innesco dei terremoti, si è fatto riferimento alla Zonazione Sismogenetica ZS9 (a cura del gruppo di lavoro coordinato da C. Meletti e G. Valensise, 2004).

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 915.

La Zona 915 fa parte di uno dei sistemi di maggior rilascio di energia dell'Appennino settentrionale, essa corrisponde con il settore più interno della catena appenninica, generalmente interessato da importanti faglie primarie e relative zone sismogenetiche. Tali faglie nella zona toscana più prossima all'area di studio, immergono verso NE.



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

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	9 di 96

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

## 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)<sup>1</sup> aggiornato al 2014, nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative all'abitato di Compiano.


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
7	1834	02	14	13	15		Val di Taro-Lunigiana	112	9	5.96
5-6	1835	04	25	02	45		Val di Taro	6	5-6	4.77
NF	1886	10	15	02	20		Collecchio	44	6	4.70
6	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4-5	1927	10	28	21	49		Alta Val di Taro	39	6	4.66
6	1934	06	13	09	06		Val di Taro-Lunigiana	29	6	5.14
4-5	1974	04	15	21	49	1	Alta Val di Taro	13	5	4.14
5	1976	08	22	02	49	1	Alta Val di Taro	26	5	4.54
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
3-4	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04
NF	1998	03	26	16	26	1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
2	2005	04	13	18	46	0	Valle del Trebbia	163	4	3.68
2	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

**Tab. 1 – Massimi eventi sismici verificatisi nel Comune di Compiano**

<sup>1</sup> 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.

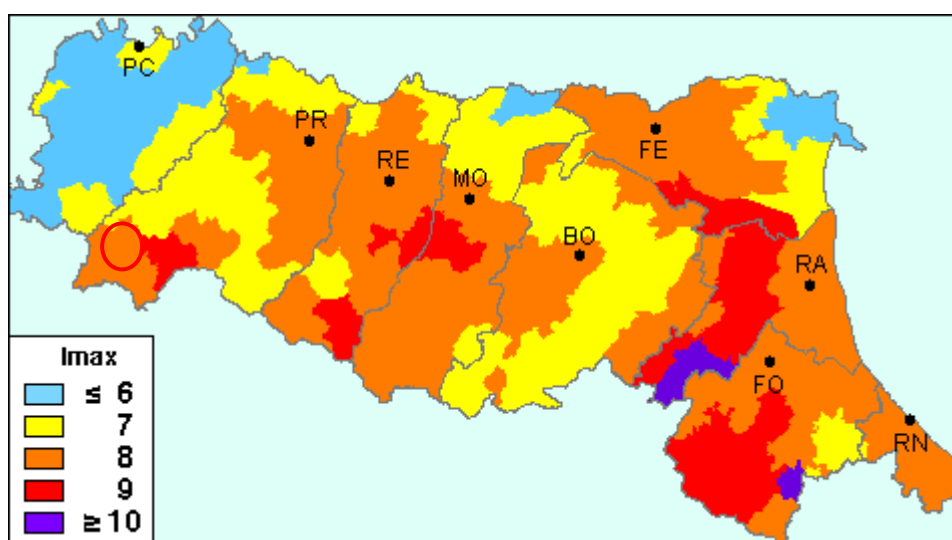
doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	10 di 96

Dalla lettura di Tab. 1 si evidenzia che il massimo evento sismico censito a Compiano 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 Compiano 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), 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.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	11 di 96

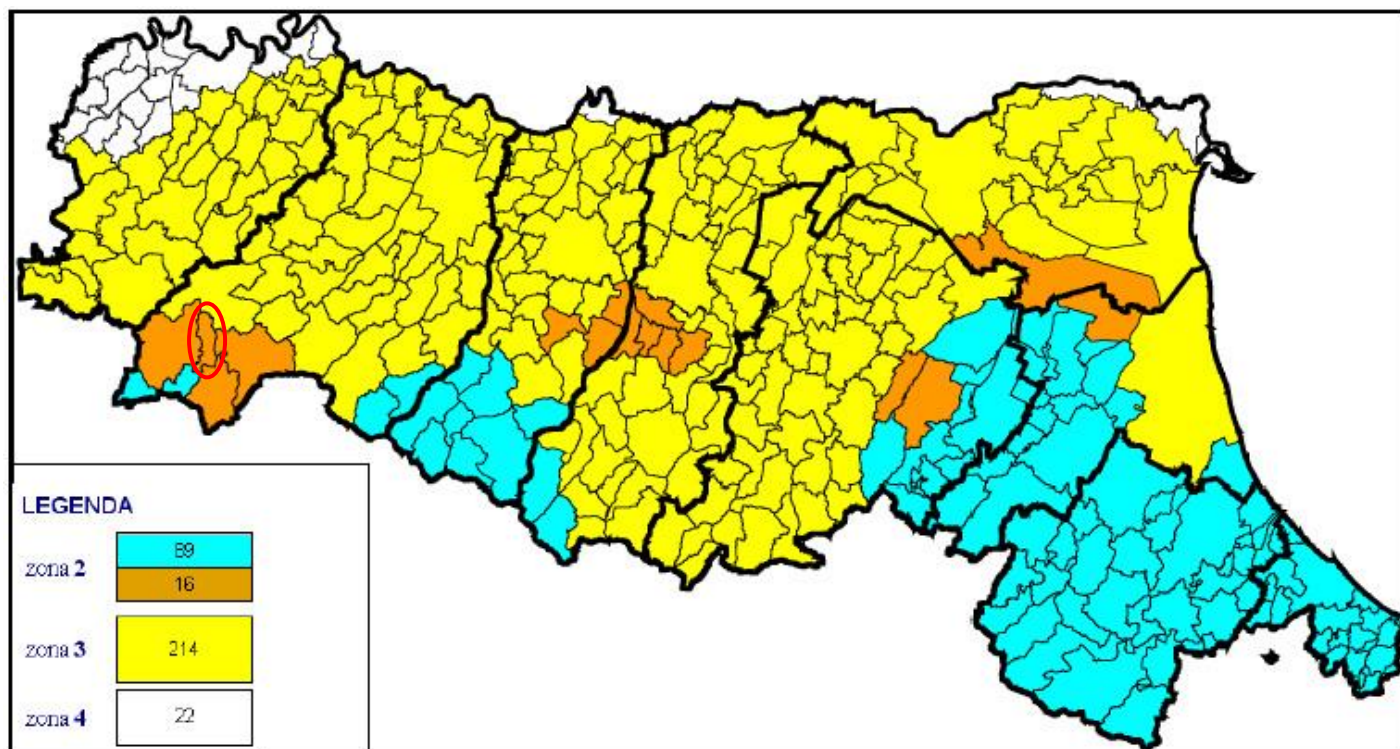
Zona	Valori massimi di ag
1	>0,25
2	0,15 ÷ 0,25
3	0,05 ÷ 0,15
4	<0,05

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

La classificazione vigente, identifica il Comune di Compiano in zona 2 (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 0,15\*g e 0,25\*g (dove g è l'accelerazione di gravità).

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 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.



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

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

## 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 Compiano, 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).

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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	13 di 96

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

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).

## 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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	14 di 96

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

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 Compiano, erano già stati svolti, dal geologo Dott. Domenico Bianco, 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;

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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	15 di 96




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

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.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	16 di 96

### 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 depongono man mano che il fronte dell'accavallamento avanzava sulle sovrascorse unità Liguridi e da sedimenti continentali fluvio-lacustri plio-pleistocenici, anch'essi in discordanza con le sottostanti Unità, prodotti per il riempimento di conche e bacini intramontani legati alla tettonica distensiva verificatasi successivamente alla dominante fase compressiva responsabile della struttura appenninica.

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

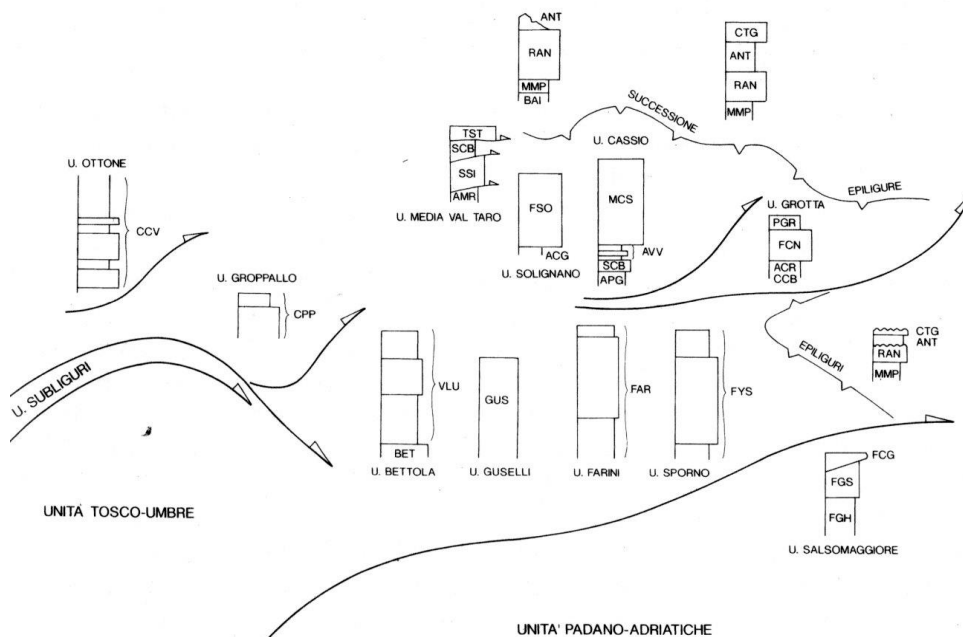



Fig. 8 - Schema strutturale della porzione di Appennino in esame

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	17 di 96

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 Compiano.




**LEGENDA**

-  Bacini intramontani (Villafanchiano-Galeriano)  
*Intramontane basins (Villafanchian-Galerian)*
- SUCCESSIONI EPISUTURALI POST FASE MESOALPINA**  
**POST MESOALPINE PHASE EPISUTURAL SUCCESSIONS**
-  Pre Fase aquitaniana  
*Pre Aquitanian Phase*
-  UNITA' LIGURI  
*LIGURIAN UNITS*
-  UNITA' SUBLIGURI  
*SUBLIGURIAN UNITS*
-  Principali sovrascorimenti fuori sequenza  
*Main out-of-sequence thrusts*
-  Sovrascorimenti  
*Thrusts and overthrusts*
-  Contatti tettonici sottrattivi a basso angolo  
*Low angle subtractive tectonic contacts*

**Fig. 9 - Schema tettonico della porzione di Appennino in esame**  
**(Fonte: Carta Geologico-Strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo)**

Gran parte del territorio, evidenzia corpi rocciosi riconducibili all'Unità Liguride, mentre, nella porzione più meridionale del comune, è stata raffigurata la presenza di un bacino intramontano, corrispondente con il Sintema di Compiano.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	18 di 96

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

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**

#### **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 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**

#### **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.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	19 di 96

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

### **SCM - SINTEMA DI COMPIANO** - *Pleistocene inf. – Pleistocene medio*

Conglomerati in strati lenticolari ad elementi eterometrici di affinità liguride e subordinatamente di arenarie tipo Macigno. Nella parte inferiore predominano banchi massivi plurimetrici di paraconglomerato intercalati da peliti giallastre lenticolari e livelli discontinui ricchi di lignite, mentre nella parte superiore si intercalano argille siltose azzurrognole. Il Sintema di Compiano è ricoperto da un paleosuolo caratteristico dell' interglaciale Riss-Wurm. Depositi clastici grossolani di ambiente alluvionale e lacustre. Potenza di un centinaio di metri.

### **SUCCESSIONE EPILIGURE**

#### **RAN2 - Membro della Val Pessola della FORMAZIONE DI RANZANO**

*Priaboniano terminale - Rupeliano inf*

Litofacies molto variabili, da pelitico-arenacee ad arenaceo-conglomeratiche. Strati da medi a molto spessi con geometria generalmente tabulare, talora lenticolare quella degli strati grossolani. Torbiditi marnose di colore grigio con intercalazioni di strati o banchi arenacei con A/P <1. Litoareniti grigio-verdi, a marcata componente ofiolitica, e modeste quantità di rocce sedimentarie, in letti da medi a molto spessi, talora con base grossolana, alternati a peliti siltoso-marnose scure (A/P generalmente >1).


#### **MMP - MARNE DI MONTE PIANO** - Da: *Luteziano sup. A: Priaboniano*

Argille, argille marnose e marnoso-siltose, marne rosse, rosate, grigio chiaro e verdi, con rari e sottilissimi strati di siltiti e feldspatoareniti risedimentate, marne e marne siltose grigie, grigio verdi, talora rosate, nella parte superiore della successione. Stratificazione generalmente poco evidente. Sedimentazione di tipo pelagico, in ambiente confinato e profondo, con rari apporti torbiditici. La potenza affiorante è non superiore a 180 m.

### **UNITÀ LIGURI - FORMAZIONI PRE-FLYSCH**

#### **SCB - ARENARIE DI SCABIAZZA** - Da: *Cenomaniano A: Santoniano*

Torbiditi arenaceo-pelitiche e pelitico-arenacee con arenarie litiche grigio-nocciola, grigio-scure o grigioverdastre, fini e medie in strati sottili e medi regolarmente alternate a peliti grigie o verdastre o marne siltose debolmente marnose; si intercalano talora marne grigio chiare a base arenacea fine e molto fine in strati da molto sottili a spessi (rapporto A/P da <1 a >1), conglomerati e calciliti in strati spessi. Possono essere presenti marne siltose grigie in strati molto spessi con base arenitica e conglomeratica fine ad elementi sedimentari. Sedimentazione torbiditica di ambiente marino profondo. Potenza geometrica affiorante può raggiungere 700 metri.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	20 di 96

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI COMPIANO</b> 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).

<b>TERRENI DI COPERTURA</b>		
<b>Sigla</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Unità corrispondenti</b>
GMfl	Depositi fluvio lacustri costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbie e limo	SCM
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	AES8a
MLec	Coperture detritiche costituite da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità	a3
<b>SUBSTRATO GEOLOGICO</b>		
<b>Sigla</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Unità corrispondenti</b>
ALS	Alternanza di litotipi, stratificato	RAN2, MMP e SCB

**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 Compiano 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...

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	21 di 96

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI COMPIANO</b> 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 Compiano è contraddistinto da una morfologia "giovane" 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	22 di 96

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI COMPIANO</b> 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 solo due classi:

- **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;

Infatti, nelle porzioni di territorio cartografate, non sono mai stati individuati corpi di frana ritenuti inattivi, intesi come fenomeni le cui cause e processi che li hanno generati non sono più presenti o sono stati rimossi (definiti “frane relitte” nella Carta del Dissesto della Provincia di Parma).

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	23 di 96



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

Altre forme di superficie presenti nell'intorno delle aree oggetto di studio e, per questo, cartografate nella Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (cfr. paragrafo 8.2), sono una conoide alluvionale e una falda detritica, entrambe esterne, a nord-est, rispetto al limite dell'area urbanizzata e urbanizzabile di Compiano Capoluogo.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	24 di 96

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

#### 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La raccolta dati ha previsto, innanzitutto, la consultazione e il recepimento dei dati utilizzati dal geologo Dott. Domenico Bianco 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, specie in riferimento al Capoluogo;
- il fatto che si siano utilizzate prove geofisiche solo di tipo indiretto, limitate a misurazioni di sismica passiva (a Compiano, 4 HVSR, a Sugremaro, 5 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 Compiano Capoluogo:

- n° 4 Sondaggi a carotaggio continuo dotati di strumentazione varia (piezometrica e inclinometrica), realizzati a corredo di interventi di consolidamento e monitoraggio,
- n° 5 Prove penetrometriche statiche,
- n° 2 Prove penetrometriche dinamiche.


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° 4 prove MASW (2 a Compiano e 2 a Sugremaro) che hanno consentito una migliore definizione delle Vs e, conseguentemente, della profondità del *bedrock* sismico;
- n° 10 prove penetrometriche, di cui 7 dinamiche (2 a Compiano e 5 a Sugremaro) e 3 statiche (tutte a Sugremaro), per migliorare la comprensione dell'assetto litostratimetrico del sottosuolo;
- n° 10 prove HVSR, (7 a Sugremaro e 3 a Compiano) 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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	25 di 96

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

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 4.5Hz posizionati a 3 m l'uno dall'altro a Sugremaro e a 5 m a Compiano; come sorgente è stata utilizzata una mazza da 5 Kg battente su piastra metallica.

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

Al fine di migliorare la comprensione dell'assetto litostratimetrico del sottosuolo sono state effettuate delle prove penetrometriche, sia statiche che dinamiche.

Le prove penetrometriche statiche a punta meccanica consistono nella misurazione della resistenza alla punta e dell'attrito laterale (ogni 20 cm), durante l'infissione nel terreno, (a velocità costante pari a 2 cm/s), di una punta conica di dimensioni standardizzate, spinta tramite una serie di aste collegate fra loro; l'avanzamento è applicato staticamente mediante dispositivi meccanici o idraulici.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	26 di 96

Il limite di queste prove, che danno risultati più raffinati rispetto a quelle dinamiche, di seguito descritte, è che danno rifiuto appena incontrano un livello ghiaioso o particolarmente consistente.

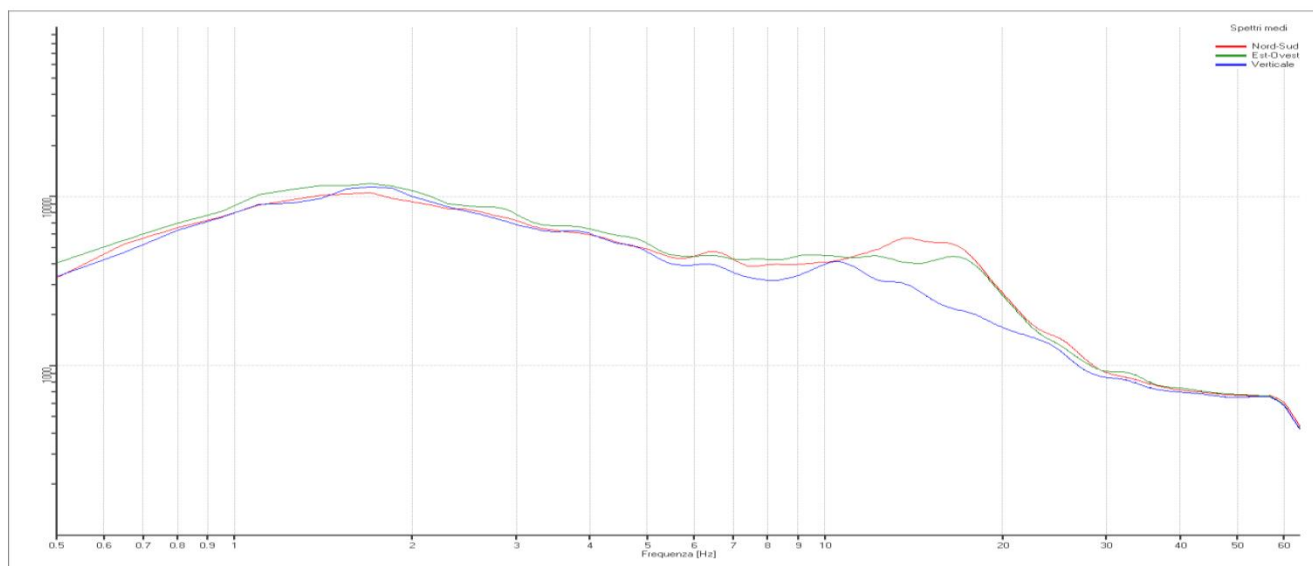
Le prove penetrometriche dinamiche consistono nell'infissione nel terreno di una punta conica tramite battitura con un maglio di massa pari a 63.5 Kg e con altezza di caduta di 75 cm e la conseguente determinazione del numero di colpi necessari ad infiggere la punta conica (area della punta 20.43 cm<sup>2</sup>) e le aste ad essa collegate, per una profondità di 20 cm.

Sulla base delle caratteristiche sopra elencate il penetrometro utilizzato è classificato come superpesante DPSH.


Questa tipologia di prova, sebbene meno significativa nei terreni coesivi superficiali, spesso, consente un avanzamento anche nei depositi dove le prove CPT danno rifiuto.

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. 10 - Esempio di spettro delle singole componenti**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	27 di 96

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

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 96

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI COMPIANO</b> 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 Compiano, 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.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	29 di 96

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

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 96

## 6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

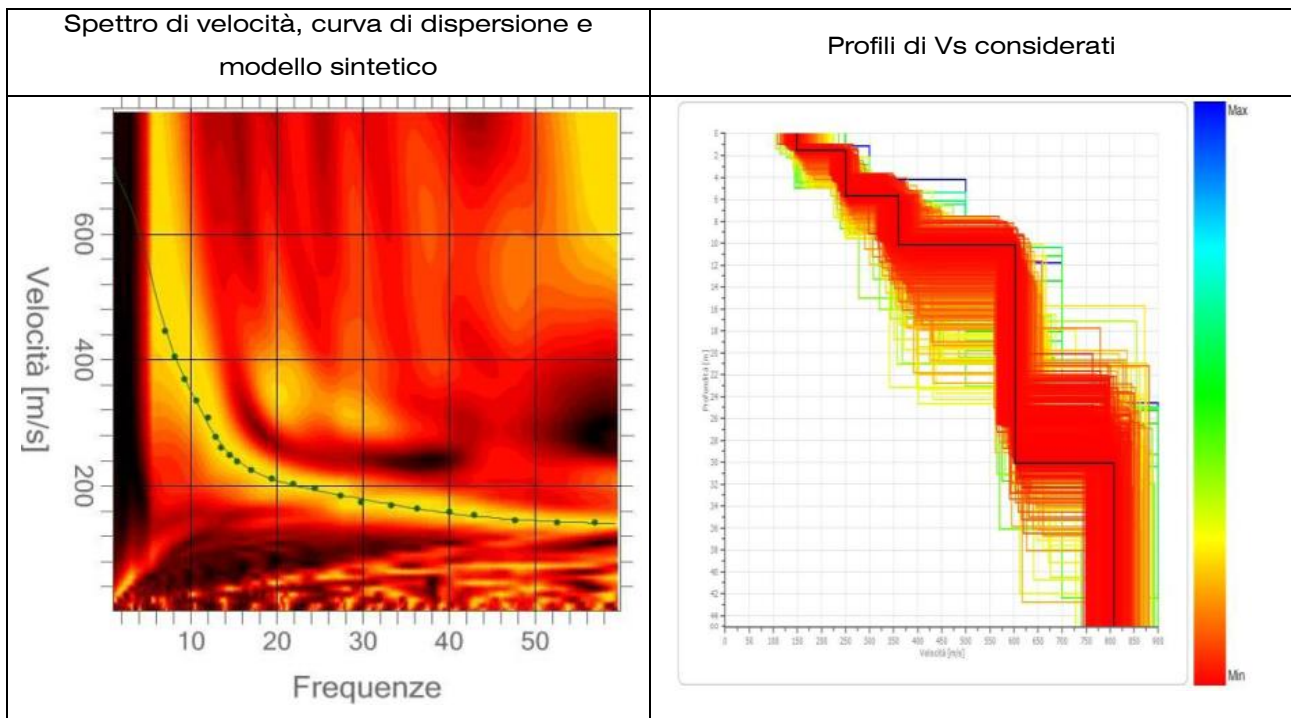
Come già indicato, il presente studio, oltre ad utilizzare una i dati pregressi, ha previsto l'esecuzione e l'interpretazione di una nuova campagna d'indagini, articolata in

- n° 4 prove MASW;
- n° 10 prove penetrometriche (7 dinamiche e 3 statiche);
- 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. 11 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. 11 - Immagini riassuntive dell'elaborazione di un'indagine MASW**



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

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 0,06 e percentuale di errore inferiore a 0,065% indice di un buon fitting tra curva sperimentale e sintetica.


Le prove penetrometriche di nuova esecuzione (cfr. Elaborato 8 – Prove penetrometriche) consentono di conoscere, attraverso correlazioni semi-empiriche, la tipologia e i parametri geotecnici dei terreni attraversati.

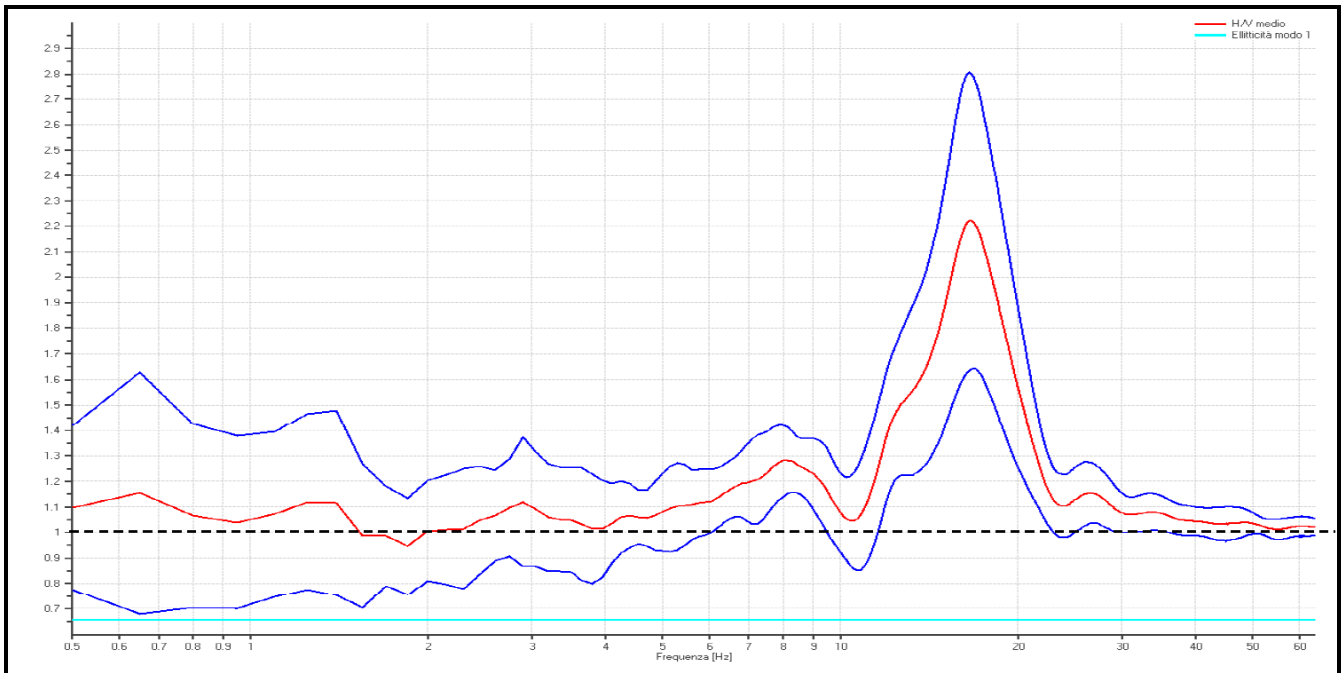
Come anticipato nel capitolo 4, quelle statiche forniscono informazioni più raffinate di quelle dinamiche, ma danno rifiuto prima.

Ai fini del presente studio, il dato più interessante, desumibile dalle prove penetrometriche, è l'individuazione delle profondità in corrispondenza delle quali si hanno dei bruschi cambi di resistenza, cui normalmente (fatta salva l'incertezza dovuta al fatto che si tratta di prove indirette) dovrebbero corrispondere anche variazioni del comportamento sismico del sottosuolo. Per tale motivo esse sono sempre associate a prove HVSR, pregresse o eseguite nel corso del presente studio.

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. 12).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	32 di 96




**Fig. 12 - 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

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	33 di 96

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI COMPIANO</b> 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 prove penetrometriche e su dati geotecnici pregressi, accettando le incertezze che ciò ha comportato.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	34 di 96

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

## 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	35 di 96

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI COMPIANO</b> 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 Vs con indicazione, per ogni punto misura, del valore di Vs<sub>H</sub>.

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<sub>PGA</sub> (scala 1:5.000);
- Carta di microzonazione sismica FA<sub>IS 0,1 - 0,5 s</sub> (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - FA<sub>IS 0,5 - 1,0 s</sub> (scala 1:10.000).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	36 di 96

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO

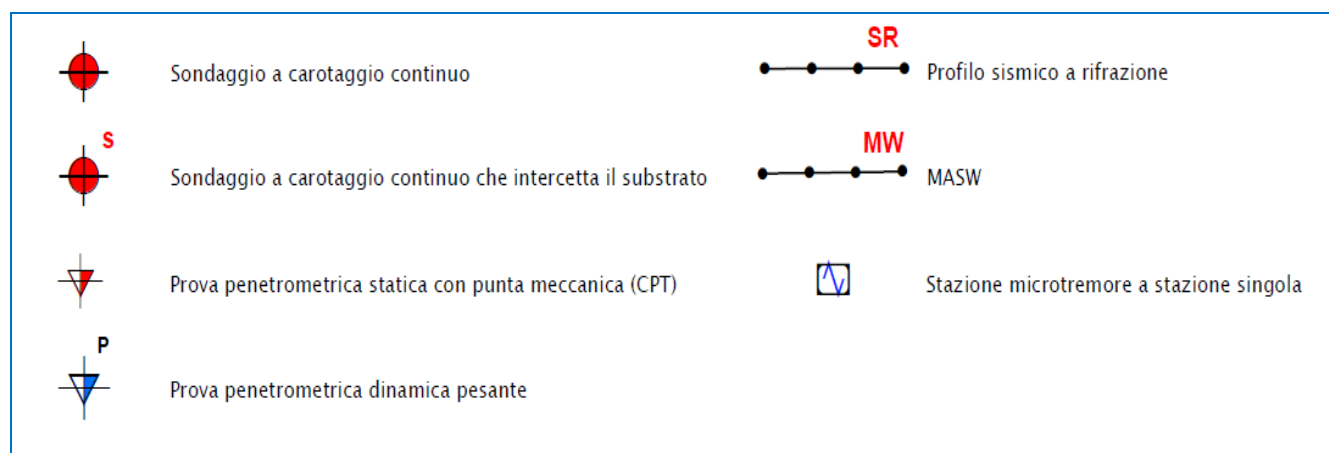
### 8.1 Carta delle indagini

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)
- prova penetrometrica dinamica pesante
- profilo sismico a rifrazione
- MASW
- stazione microtremore a stazione singola

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 13.



**Fig. 13 – 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.

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

### **8.1.1 Abitato di Compiano**

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° 5 sondaggi a carotaggio continuo,
- N° 9 prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT),
- N° 3 prove penetrometriche dinamiche pesanti,
- N° 4 stazioni microtremore a stazione singola,

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

- N° 2 MASW,
- N° 3 stazioni microtremore a stazione singola,
- N° 2 prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT).

### **8.1.2 Abitato di Sugremaro**

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

- N° 7 sondaggi a carotaggio continuo,
- N° 2 prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT),
- N° 16 prove penetrometriche dinamiche pesanti,
- N° 5 stazioni microtremore a stazione singola,
- N° 1 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° 7 stazioni microtremore a stazione singola,
- N° 3 prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT),
- N° 5 prove penetrometriche dinamiche pesanti,

## **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.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	38 di 96

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

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 215120 “Tornolo” e 216090 “Gotra”, alla scala 1:10.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- “Nuova Carta del dissesto della Provincia di Parma”. Sezione 215120 “Tornolo” e 216090 “Gotra”, 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 state indicate anche le forme di superficie che possono modificare il moto sismico.

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 Compiano**

Il Capoluogo è ubicato al piede di un versante in sponda sinistra del fiume Taro, a quote comprese tra i 450 e i 550 m s.l.m.

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

Nelle altre zone si rinvencono: nel settore centrale, dove sorge il Castello, il Sintema di Compiano, descritto come “Depositi fluvio lacustri costituiti da ghiaie limose, miscela di

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	39 di 96



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

ghiaie, sabbie e limo” (GMfl); alle estremità del paese, l’Unità di Modena, ovvero, “Depositi terrazzati costituiti da ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla” (GCTf).

E’ presente anche un’area di modeste dimensioni interessata da uno scorrimento quiescente.

### **8.2.2 Abitato di Sugremaro**

L’abitato di Sugremaro è anch’esso ubicato al piede di un versante in sponda sinistra del fiume Taro, poco a valle del Capoluogo.


L’altitudine è compresa tra i 450 e i 525 m s.l.m.

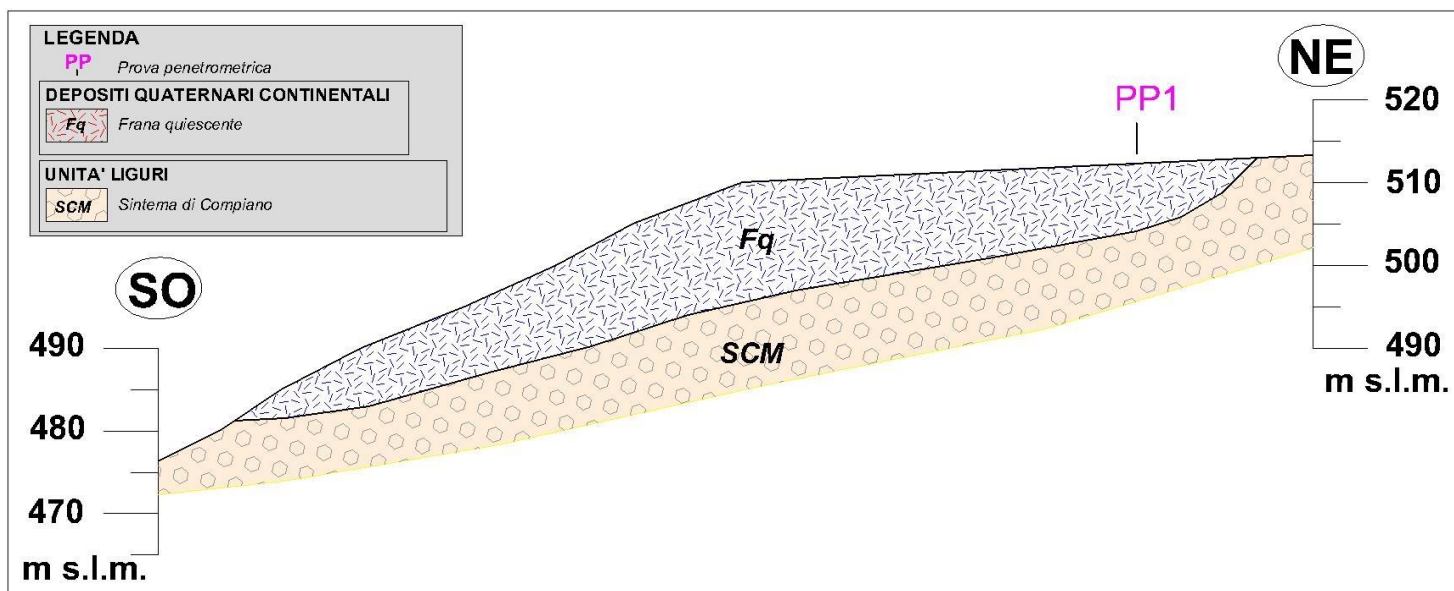
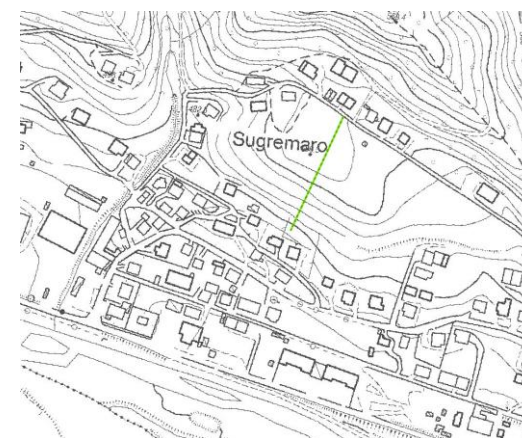
Dall’esame della Carta geologico-tecnica, emerge che, alle quote inferiori, è presente l’Unità di Modena, ovvero, “Depositi terrazzati costituiti da ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla” (GCTf).

Spostandosi verso la parte alta del versante, si incontrano dei settori con substrato stratificato affiorante o sub-affiorante ed altri, di estensione molto maggiore, in cui è stato cartografato del Deposito di versante s.l., in legenda, descritto come “Coperture detritiche costituite da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità” (MLec).


Infine, nel settore più settentrionale dell’abitato è presente il Sintema di Compiano, composto da “Depositi fluvio lacustri costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbie e limo” (GMfl), per un’ampia porzione interessati da un movimento gravitativo, classificato scorrimento quiescente.

Come raffigurato nella sezione riportata nella successiva Fig. 14, lo spessore dei depositi continentali di frana, desunti dalle nuove indagini (cfr. prova penetrometrica PP1) e da considerazioni di carattere geomorfologico, in corrispondenza di tale dissesto è stimabile in circa 10 m.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	40 di 96



**Fig. 14 - Sezione geologica a Sugremaro**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	41 di 96

### 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 le Carte delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scala 1:5.000.

In questa carta, sono stati riportati tutti i punti di misura (19), 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  $H/V \leq 3$ ).

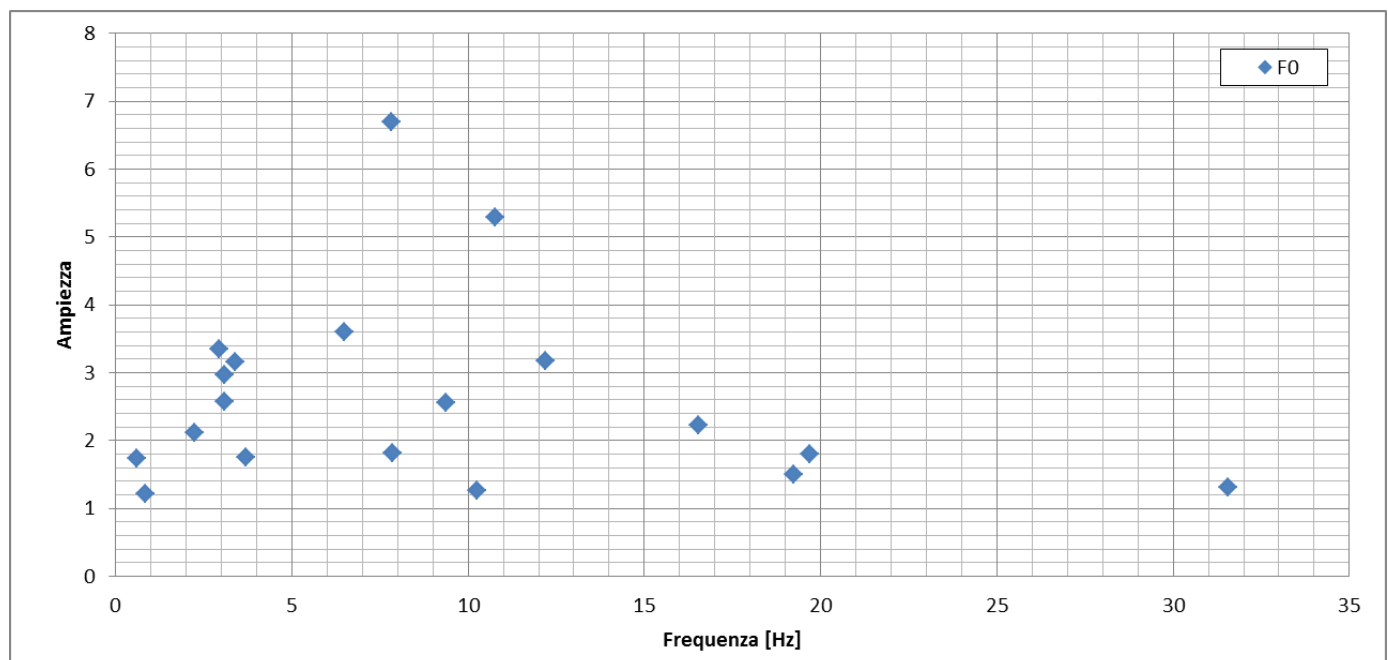
Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tomografiche eseguite, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza dei picchi principali e secondari:

prova	picco principale $F_0$		picco secondario $F_1$	
	frequenza Hz	ampiezza H/V	frequenza Hz	ampiezza H/V
034011P31HVSR76	12,19	3,17		
034011P32HVSR77	2,94	3,35	9,35	3
034011P33HVSR78	7,84	6,69		
034011P34HVSR79	10,78	5,29		
034011P35HVSR80	3,09	2,58		
034011P36HVSR81	2,25	2,11		
034011P37HVSR82	9,38	2,56		
034011P38HVSR83	3,09	2,96		
034011P39HVSR84	3,38	3,15		
034011P62HVSR185	3,7	1,75	13,55	1,14
034011P63HVSR186	6,5	3,6		
034011P64HVSR187	0,6	1,73		

prova	picco principale F <sub>0</sub>		picco secondario F <sub>1</sub>	
	frequenza Hz	ampiezza H/V	frequenza Hz	ampiezza H/V
034011P65HVSR188	16,55	2,23		
034011P66HVSR189	19,7	1,8		
034011P67HVSR190	31,55	1,31		
034011P68HVSR191	12,19	1,82		
034011P69HVSR192	2,94	1,5		
034011P70HVSR193	7,84	1,21		
034011P71HVSR194	10,78	1,26		
034046P46HVSR104	26,3	2,5		

**Tab. 4 - Riepilogo dei risultati delle prove tromografiche eseguite**

I dati relativi ai picchi principali sono stati rappresentati nel grafico di Fig. 15.



**Fig. 15 - Picchi principali a Compiano e Sugremaro**

Sulla base dell'esame di Tab. 4 e di Fig. 15, si osserva come i picchi risultino sempre, sia in termini di ampiezza che di frequenze, estremamente variabili.

#### 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:

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

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 Compiano, non è mai presente la categoria 1 - zone stabili. Invece, sono state individuate le seguenti 5 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:

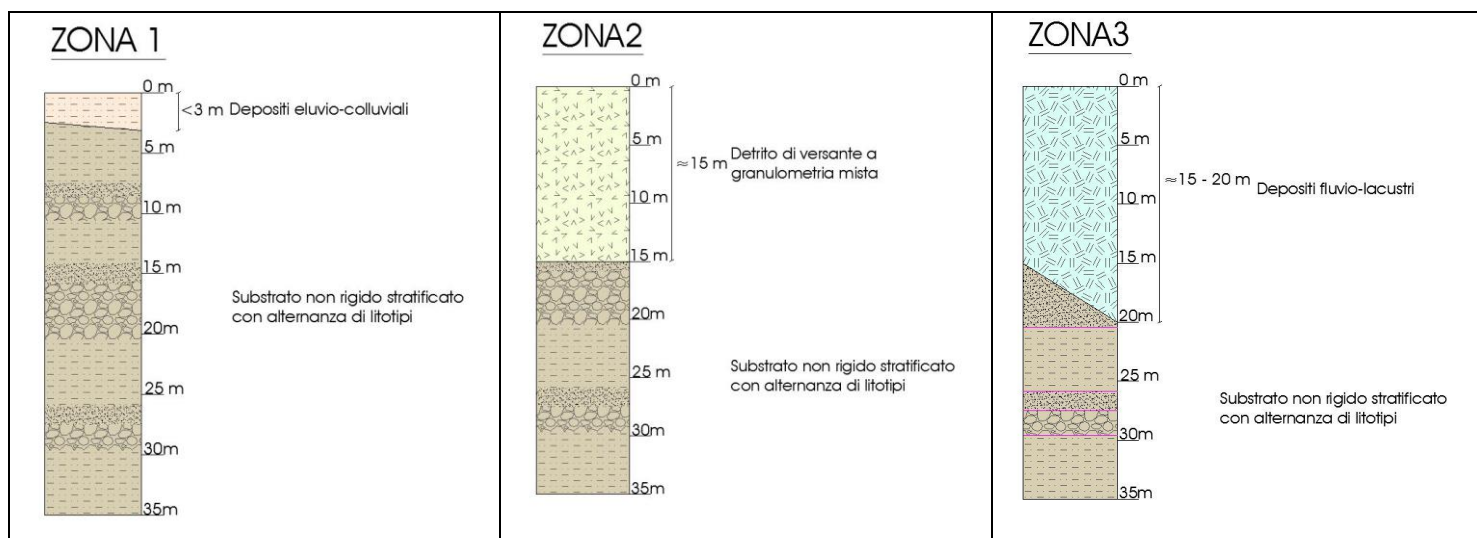
- Zona 1 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m. Interessa dei settori di ampiezza significativa, in corrispondenza dell'abitato di Compiano, molto meno estesi, a Sugremaro.
- Zona 2 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da detrito di versante, a granulometria mista, di spessore medio pari a 15 m. Si rinvia solo a Sugremaro a caratterizzare un ampio settore dell'abitato.
- Zona 3 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da depositi fluvio-lacustri, di spessore medio pari a 15 - 20 m E' ubicata nel settore centrale del Capoluogo e in quello più settentrionale dei Sugramaro.
- Zona 4 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da depositi fluvio-lacustri, di spessore medio pari a 30 m. Si rinvia solo nel settore centro-settentrionale del Capoluogo.
- Zona 5 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato con alternanza di litotipi, ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista, prevalentemente ghiaiosi di spessore medio pari a 10 - 20 m. Caratterizza il settore più meridionale dell'abitato di Sugremaro e le porzioni periferiche del Capoluogo.

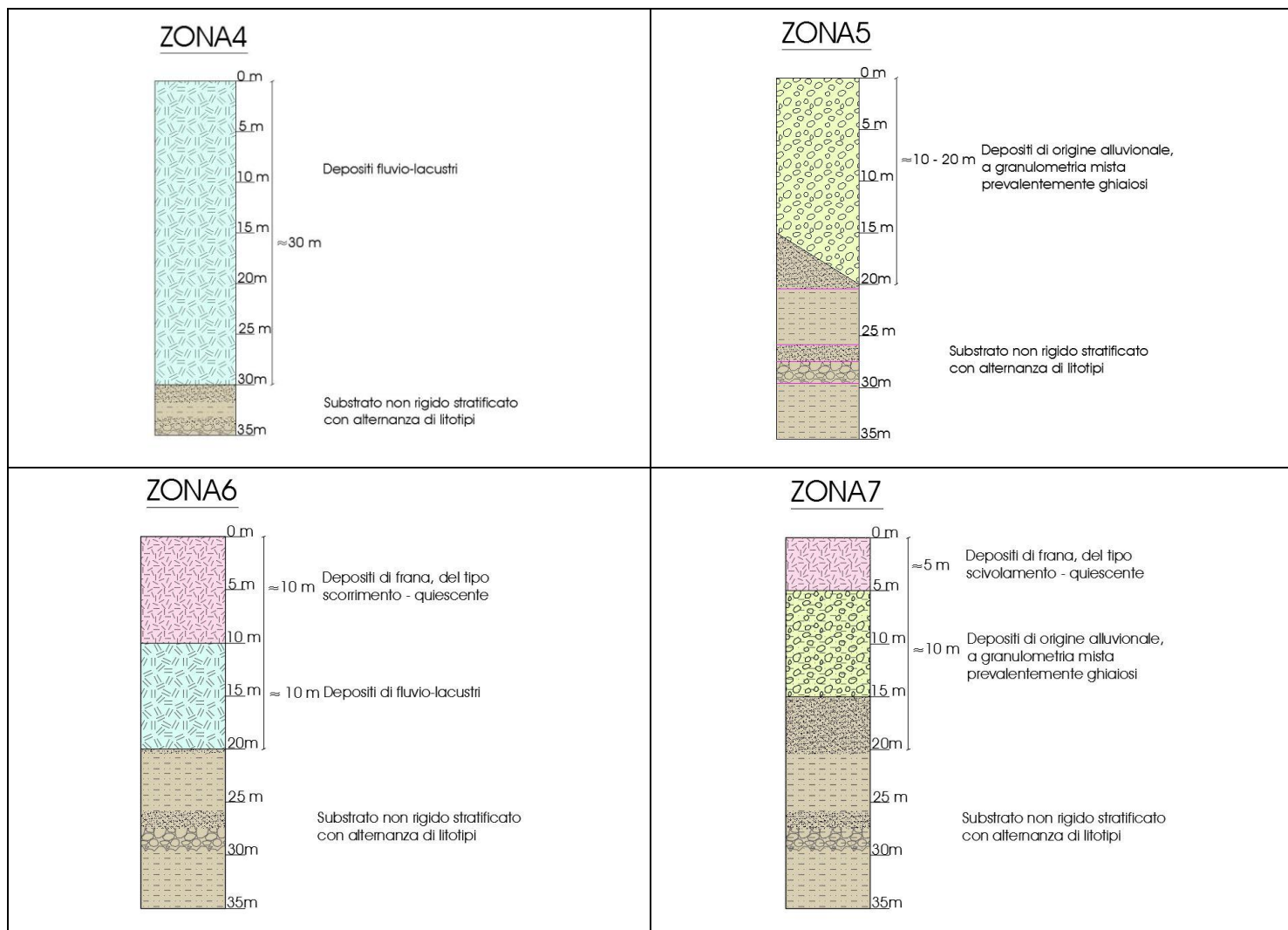
	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	44 di 96

Sempre nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica sono state raffigurate anche 2 Zone di attenzione per instabilità di versante:

- ZA\_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 6, di dimensioni molto ridotte, all'estremità sud-occidentale del Capoluogo, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da un Corpo di frana, del tipo scorrimento-quiescente, di spessore medio pari a 10 metri, costituito da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, sovrastante un livello di depositi fluvio-lacustri, di spessore medio pari a 10 metri, a sua volta poggiante sul substrato non rigido stratificato.
- ZA\_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 7, che coinvolge una buona porzione dell'abitato di Sugremaro, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio paria a 5 metri di depositi di frana, del tipo scorrimento-quiescente, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, sovrastante un livello di depositi di origine alluvionale, di spessore medio pari a 10 metri, a sua volta poggiante sul substrato non rigido stratificato.

In Fig. 16 sono rappresentati i profili stratigrafici caratteristici delle 5 microzone sopradescritte.






**Fig. 16 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative della microzone**

A Compiano, laddove dall'esame della cartografia emerge chiaramente una morfologia brusca con acclività significative, sono state raffigurate anche 2 tracce per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche.

**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 (Vs).

In tale elaborato sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tomografica o MASW e indicando il corrispondente valore di Vs<sub>H</sub> (in m/s), dove:

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	46 di 96

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

$H$  = 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*);

Va infatti chiarito che, in tutte le prove effettuate, la profondità  $H$  (anch'essa rappresentata nelle carte) da p.c. del contrasto di velocità più significativo individuato dalla prove è risultata sempre compresa tra 3 e 50 m; motivo per cui non è mai stato riportato il valore di  $V_{S_{30}}$ , dove:

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

$h_i$  = 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).

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

### 8.5.1 Abitato di Compiano

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

Indagine	Tipo indagine	VSH	H
034011P31HVSR76	HVSR	189	4,1
034011P32HVSR77	HVSR	223	7,5
034011P33HVSR78	HVSR	166	6,9
034011P34HVSR79	HVSR	172	5,53
034011P69HVSR192	HVSR	321	11,8
034011L4MASW4	MASW	264	6
034011L5MASW5	MASW	247	7,12

**Tab. 5 - Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S a Compiano**



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

Dall'esame di Tab. 5, si osserva che, a Compiano, i valori di  $V_{sH}$  risultano mediamente pari a 226 m/s, anche se contraddistinti da una discreta variabilità (il valore massimo è di 321 m/s mentre il minimo è di 166 m/s).


### **8.5.2 Abitato di Sugremaro**

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

<b>Indagine</b>	<b>Tipo indagine</b>	<b>VSH</b>	<b>H</b>
034011P35HVSR80	HVSR	166	3,7
034011P36HVSR81	HVSR	150	6,5
034011P37HVSR82	HVSR	161	6,4
034011P38HVSR83	HVSR	200	4,85
034011P39HVSR84	HVSR	198	7,4
034011P63HVSR186	HVSR	180	7
034011P66HVSR189	HVSR	245	14,6
034011L2MASW2	MASW	292	17,5
034011L3MASW3	MASW	259	13,8

**Tab. 6 - Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S a Sugremaro**

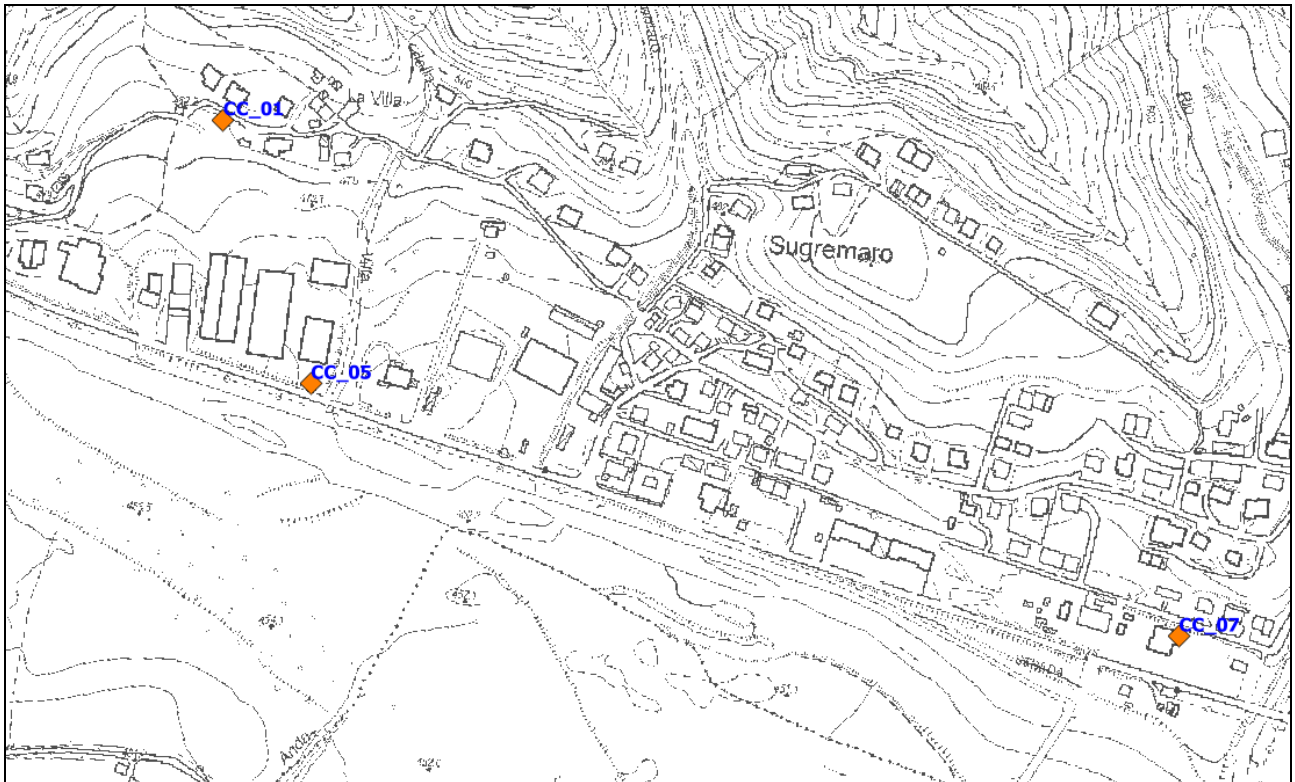
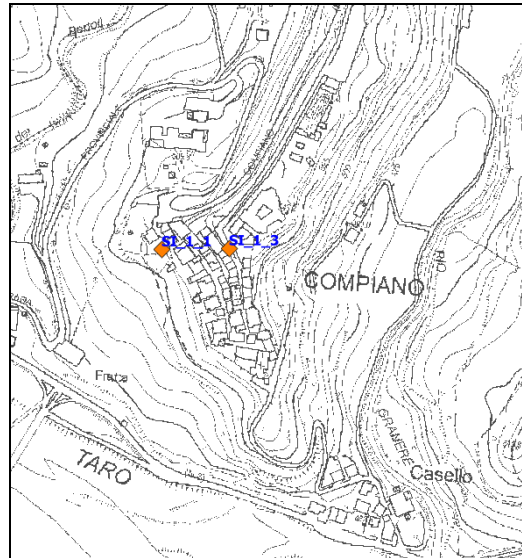
Dall'esame di Tab. 6, si osserva che, a Compiano, i valori di  $V_{sH}$  risultano mediamente pari a 206 m/s, anche se contraddistinti da una discreta variabilità (il valore massimo è di 292 m/s mentre il minimo è di 150 m/s).

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	48 di 96


## 9. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO

### 9.1 Area considerata

Gli approfondimenti di terzo livello sono stati eseguiti in corrispondenza di cinque aree di cui si dispone di sufficienti dati stratigrafici e di Vs, necessari per definire il modello geofisico del sottosuolo (cfr Fig. 17).



**Fig. 17 - Ubicazione dei siti per cui sono state realizzati approfondimenti di 3° livello**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	49 di 96

## 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

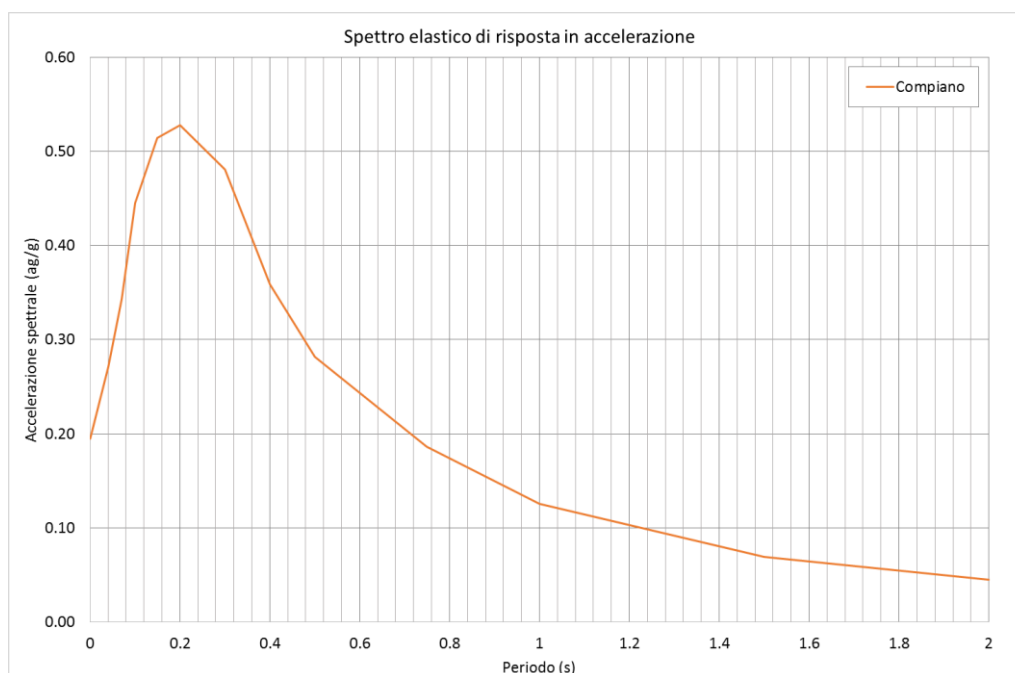
Nel caso della valutazione della risposta sismica locale di 3° livello nell'ambito della microzonazione sismica i parametri di riferimento (PGA su suolo di categoria A, spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento) sono definiti dall'Allegato A4 della DAL 112/2007 della Regione Emilia 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.

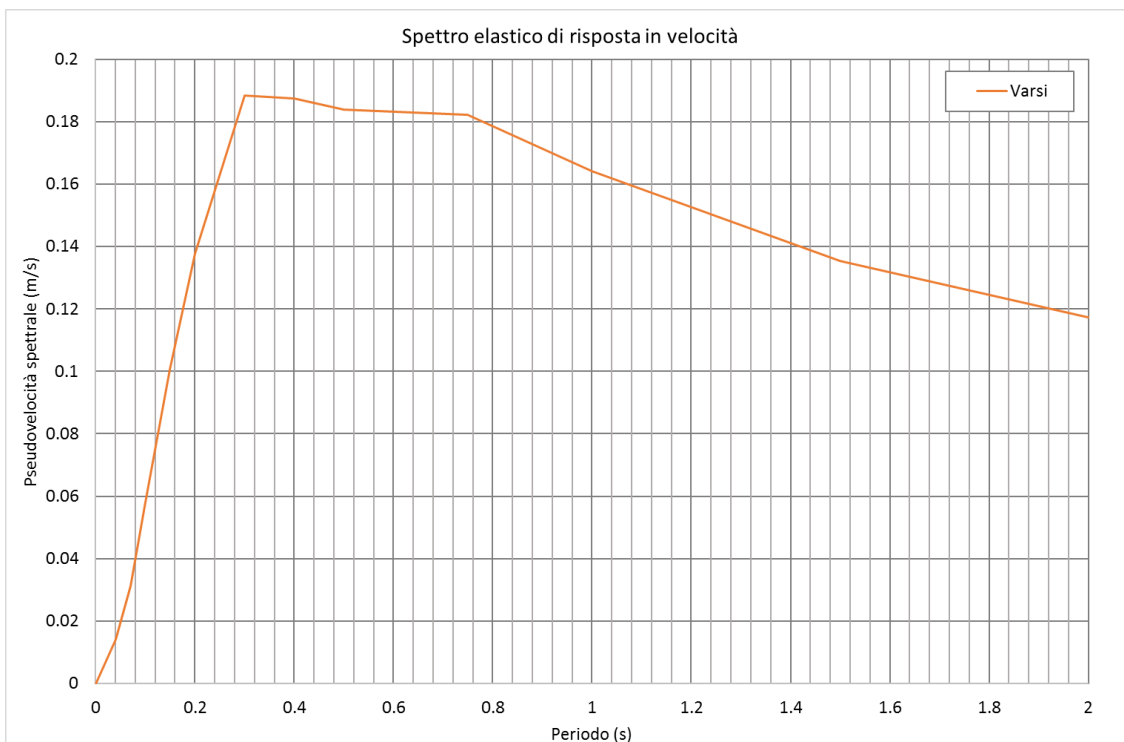
Per il Comune di Compiano il parametro  $a_{refg}$  risulta 0.195

Di conseguenza, lo spettro elastico di risposta in accelerazione (Fig. 18) 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. 19), sono i seguenti:



**Fig. 18 – Spettro di risposta elastico in accelerazione su suolo A (475Y)**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	50 di 96



**Fig. 19 - 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 112/2007<sup>2</sup>, anche quelli forniti dal software *SEISM-HOME*<sup>3</sup> di *Eucentre*.


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

Nel caso dei sismogrammi RER, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, così come rappresentato in Fig. 18, 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.

<sup>2</sup> disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica)

<sup>3</sup> Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [ 2012] “Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms”, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.

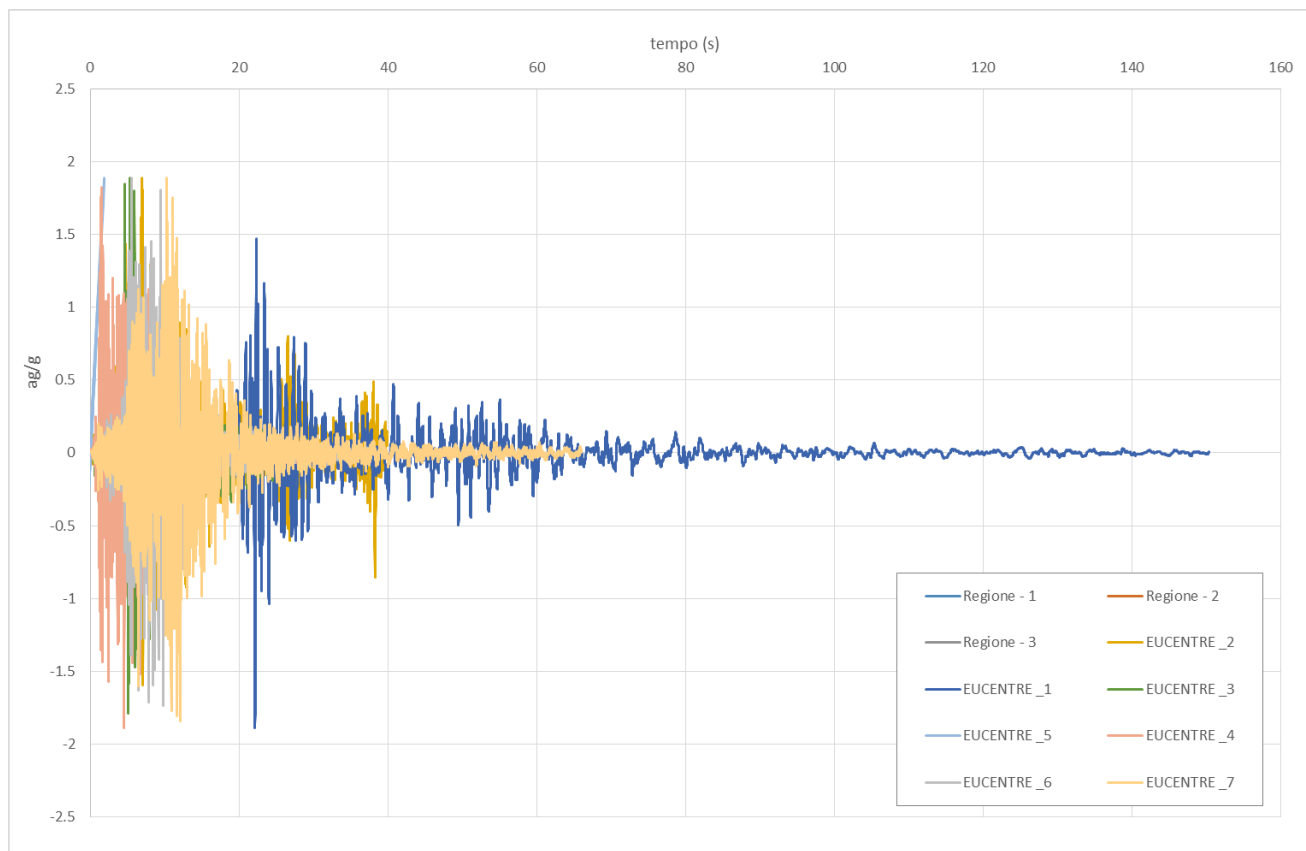
 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	51 di 96

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.

<b>Segnali RER</b>	<b>Segnali Seism-Home</b>
000046xa_034011Compiano.xy	TR475_ID16706_1-7 – tratti dai segnali:
000126xa_034011Compiano.xy	001249xa.cor
000354xa_034011Compiano.xy	000182xa.cor
	000234ya.cor
	0455x.txt
	0765y.txt
	1091y.txt
	SAG0010503201053.NS T

**Tab. 7 - Segnali in input utilizzati nelle analisi di RSL**

In Fig. 20 sono stati riportati gli accelerogrammi in input dei siti di Compiano e Sugremaro.



**Fig. 20 - Accelerogrammi in input**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI COMPIANO</b> 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

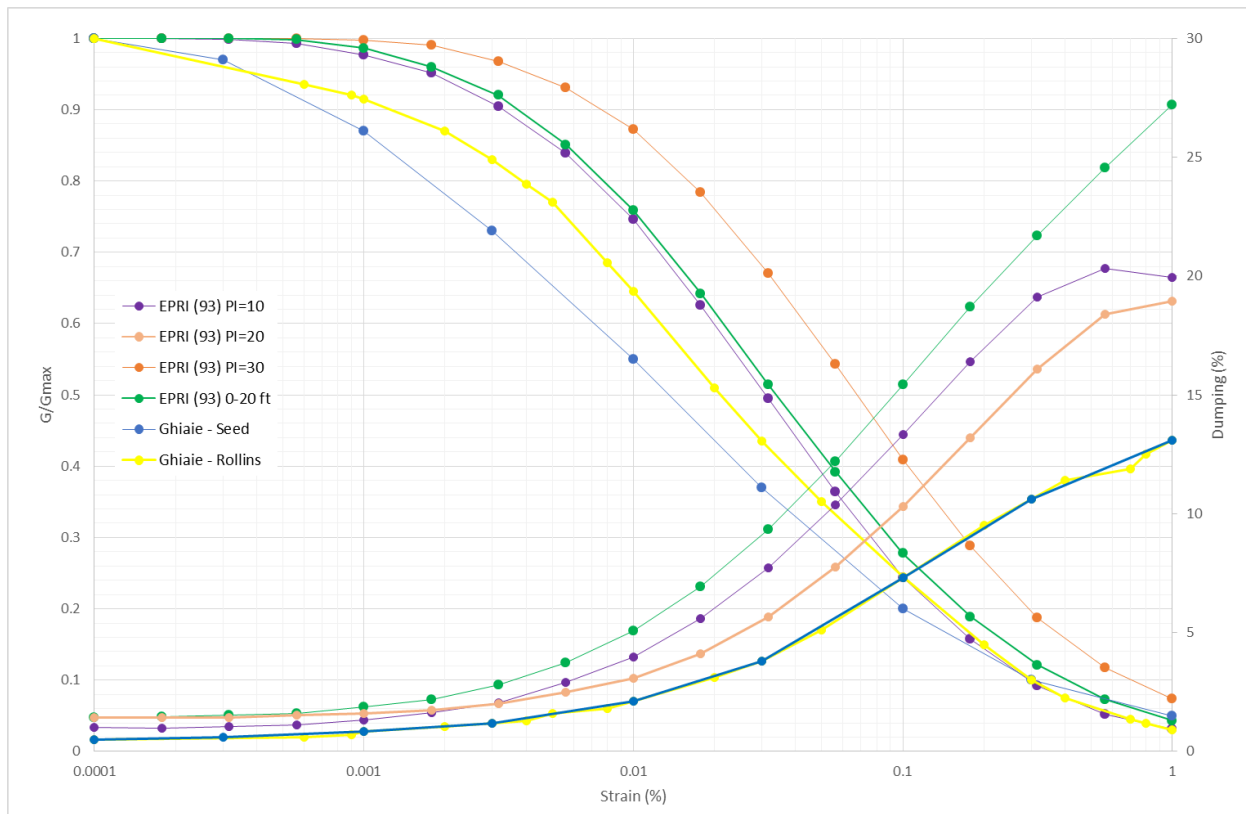
 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	53 di 96

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 sono stati utilizzate le curve di Rollins<sup>4</sup> e di Seed<sup>5</sup>.

Per il substrato alterato sono state utilizzate le curve di EPRI<sup>6</sup> 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. 21.



**Fig. 21 - Grafico delle curve  $G/G_0$  e  $D$  per tutti i tipi di terreni utilizzati**


**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 Strata<sup>7</sup> sviluppato da A. Kottke e E. Ratheje<sup>8</sup>. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer<sup>9</sup>, 2001), con esito soddisfacente.

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

<sup>5</sup> Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M., and Tokimatsu, K. (1986) "Moduli and damping factors for dynamic analysis of cohesionless soils." J. Geotech. Eng., 112~111, 1016-1032

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

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	54 di 96

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

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  $PSV(T_i) = T_i \cdot PSA(T_i) / 2\pi$ , lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output;
- La curva di variazione dell'accelerazione con la profondità;
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione ( $FA_{PGA}$ ), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità ( $FA_{IS}$ ) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido (cfr. Fig. 19). In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli

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

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

<sup>9</sup> Treasure island geotechnical array – case study for site response analysis. 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 23–26, 2011 · University of California Santa Barbara

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	55 di 96



0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

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

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

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 Sugremaro CC\_01

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi al sondaggio 034011P3SS15. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla prova HVSR H9 (in database denominata P70HVSR193). Alla stessa prova si è fatto riferimento per la funzione di trasferimento.

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Soil Types

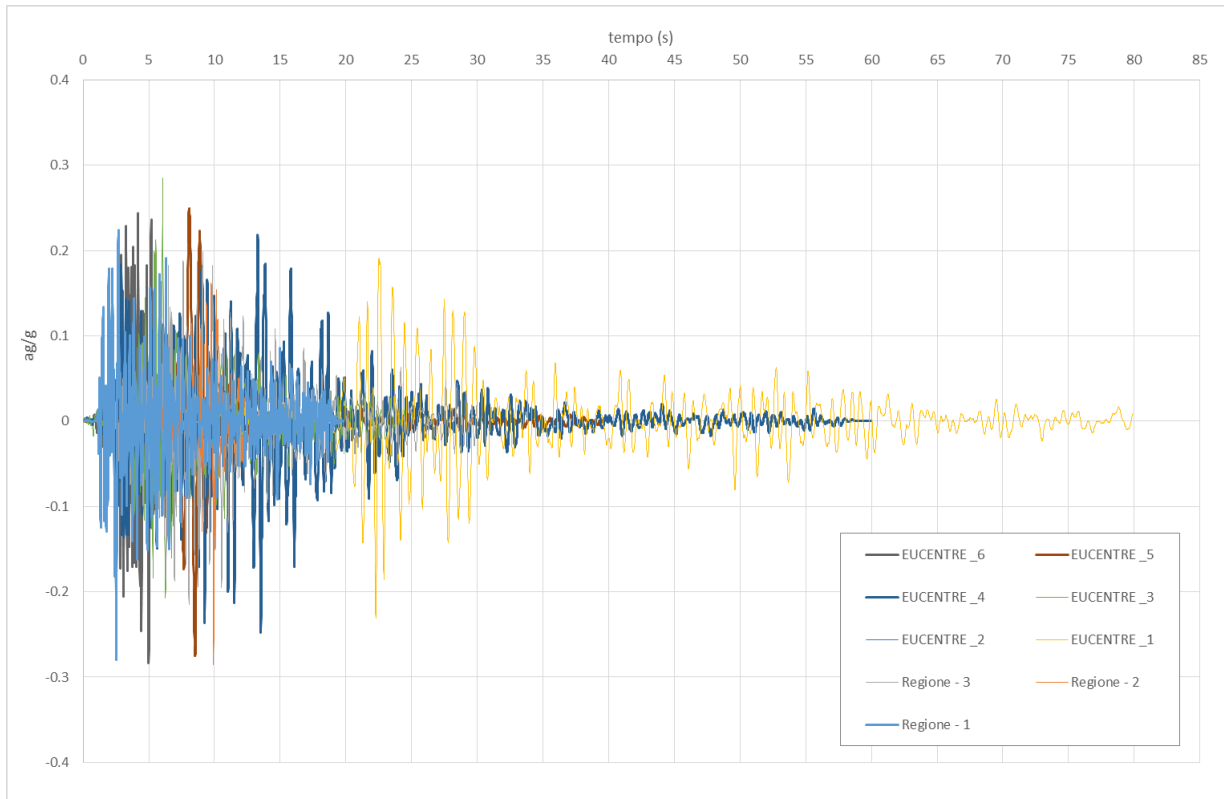
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	ghiaia+matricelimoso-sabbiosa	18.50	Ghiaia 1 - Rollins	Ghiaia 1 - Rollins	
2	ghiaia	19.00	Ghiaia 1 - Rollins	Ghiaia 1 - Rollins	
3	limo-argilla	18.00	EPRI (93) PI=10	EPRI (93), PI=10	

**Fig. 22 - Tipi di suolo del modello geofisico**

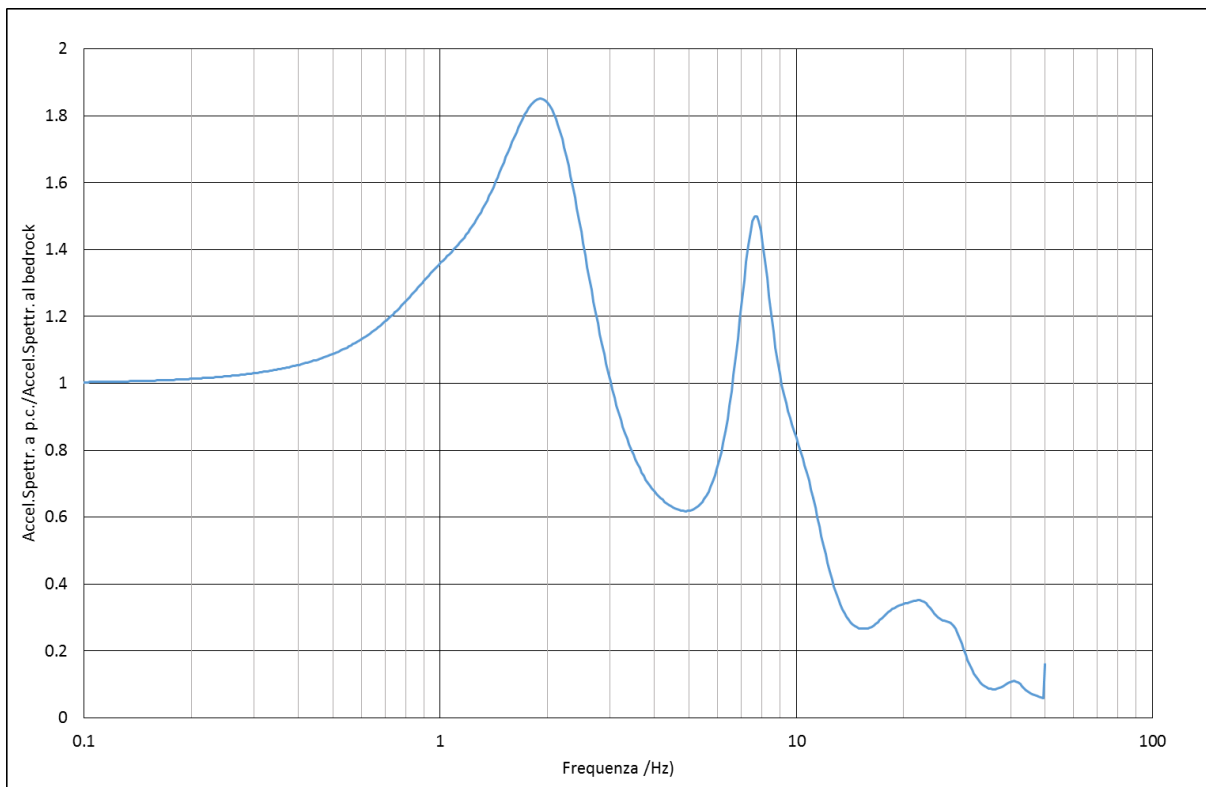
Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	4.40	ghiaia+matricelimoso-sabbiosa	200.00
2	4.40	5.00	ghiaia	325.00
3	9.40	7.00	limo-argilla	245.00
4	16.40	Half-Space	Bedrock	575.00

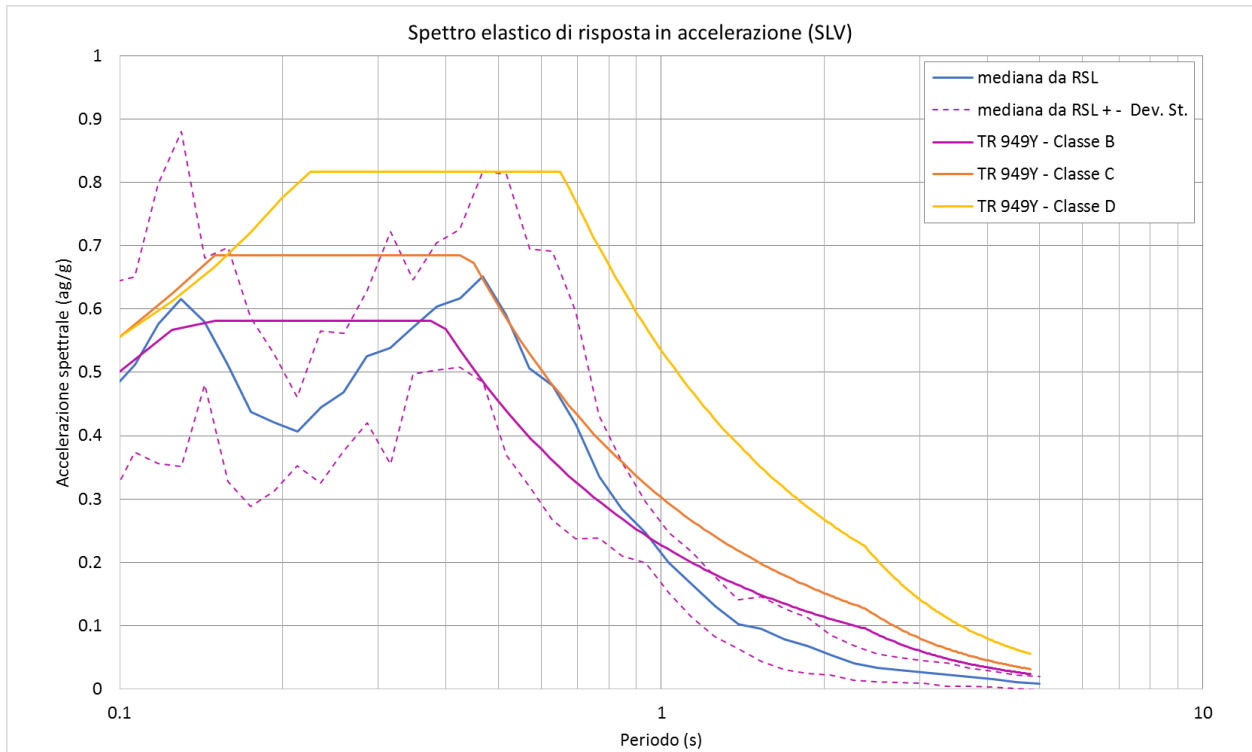
**Fig. 23 - Modello geofisico**



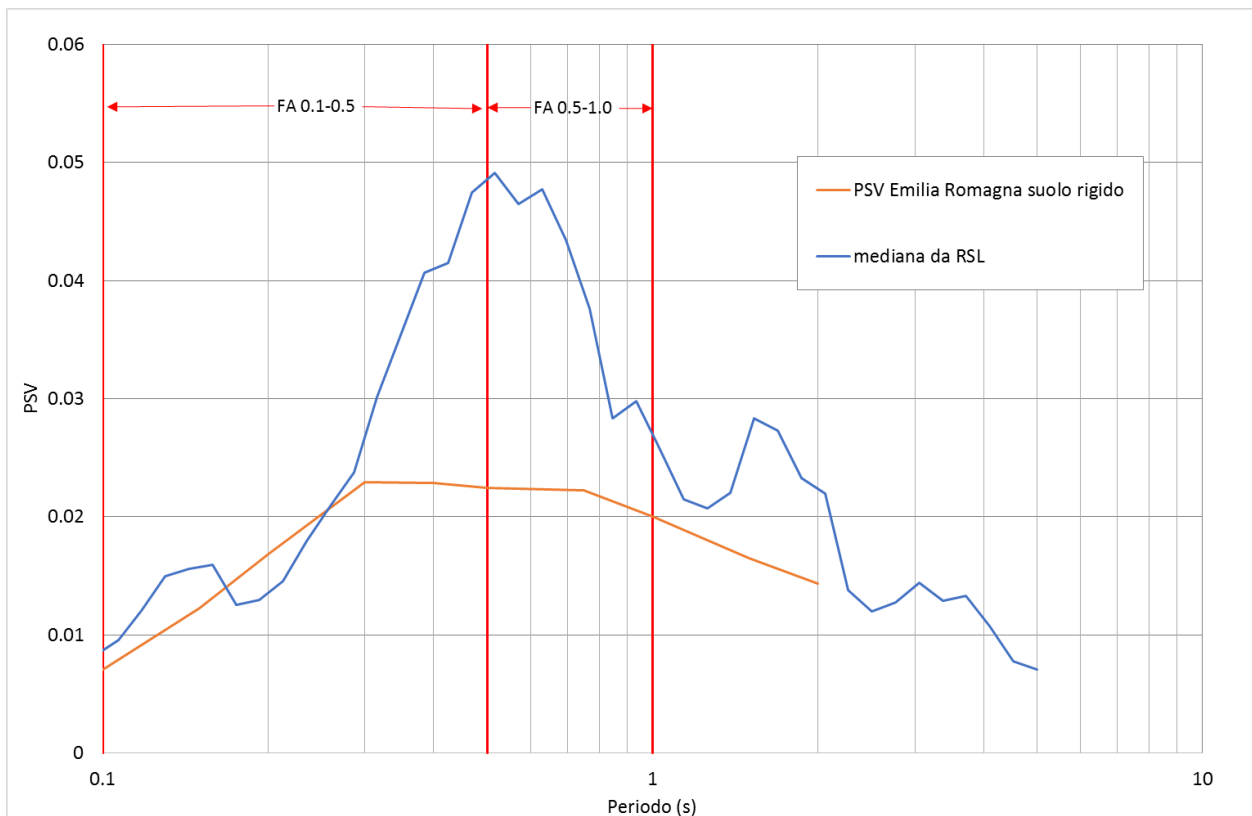
**Fig. 24 - Output accelerogrammi**




**Fig. 25 - Funzione di trasferimento**

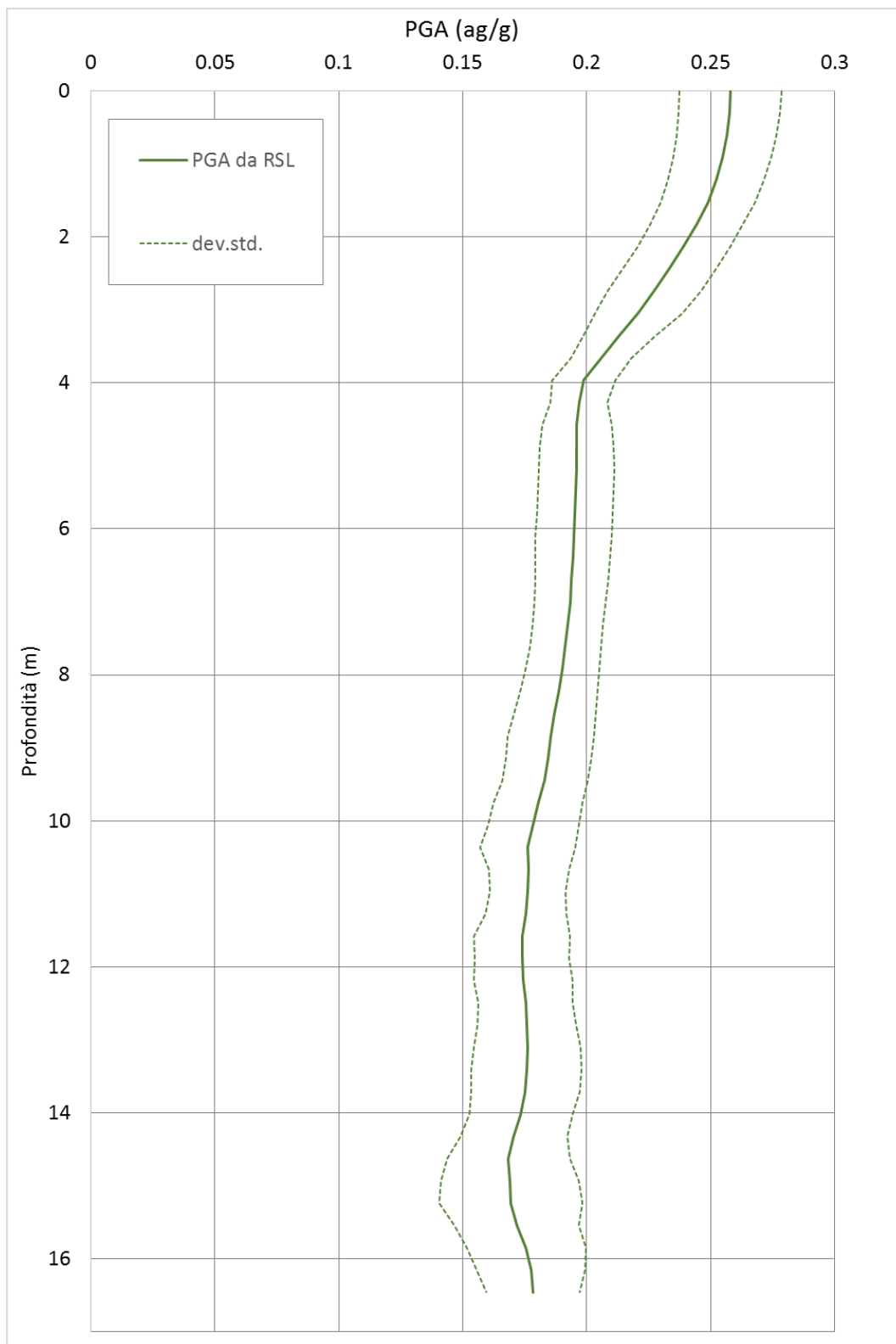


**Fig. 26 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 27 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	58 di 96



**Fig. 28 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

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

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.32	2.1*	1.47
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.49	2.3*	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.64	1.6*	

**Tab. 8 - fattori di amplificazione**

- \* Tabella appennino, bedrock << 800 m/s, VsH 250 m/s, spessore 16.5

### 9.2.7 RSL per il sito di Sugremaro CC\_05

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi al sondaggio P5S35. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW M2 (in database denominata L3MASW3), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova P55HVSR80.

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Soil Types


	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	ghiaia	20.00	Ghiaia 1 - Rollins	Ghiaia 1 - Rollins	
2	limo argilloso	18.50	EPRI (93), PI=30	EPRI (93), PI=30	
3	ghiaia addensata	22.00	Gravel Seed_1986	Gravel Seed_1986	

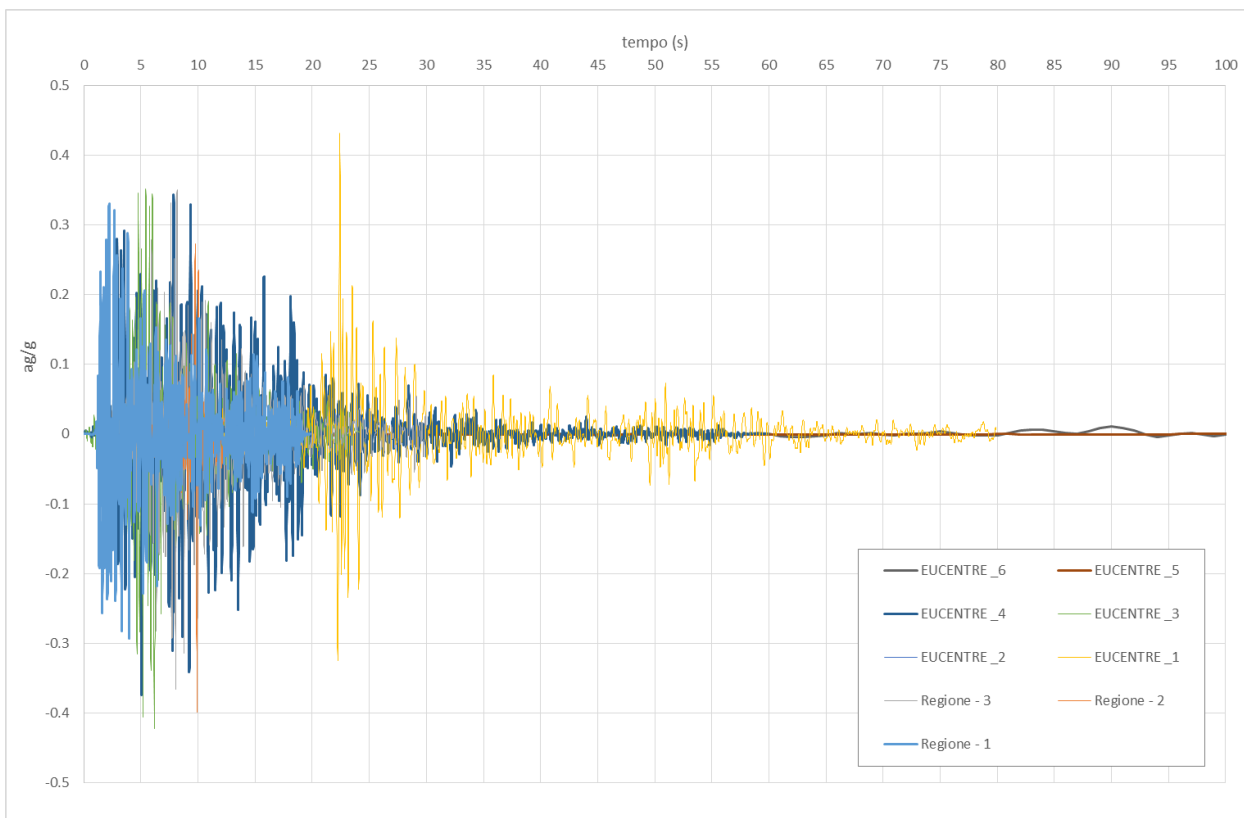
**Fig. 29 - Tipi di suolo del modello geofisico**

Site Profile

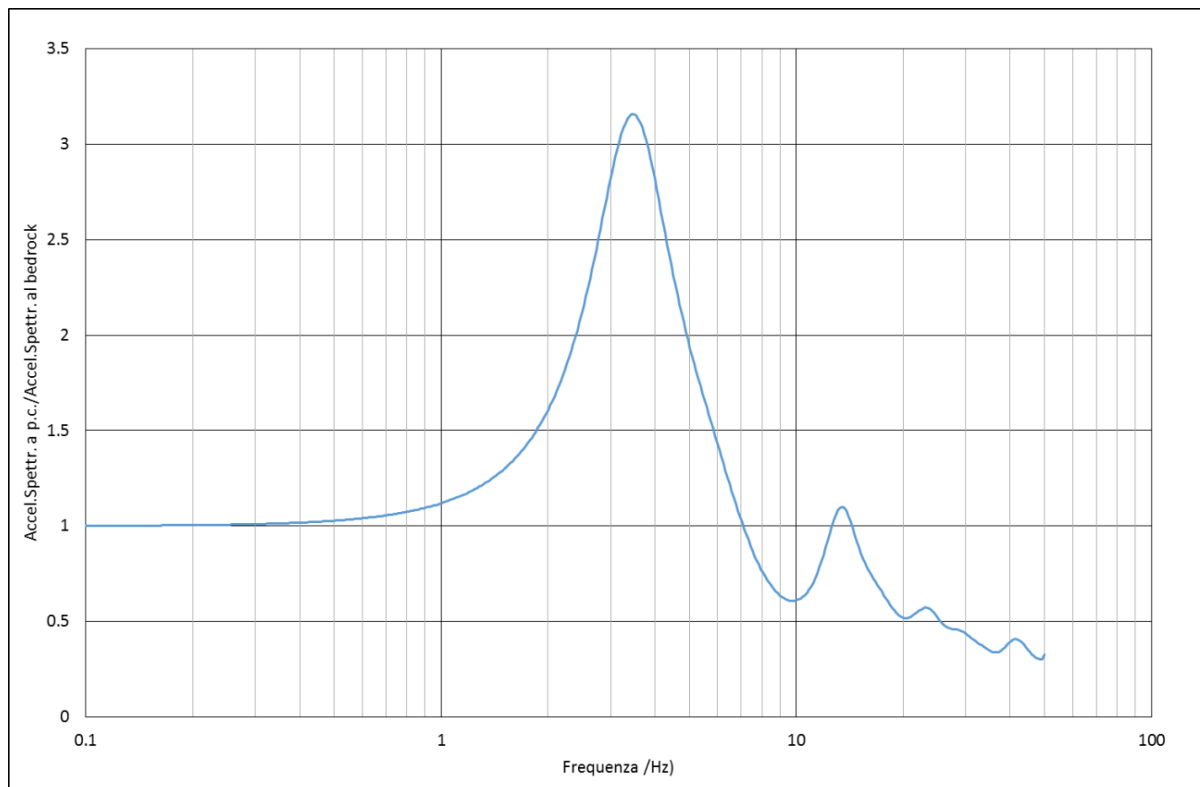
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	1.50	ghiaia	180.00
2	1.50	4.00	limo argilloso	140.00
3	5.50	16.00	ghiaia addensata	500.00
4	21.50	Half-Space	Bedrock	600.00

**Fig. 30 - Modello geofisico**

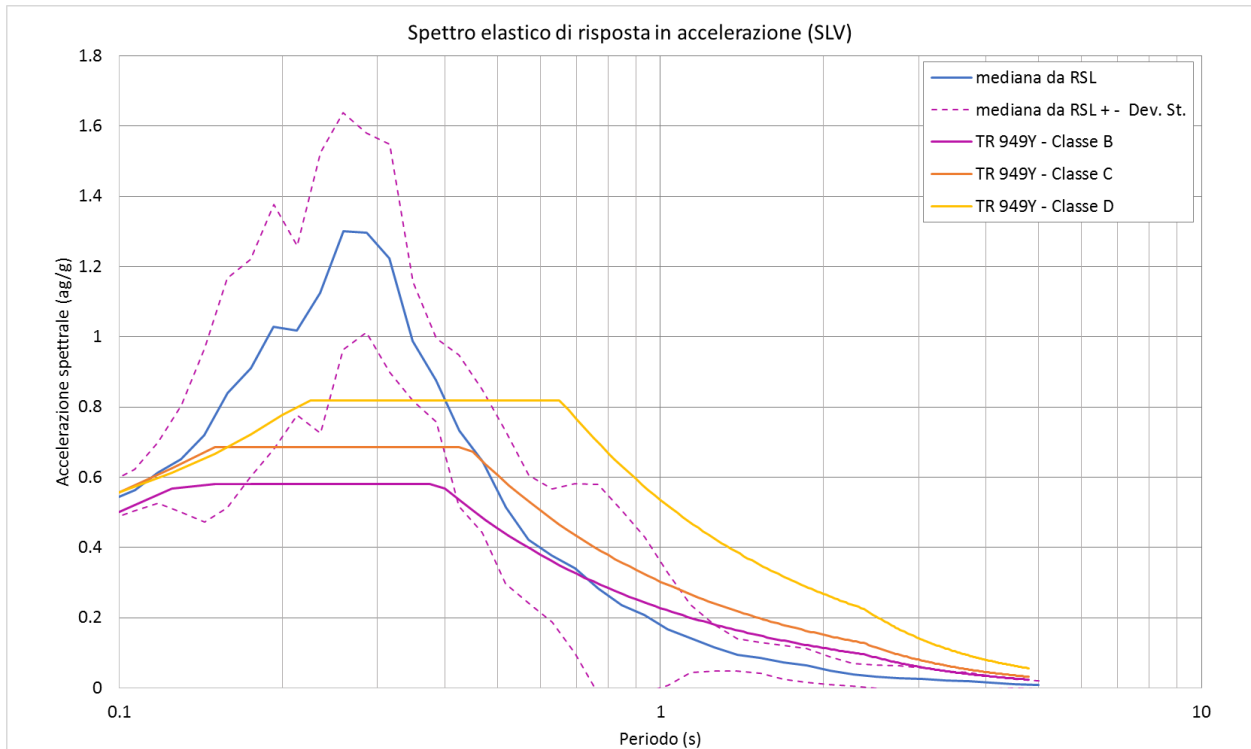
 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	60 di 96



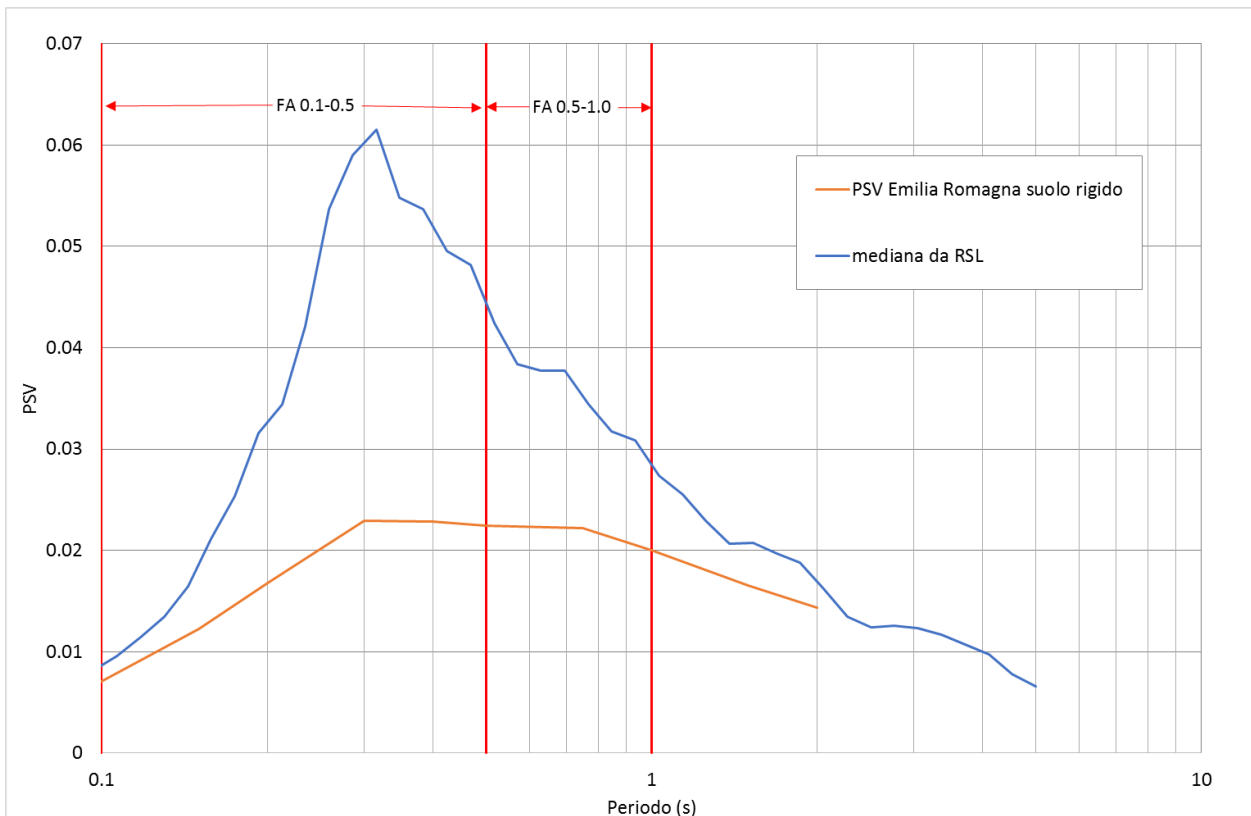
**Fig. 31 - Output accelerogrammi**



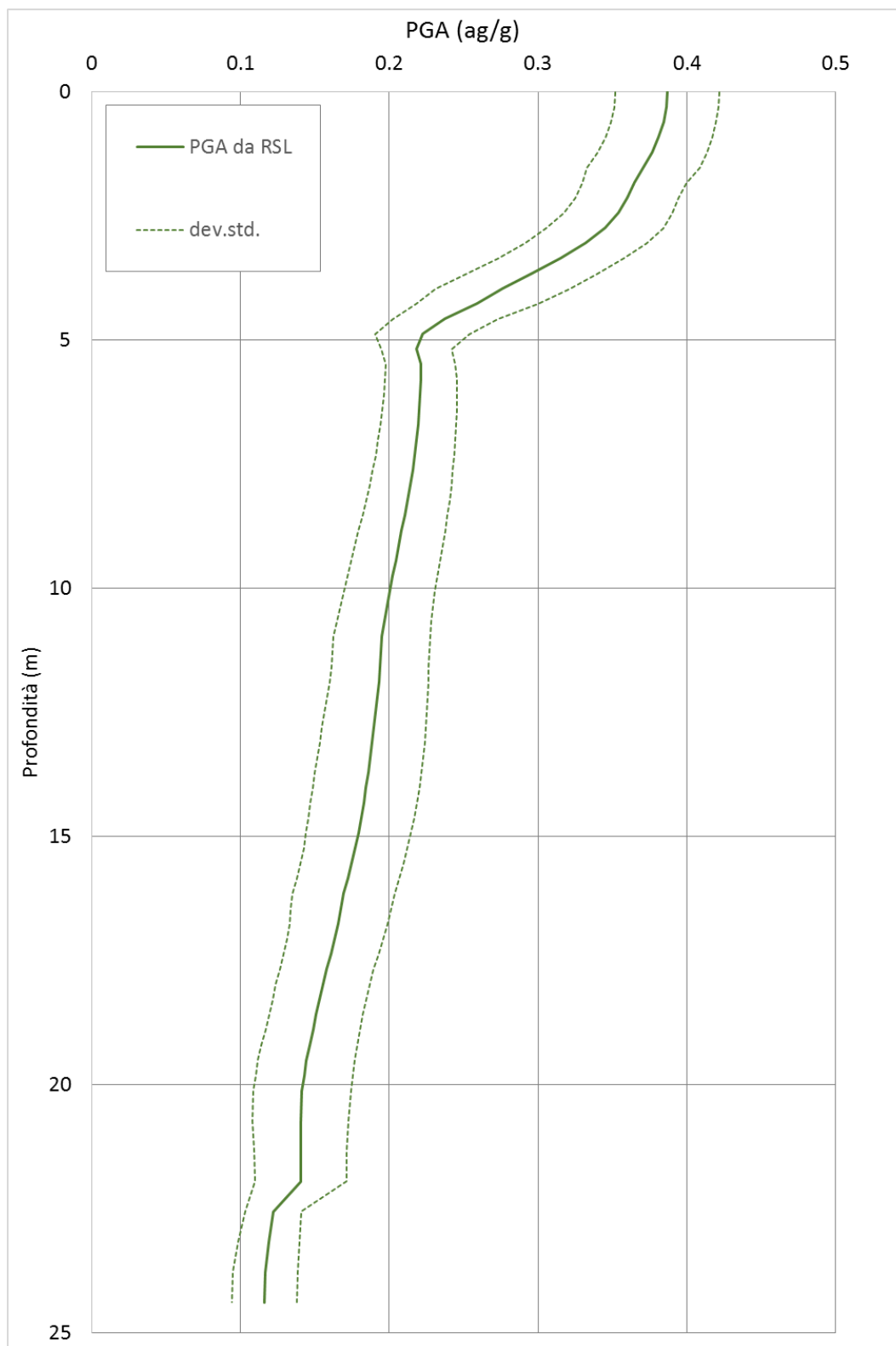
**Fig. 32 - Funzione di trasferimento**




**Fig. 33 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 34 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**



**Fig. 35 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	63 di 96



	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.99	2.3*	1.47
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	2.11	2.1*	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.55	1.4*	

**Tab. 9 – fattori di amplificazione**

- \* Tabella appennino, bedrock << 800 m/s, VsH 150 m/s, spessore 6 m

### 9.2.8 RSL per il sito di Sugremaro CC\_07

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi al sondaggio P7S46. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW M1 (in database denominata L2MASW2), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova HVSR2 (in database denominata P63HVSR186).

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Soil Types

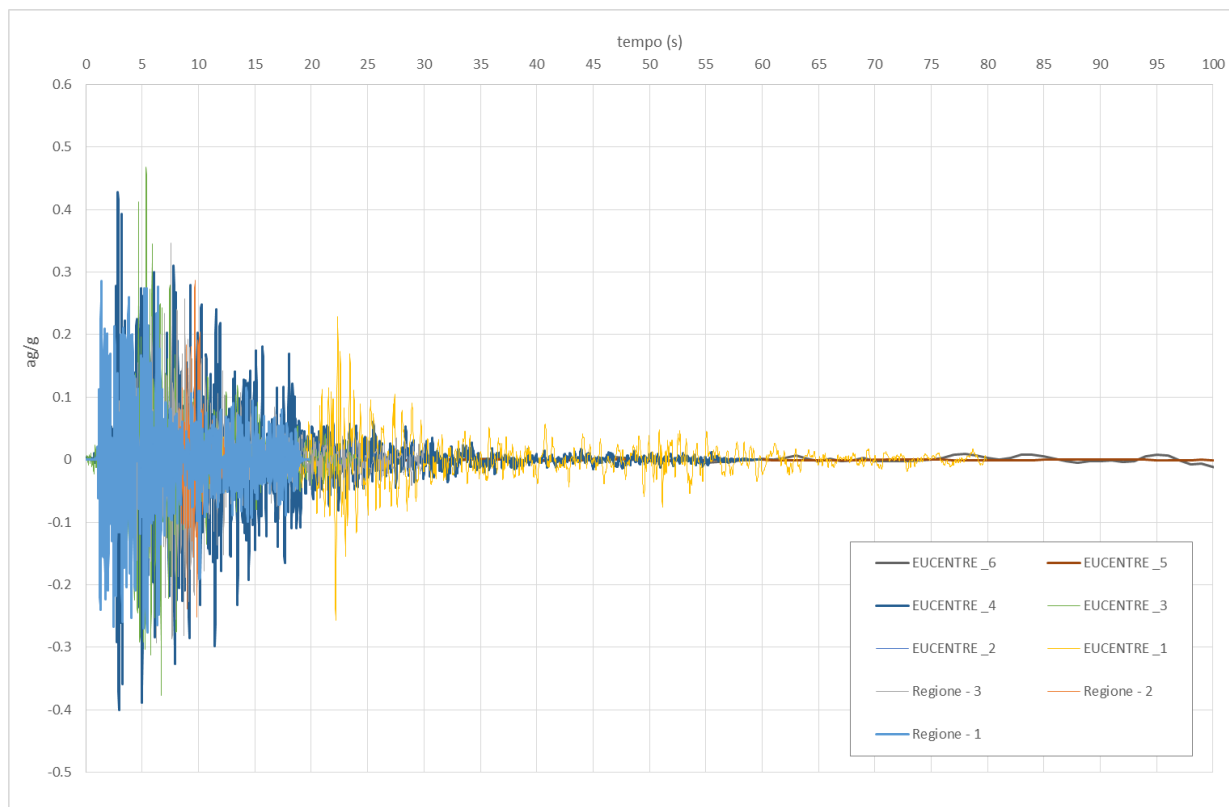
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	ghiaia	20.00	Gravel Rollins_1	Gravel Rollins_1	
2	argilla	18.50	EPRI (93), PI=30	EPRI (93), PI=30	

**Fig. 36 – Tipi di suolo del modello geofisico**

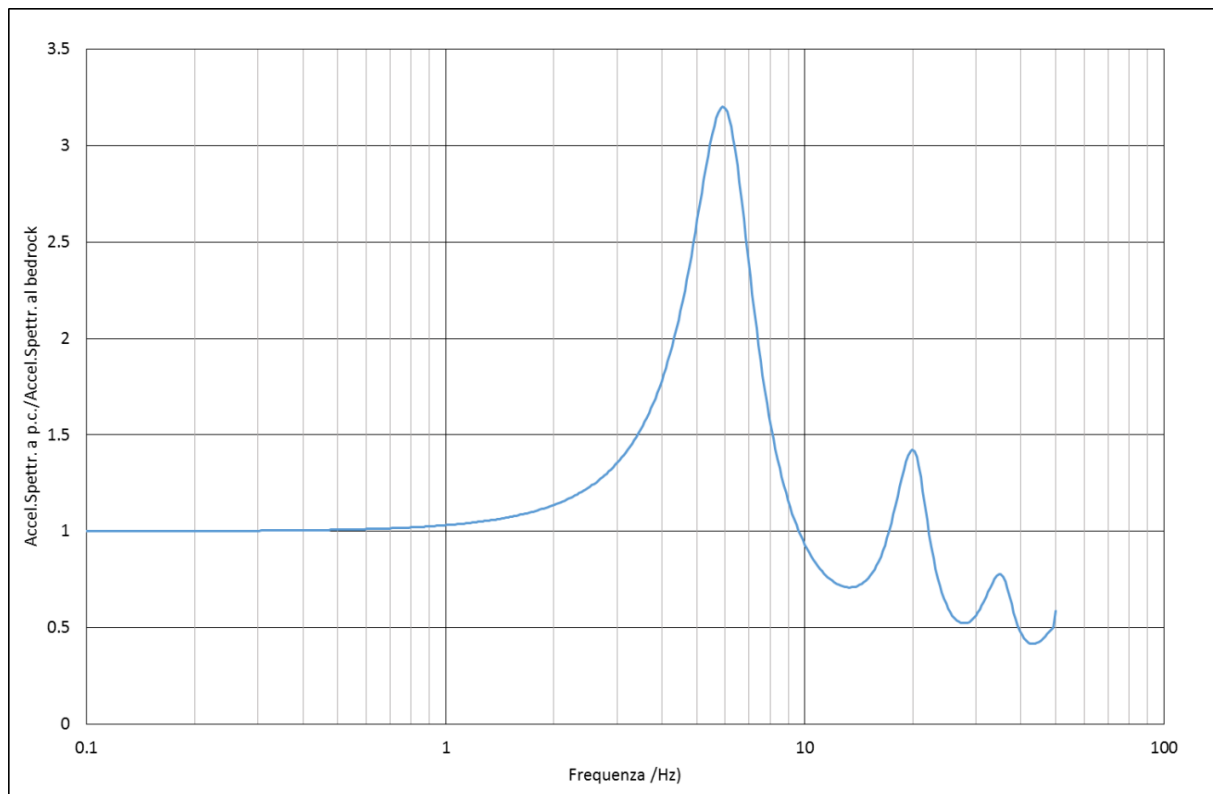
Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	1.50	ghiaia	320.00
2	1.50	4.50	argilla	185.00
3	6.00	Half-Space	Bedrock	700.00


**Fig. 37 – Modello geofisico**

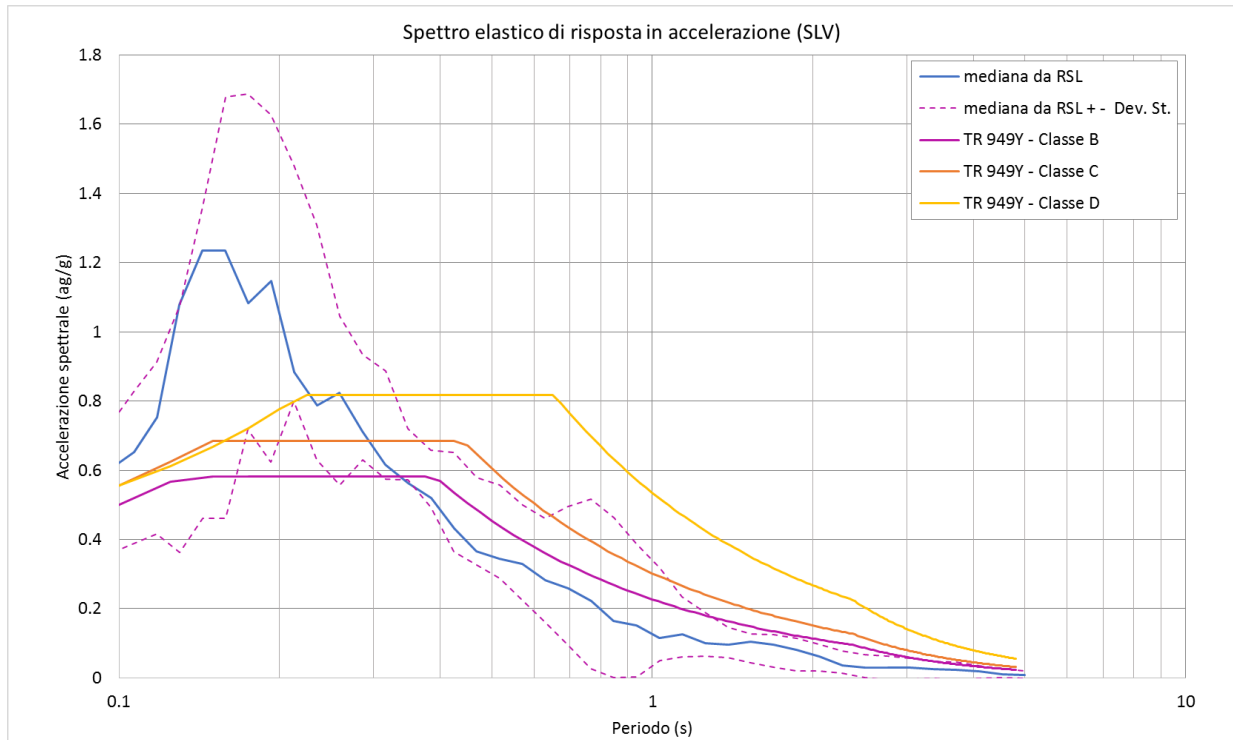


**Fig. 38 - Output accelerogrammi**

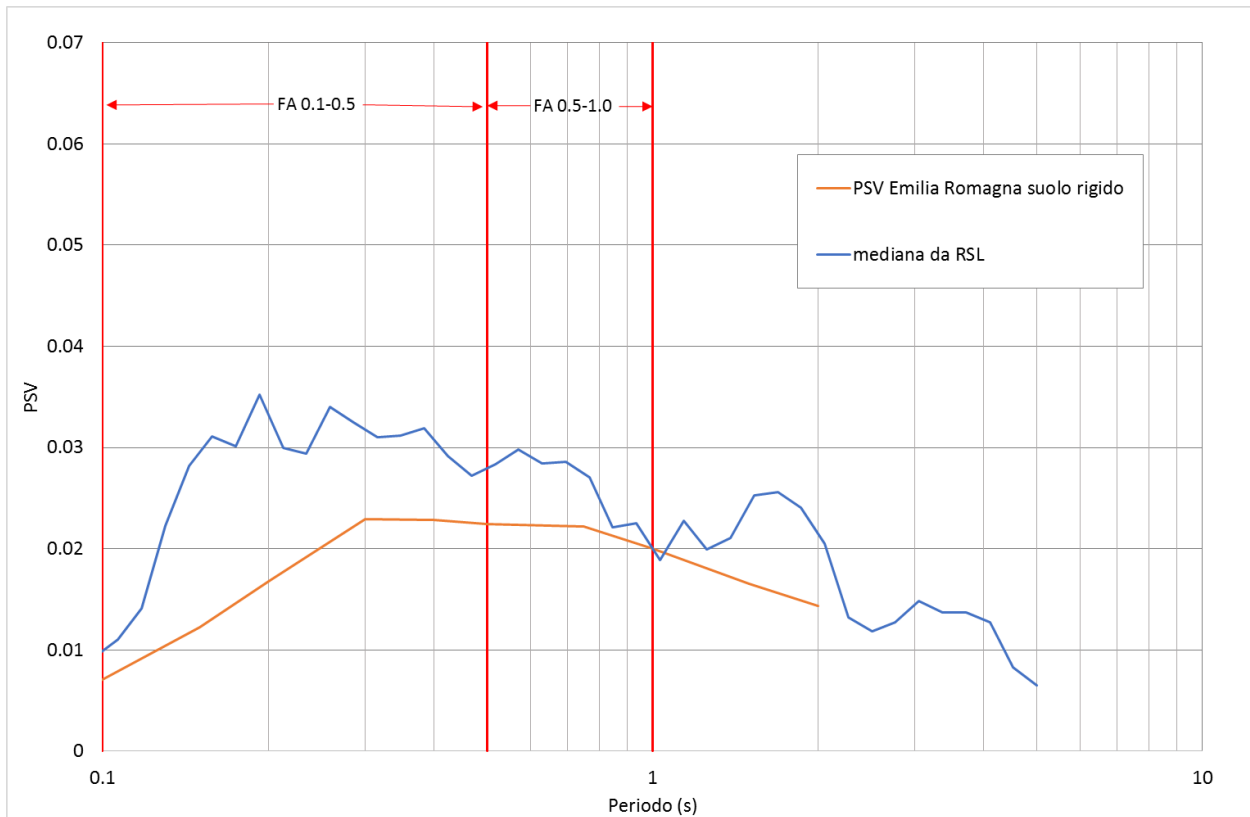


**Fig. 39 - Funzione di trasferimento**

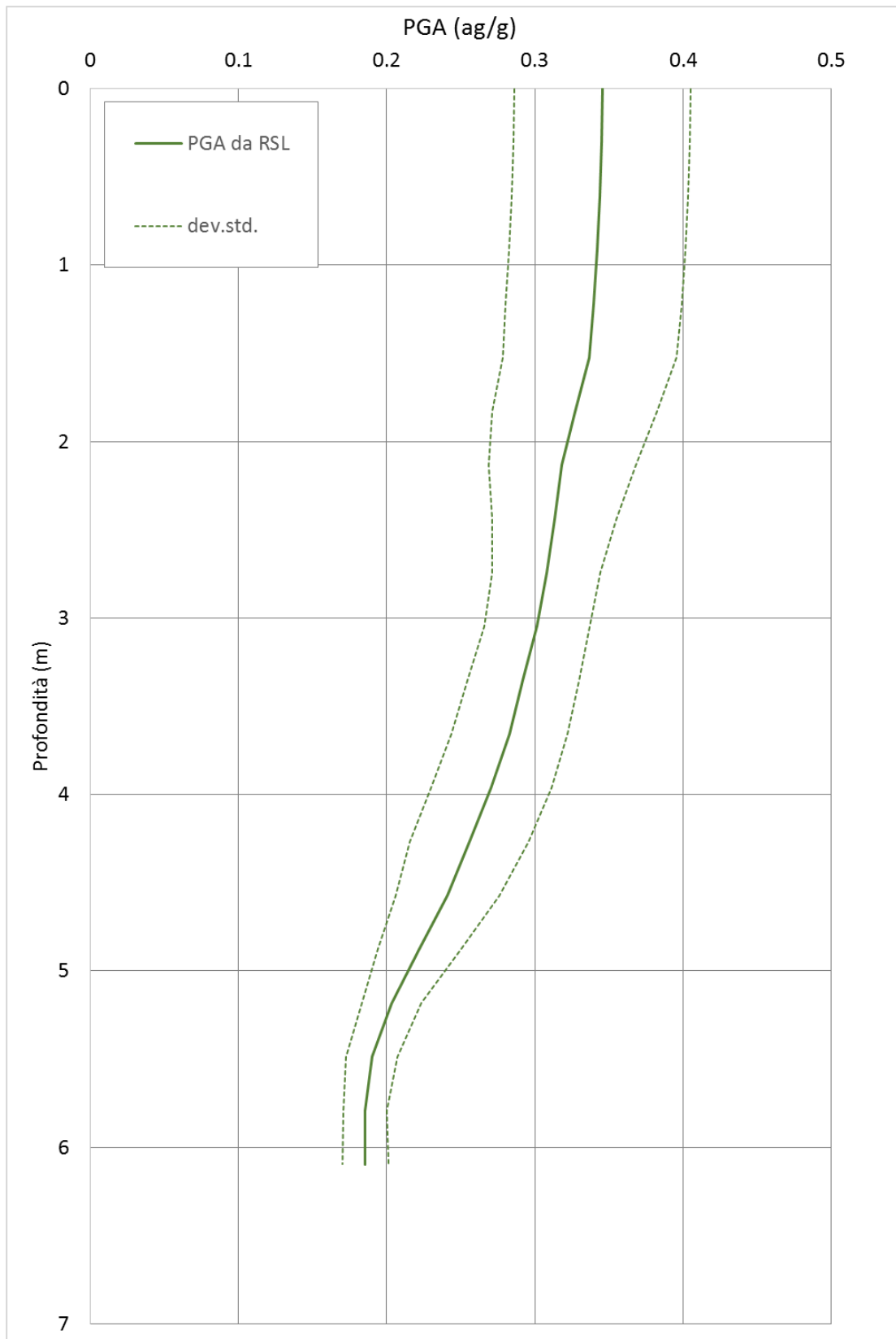
 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	65 di 96



**Fig. 40 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 41 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**



**Fig. 42 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

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

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.78	2.0*	1.47
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.54	1.7*	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.15	1.4*	

**Tab. 10 – fattori di amplificazione**

- \* Tabella appennino, bedrock << 800 m/s, VsH 200 m/s, spessore 6 m

### 9.2.9 RSL per il sito di Sugremaro PP1

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi alla prova penetrometrica PP1 M1 (in database denominata P52CPT175). Le velocità Vs sono state desunte dalla prova HVSR P39HVSR84 che è stata utilizzata anche per il confronto con la funzione di trasferimento.

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

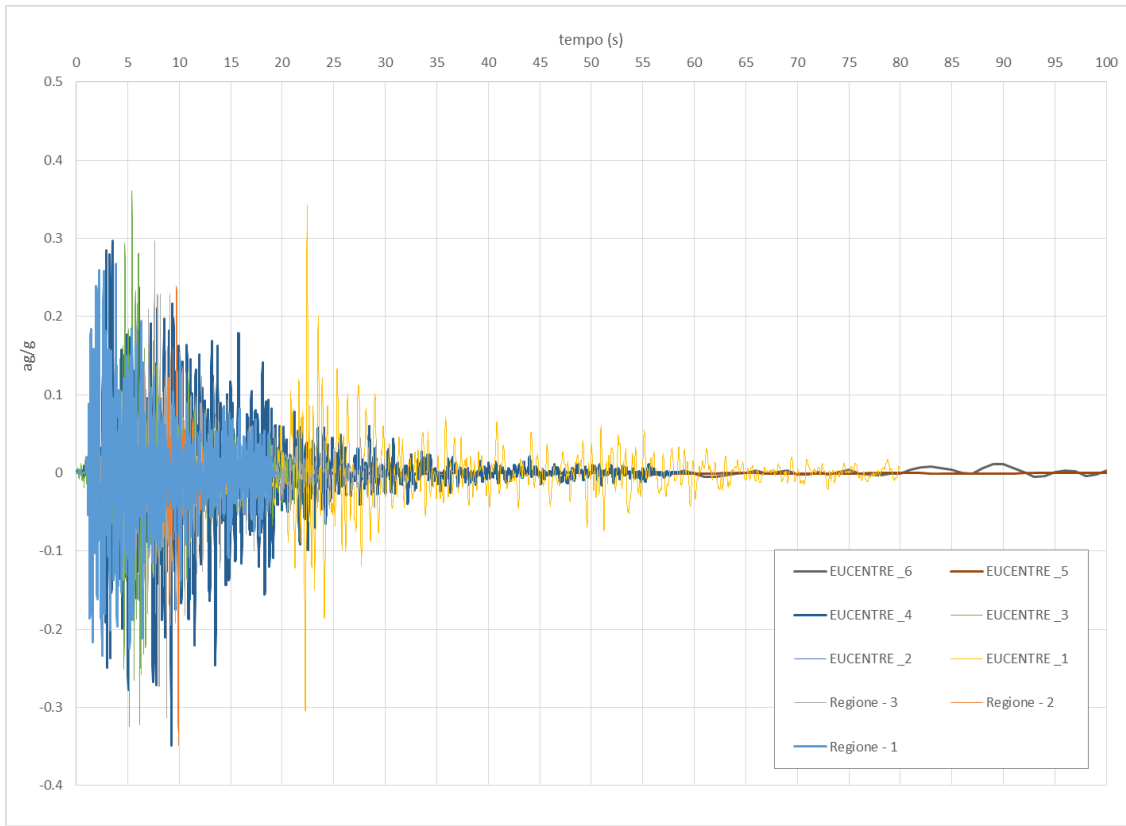
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	Frana	18.50	Frana RER	Frana RER	
2	Unità Compiano	20.00	Ghiaia 1 - Rollins	Ghiaia 1 - Rollins	

**Fig. 43 – Tipi di suolo del modello geofisico**

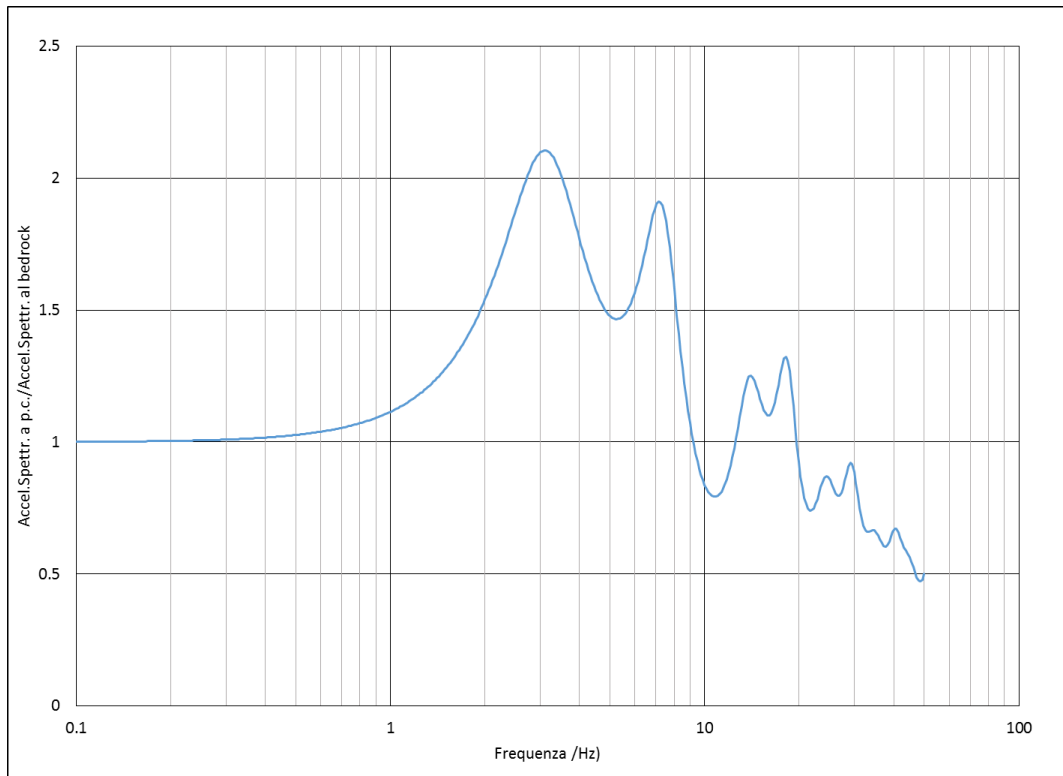
Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	8.00	Frana	200.00
2	8.00	14.40	Unità Compiano	400.00
3	22.40	Half-Space	Bedrock	500.00


**Fig. 44 – Modello geofisico**

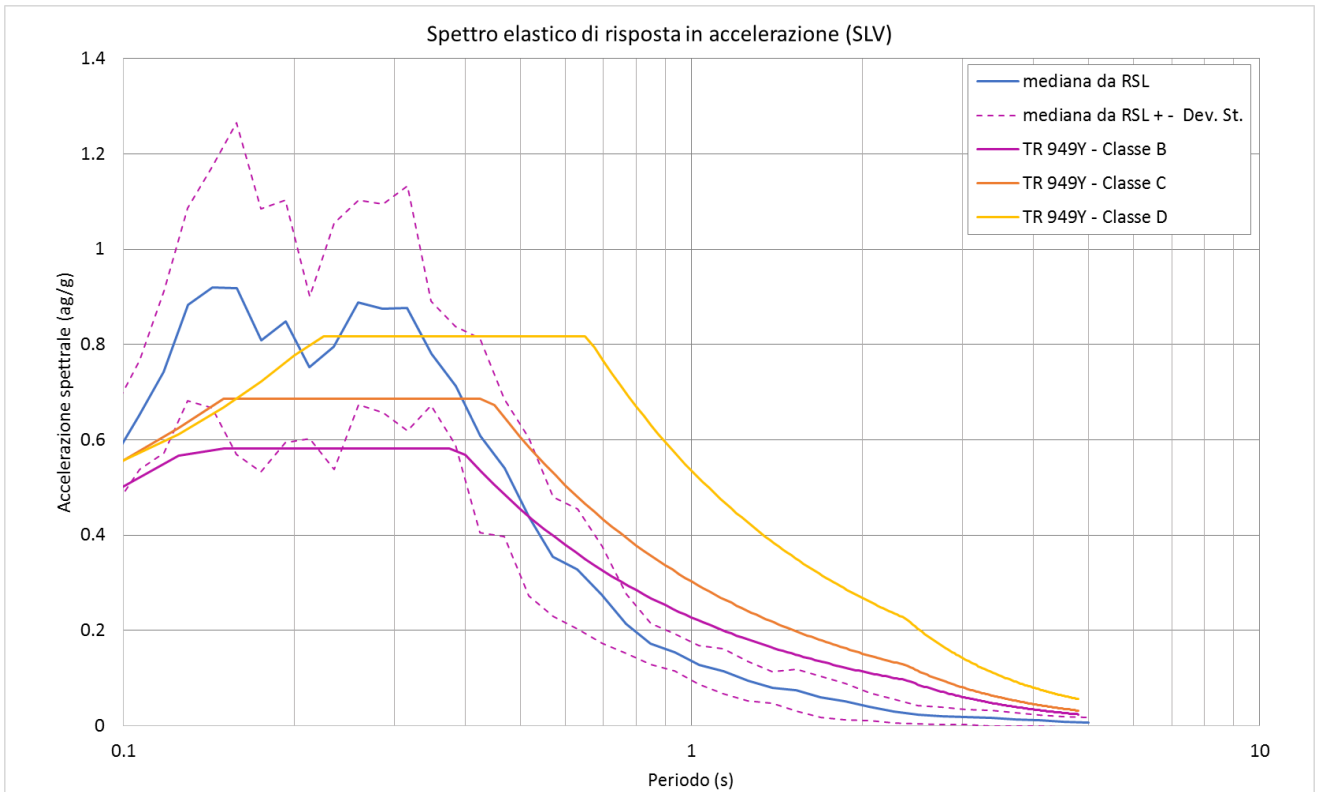


**Fig. 45 - Output accelerogrammi**

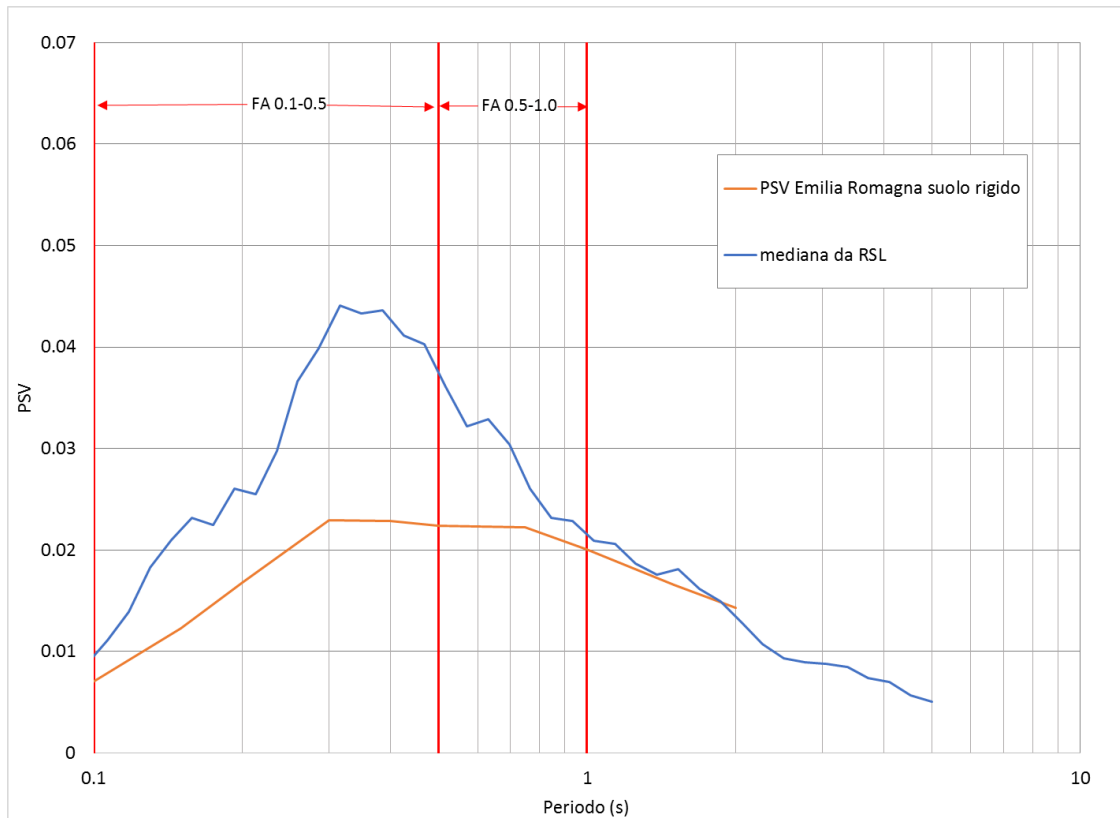


**Fig. 46 - Funzione di trasferimento**

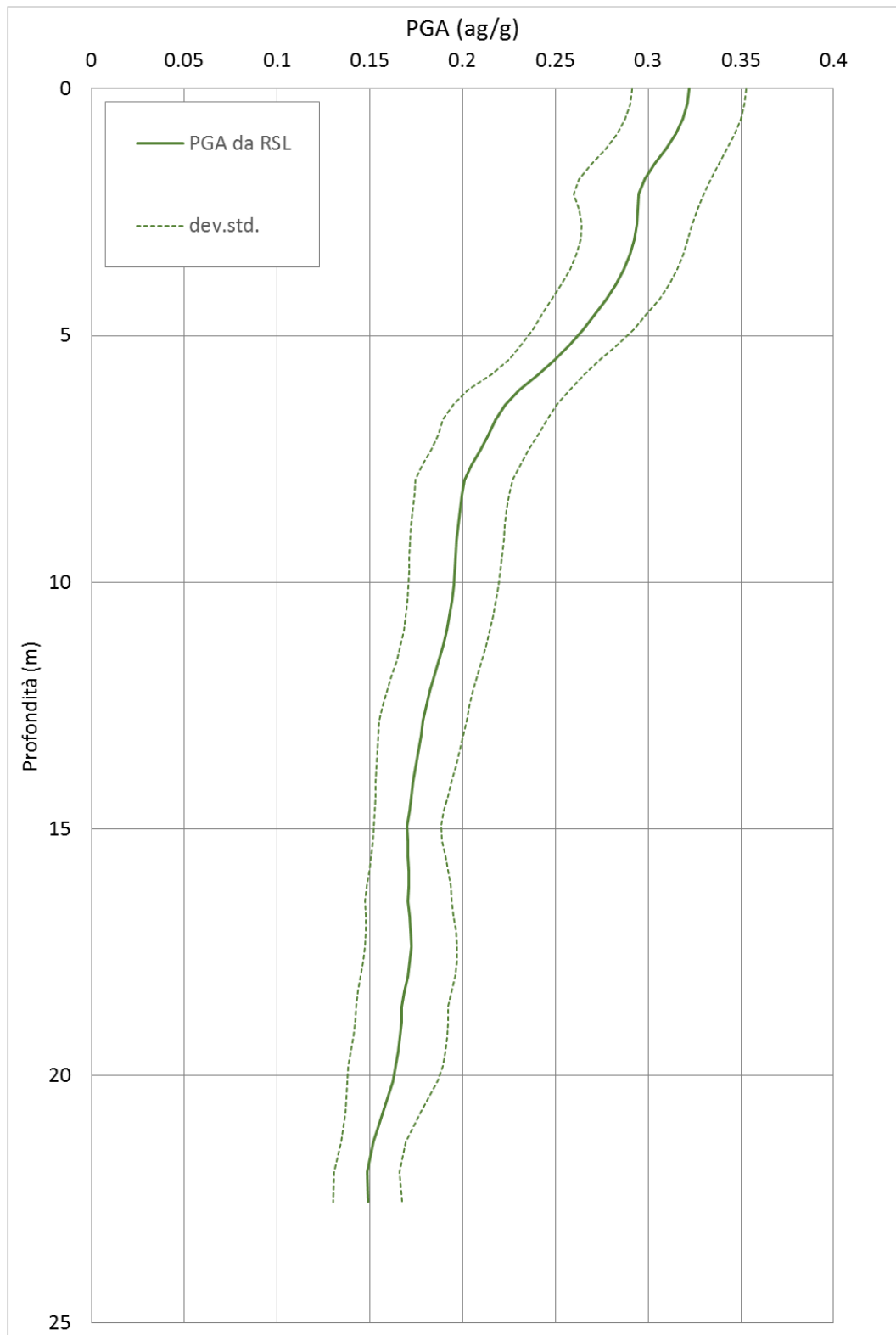
 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	69 di 96



**Fig. 47 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 48 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**



**Fig. 49 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**



	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.65	2.2*	1.47
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.74	2.3*	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.21	1.6*	

**Tab. 11 – fattori di amplificazione**

- \* Tabella appennino, bedrock << 800 m/s, VsH 200 m/s, spessore 8 m

### 9.2.10 RSL per il sito di Compiano S1.1

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi al sondaggio P44S152. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW M3 (in database denominata L4MASW4), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova HVSR H7 (in database denominata P68HVSR191).

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

#### Soil Types

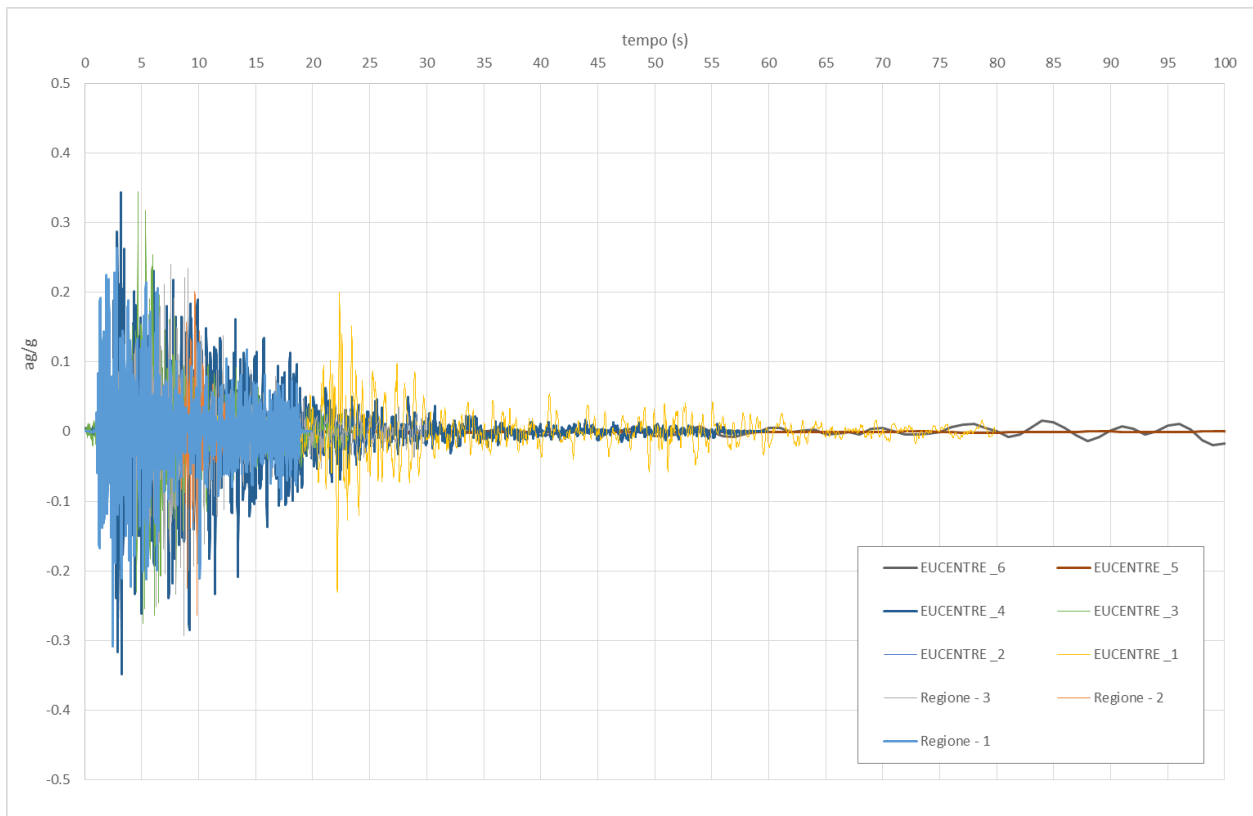
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	Copertura coesiva	18.00	EPRI (93) PI=10	EPRI (93), PI=10	
2	sabbia-limo+ghiaia	19.00	EPRI (93), 0-20 ft	EPRI (93), 0-20 ft	

**Fig. 50 – Tipi di suolo del modello geofisico**

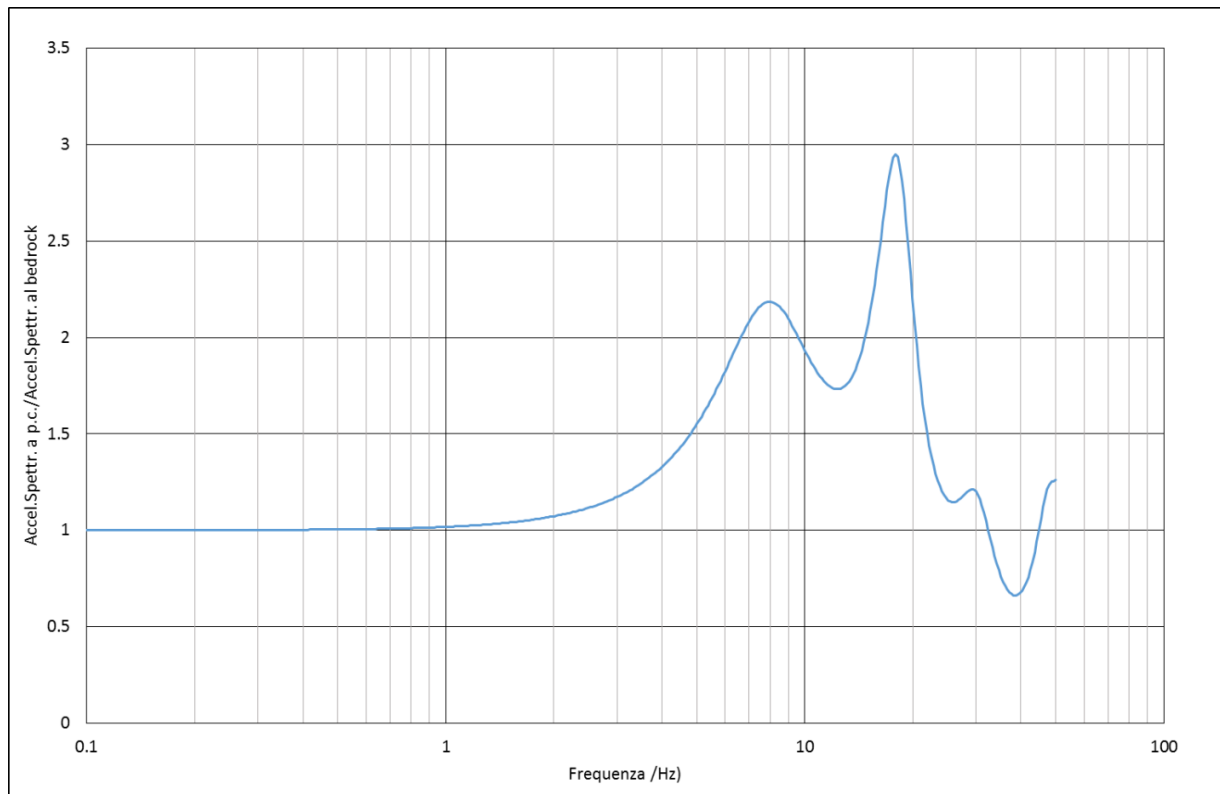
#### Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	1.80	Copertura coesiva	155.00
2	1.80	8.50	sabbia-limo+ghiaia	375.00
3	10.30	Half-Space	Bedrock	600.00


**Fig. 51 – Modello geofisico**

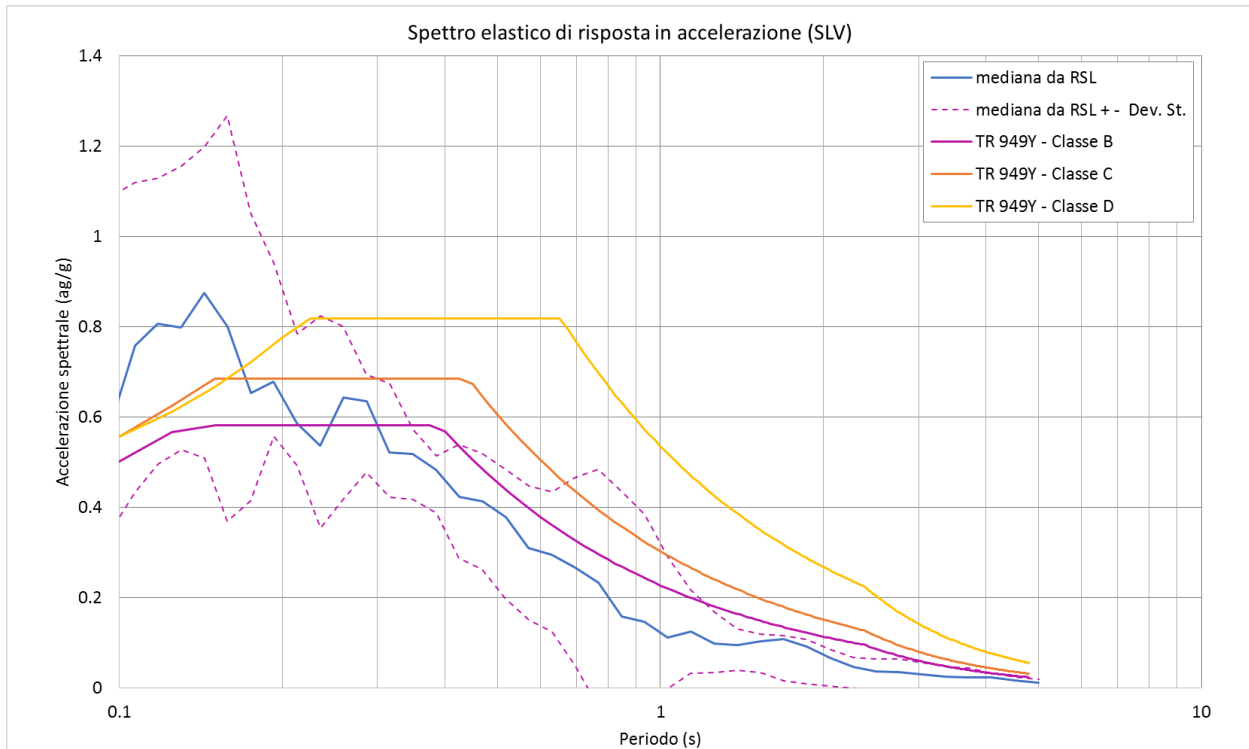


**Fig. 52 - Output accelerogrammi**

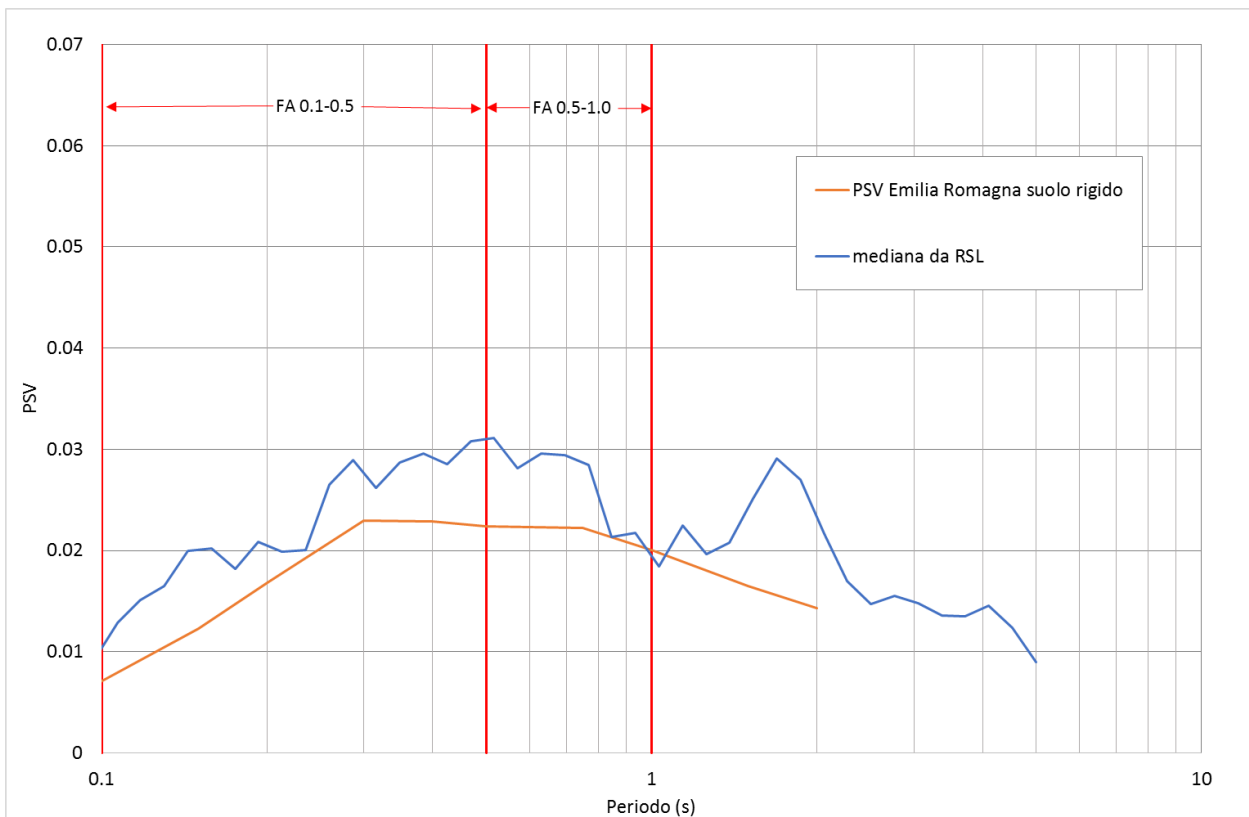


**Fig. 53 - Funzione di trasferimento**

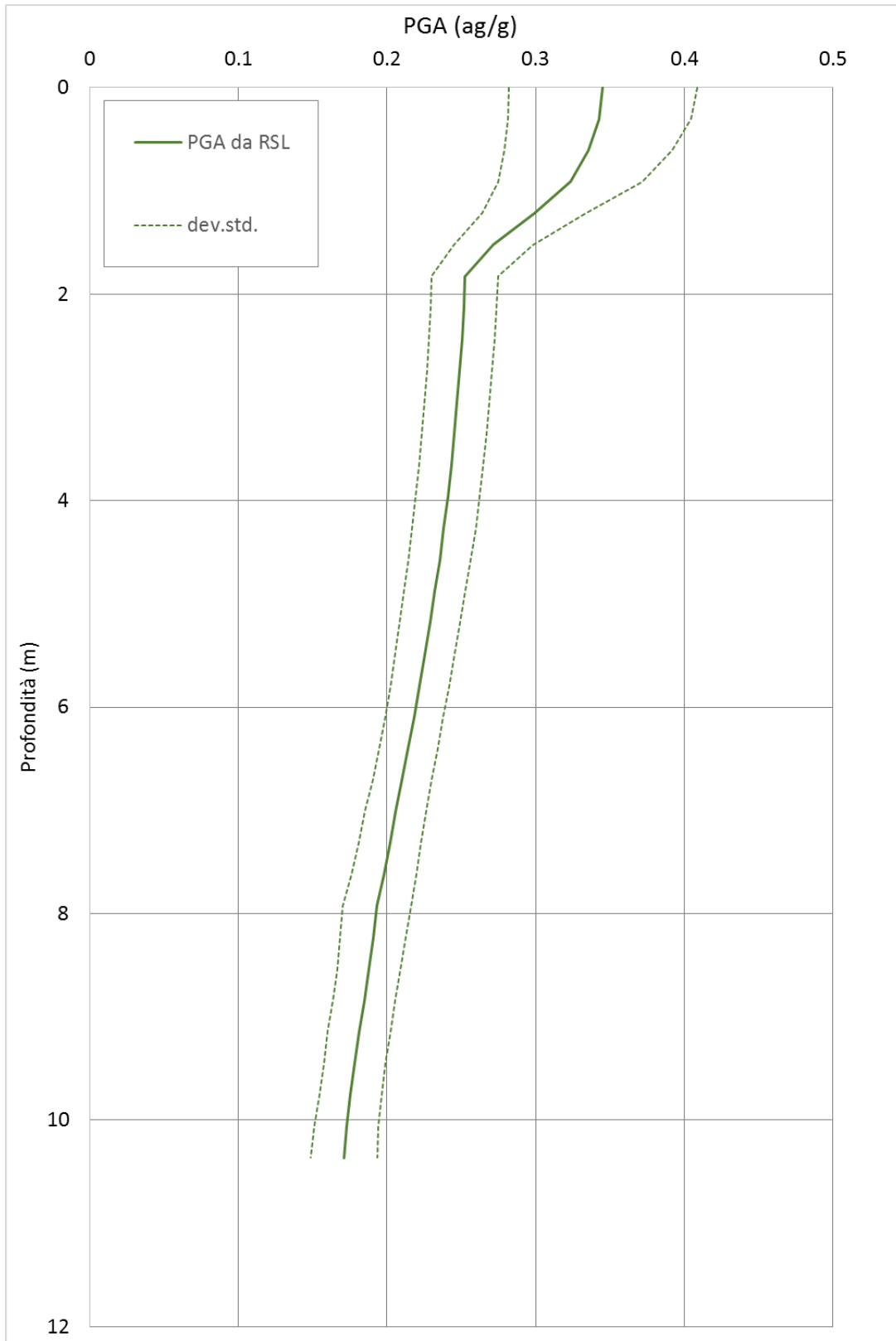
	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	73 di 96



**Fig. 54 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 55 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**



**Fig. 56 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

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

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.77	1.8*	1.2
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.32	1.6*	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.14	1.3*	

**Tab. 12 – fattori di amplificazione**

- \* Tabella appennino, bedrock << 800 m/s, VsH 200 m/s, spessore 6 m

### 9.2.11 RSL per il sito di Compiano S1.3

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi al sondaggio P41S110. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW M3 (in database denominata L4MASW4), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova P32HVS77.

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

#### Soil Types


	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	Ghiaia	20.00	Gravel Rollins_3	Gravel Rollins_3	
2	Argille-limose plastiche	18.50	EPRI (93), PI=30	EPRI (93), PI=30	
3	Limo e limo sabbioso	19.00	EPRI (93) PI=10	EPRI (93), PI=10	

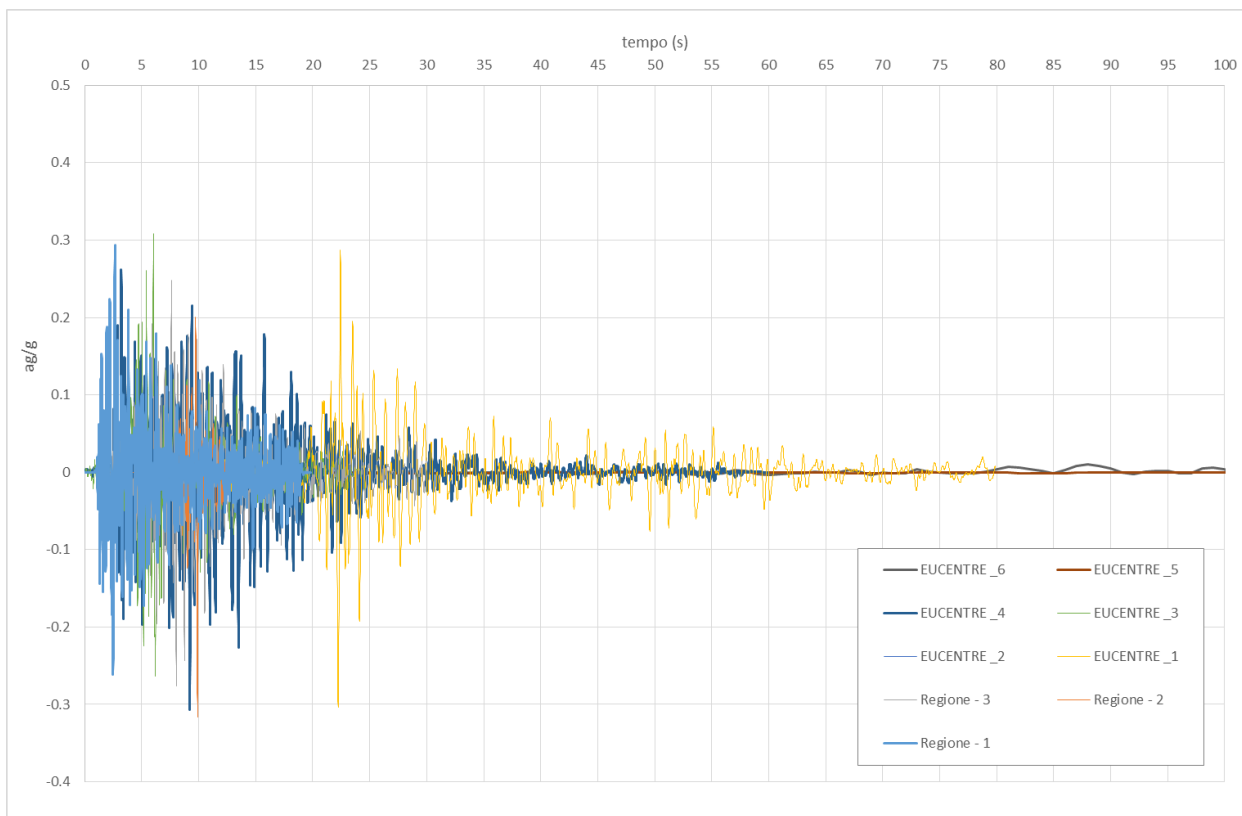
**Fig. 57 – Tipi di suolo del modello geofisico**

#### Site Profile

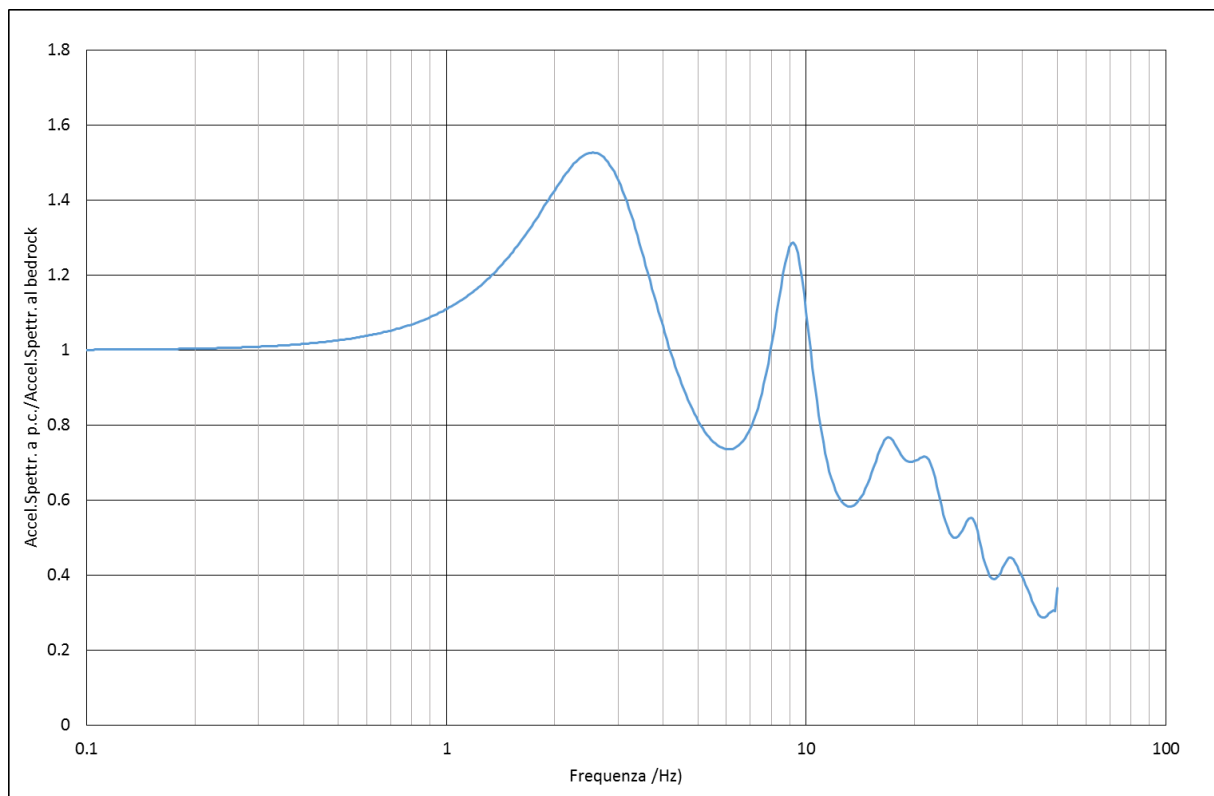
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	14.00	Ghiaia	450.00
2	14.00	10.00	Argille-limose plastiche	580.00
3	24.00	9.00	Limo e limo sabbioso	480.00
4	33.00	Half-Space	Bedrock	700.00

**Fig. 58 – Modello geofisico**

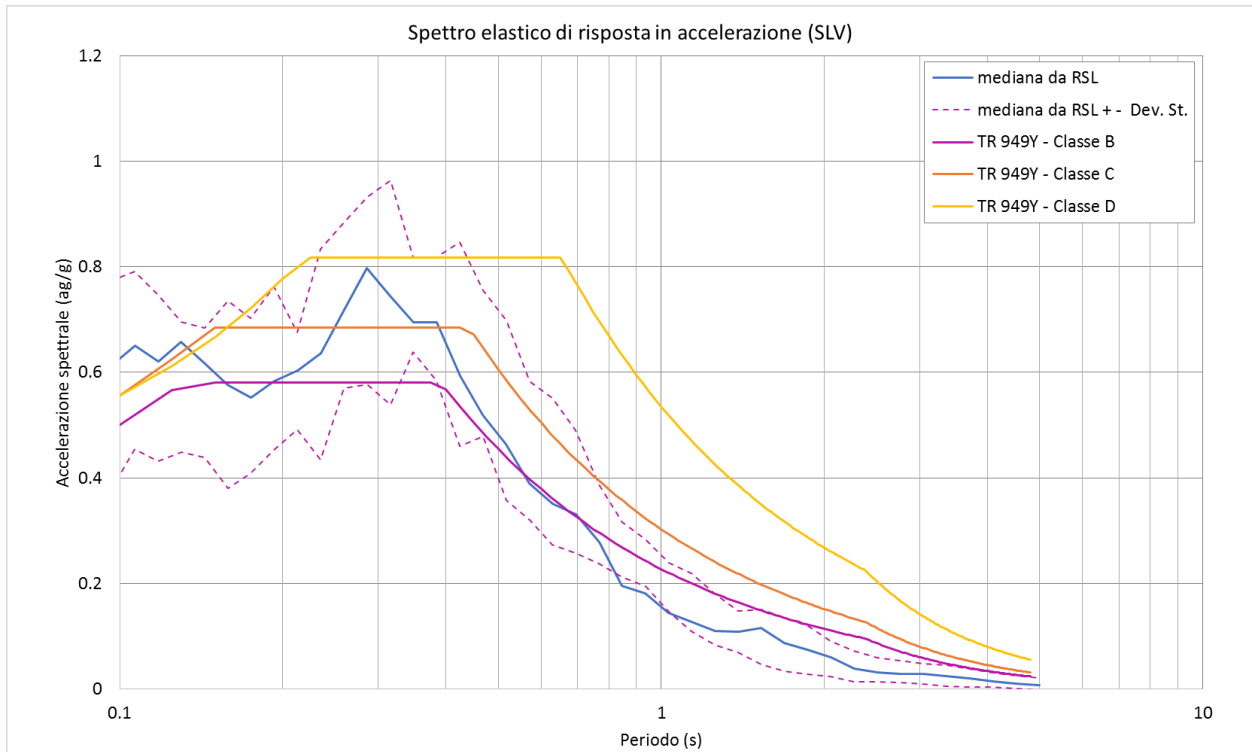
 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	76 di 96



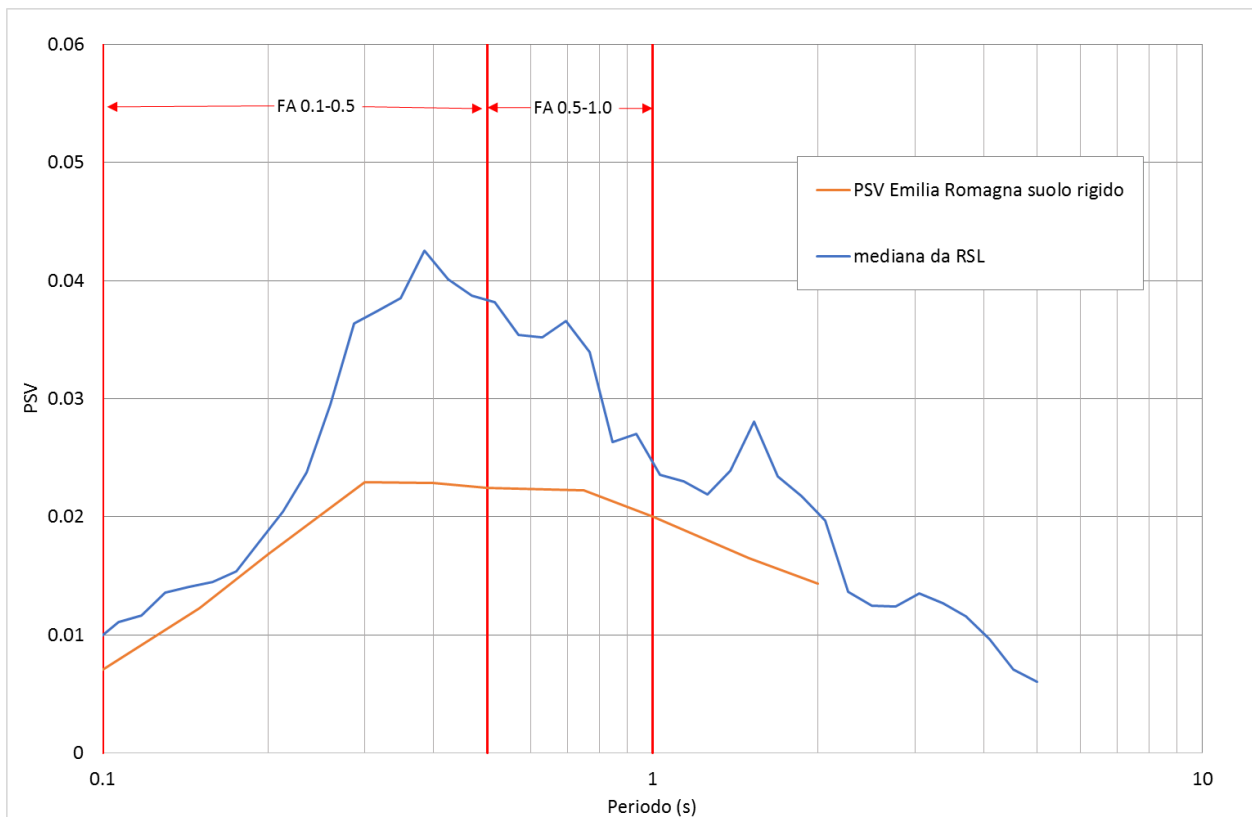
**Fig. 59 - Output accelerogrammi**



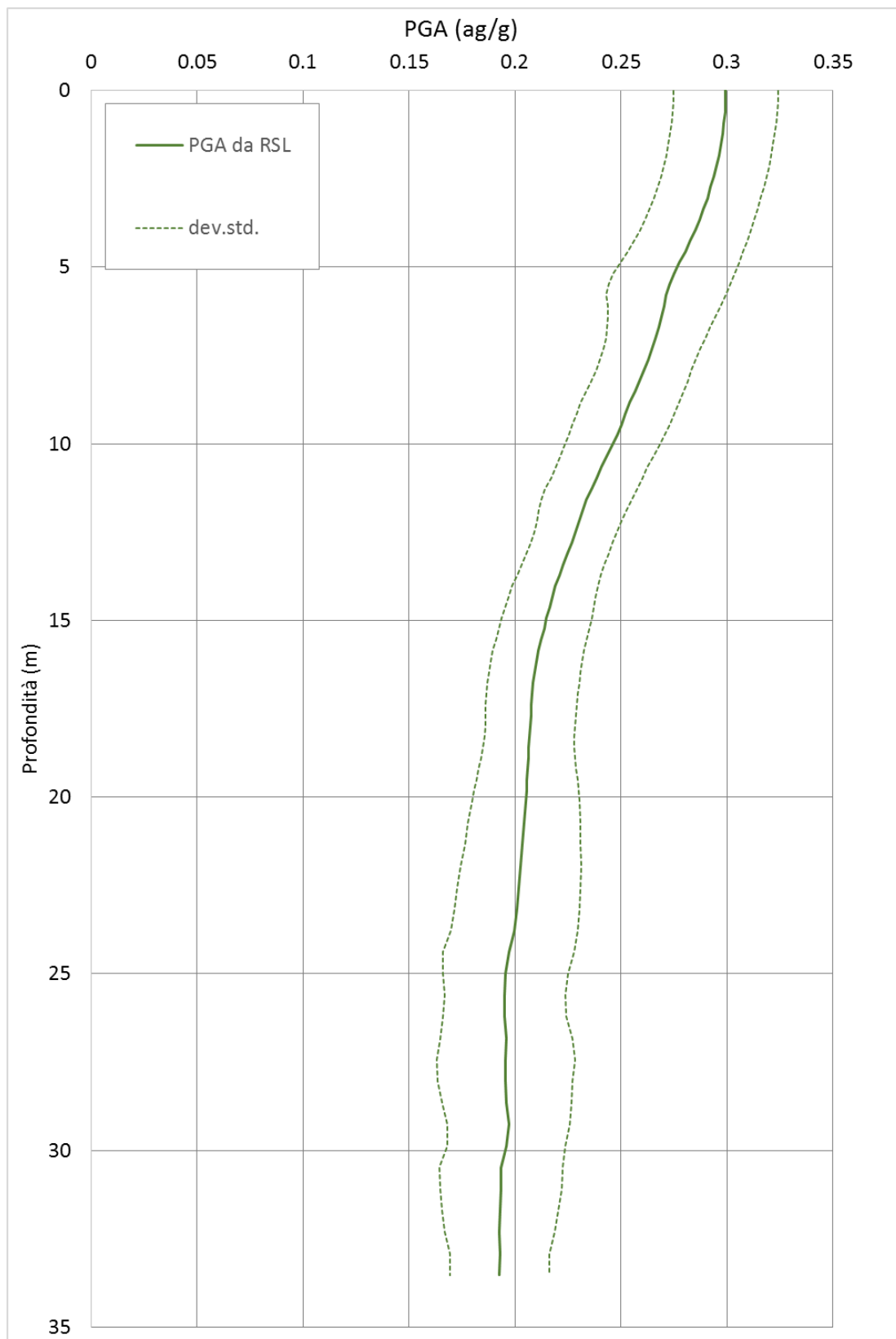
**Fig. 60 - Funzione di trasferimento**



**Fig. 61 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 62 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**



**Fig. 63 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**




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

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.54	1.4*	1.2
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.53	1.5*	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.41	1.1*	

**Tab. 13 - fattori di amplificazione**

- \* Tabella appennino, bedrock > 800 m/s, VsH 500 m/s, spessore 35 m

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	80 di 96

## 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:

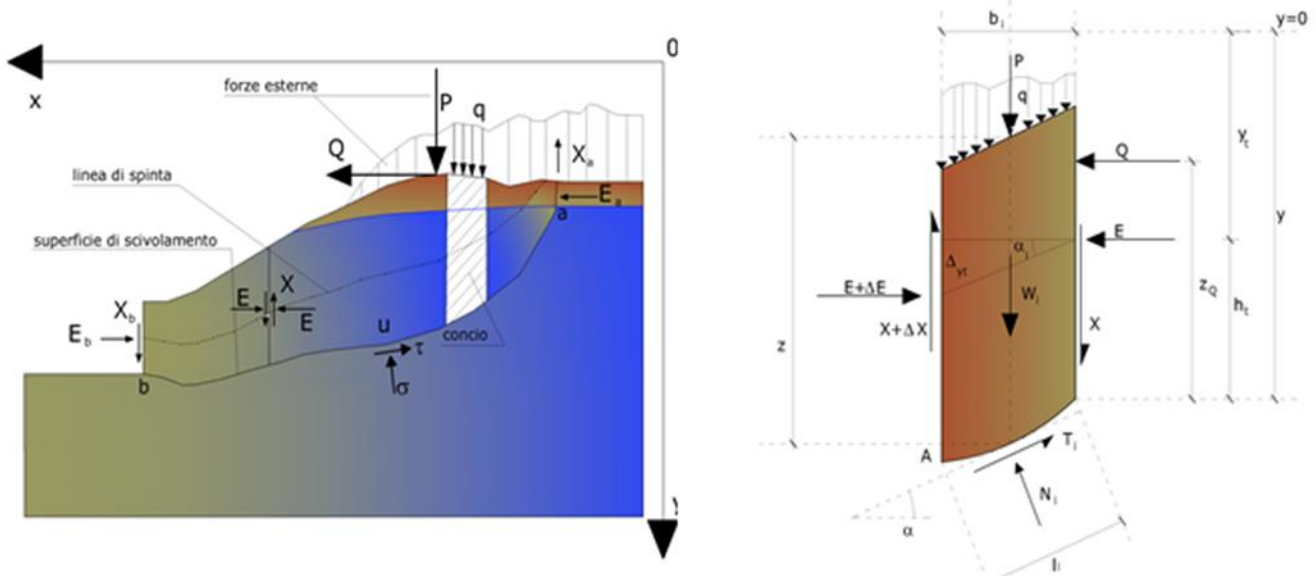
- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

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. 64.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	81 di 96

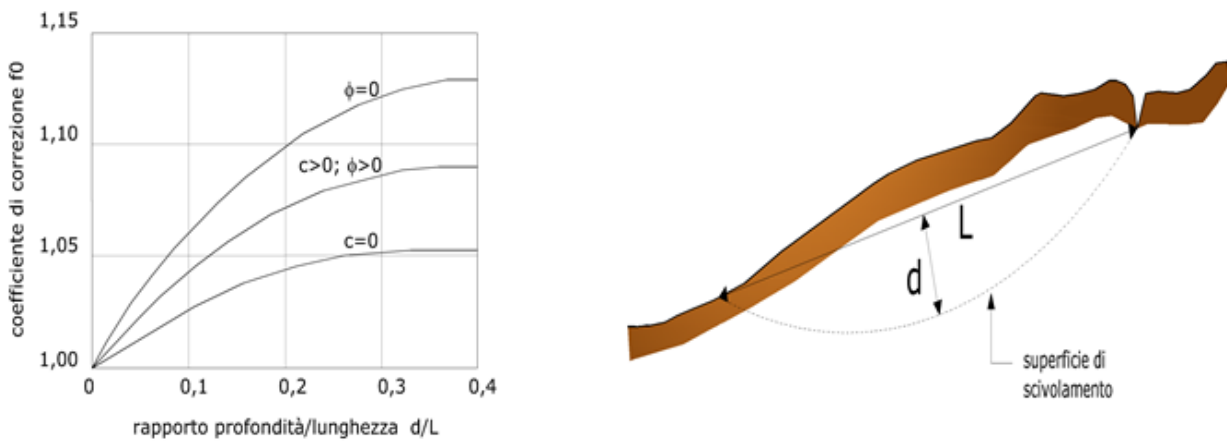


**Fig. 64 - Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso**

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. 65). Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



**Fig. 65 - 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

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	82 di 96

all'accelerazione (verticale ed orizzontale) provocata dal sisma stesso. Tali valori 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:

$$F_H = K_x W$$

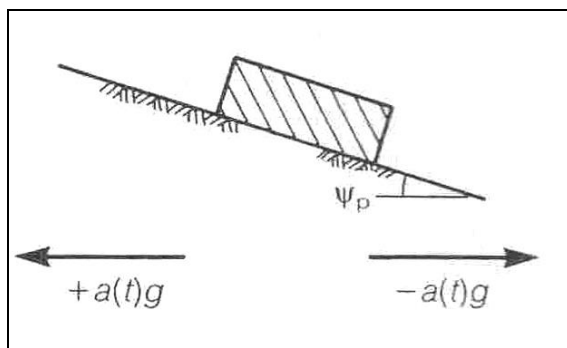
$$F_V = K_y W$$

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. 66).

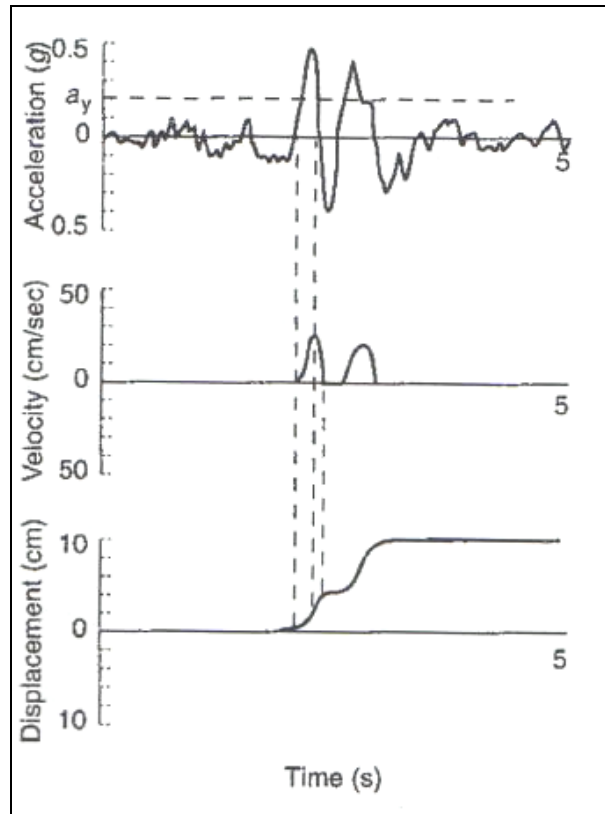
Una volta definita la superficie di scorrimento il programma utilizzato (QSIM della GEOSTRU) definisce l'accelerazione critica che determina il movimento del blocco equivalente al volume della frana e successivamente confronta tale valore con l'accelerogramma del sito per valutare per quanto tempo il blocco rimane in condizioni di accelerazione superiori a quella critica (cfr. Fig. 67).



**Fig. 66 - Schematizzazione del metodo di *Newmark***

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	83 di 96


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).

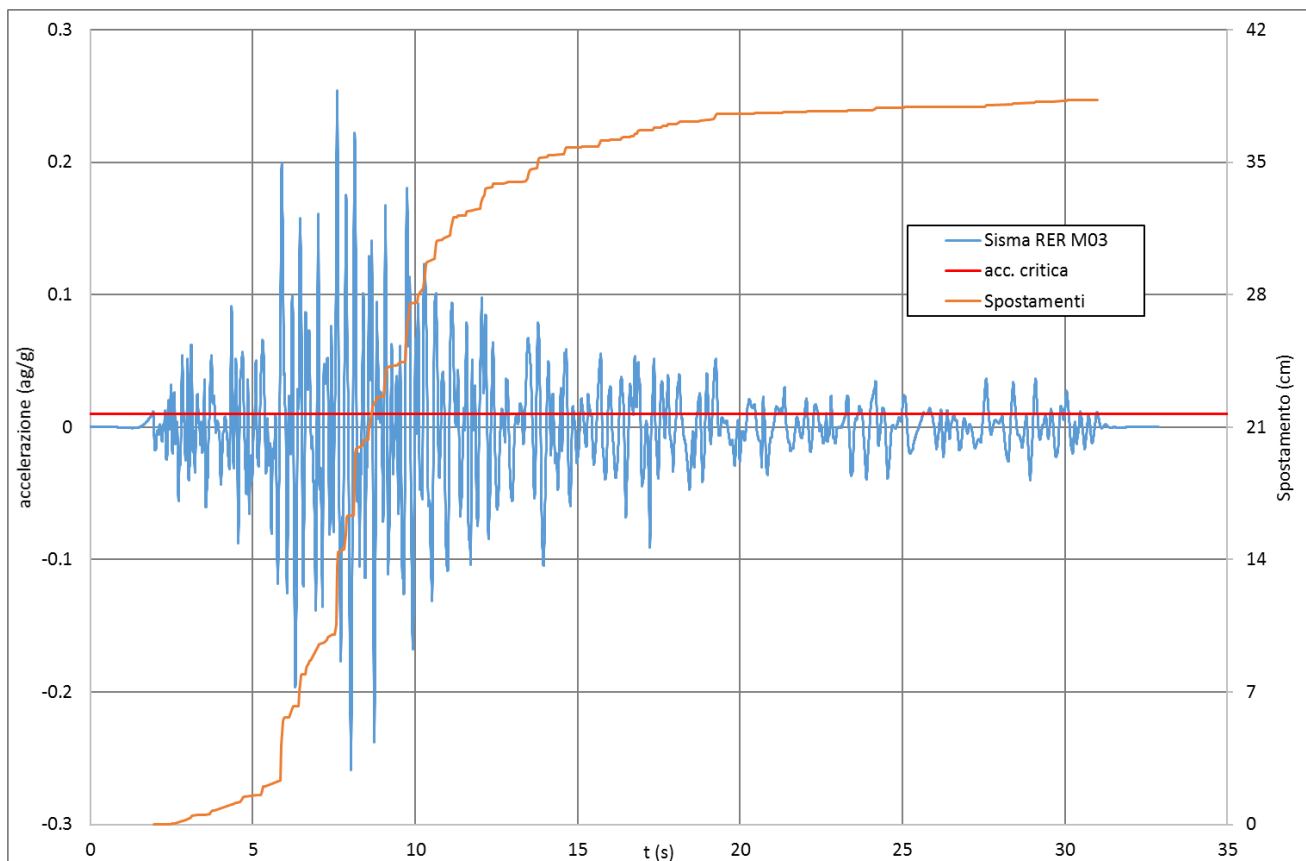


**Fig. 67 - Esempificazione della metodologia di *Newmark*, con doppia integrazione dell'accelerogramma**

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. 68 si riporta il risultato di una verifica effettuata per la frana di Sugremaro ipotizzando un fattore di sicurezza  $F_s=1$

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	84 di 96




**Fig. 68 – Risultati della verifica dello spostamento della frana di Sugremaro per con  $F_s=1$  per il sisma RER M03**

**9.3.2 Ipotesi verificate**

Le verifiche sono state effettuate per la zona di attenzione per instabilità di versante identificata a Sugremaro nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica. Lo spessore del corpo 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.

La dimensione e la complessità dell’ammasso 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  $\phi'$  e  $c'$  che determinano un coefficiente di sicurezza  $F_s=1$  (cfr. Fig. 71).

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	85 di 96

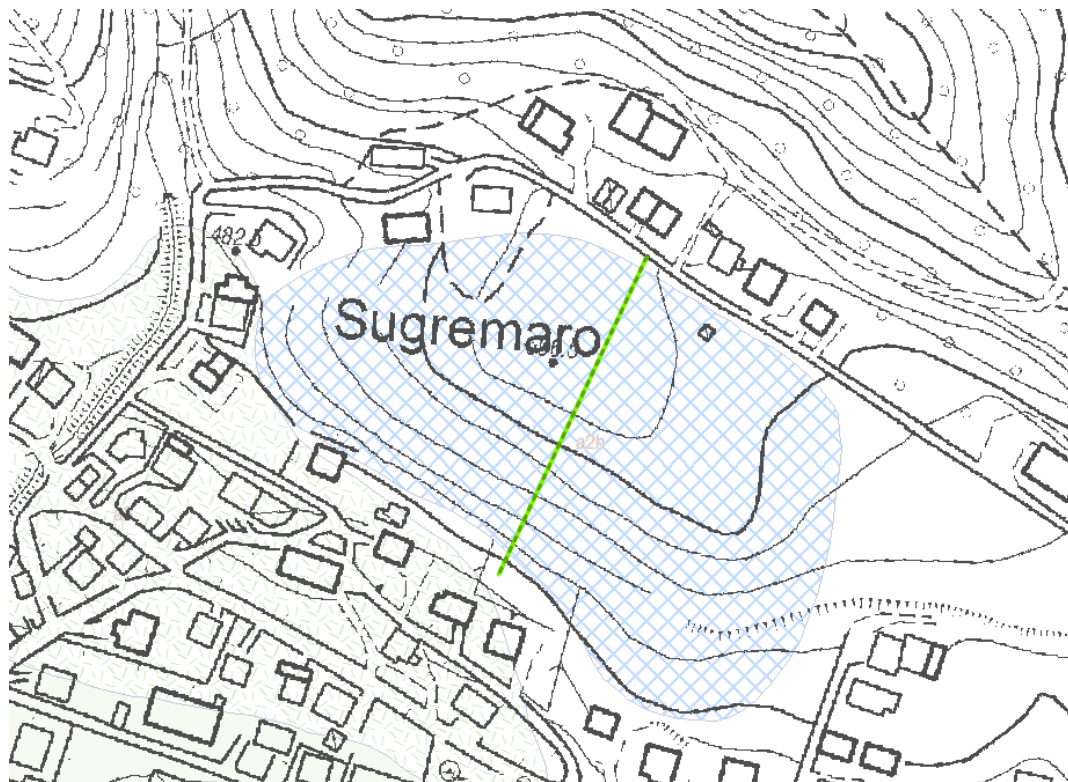


Fig. 69 - Ubicazione della sezione analizzata

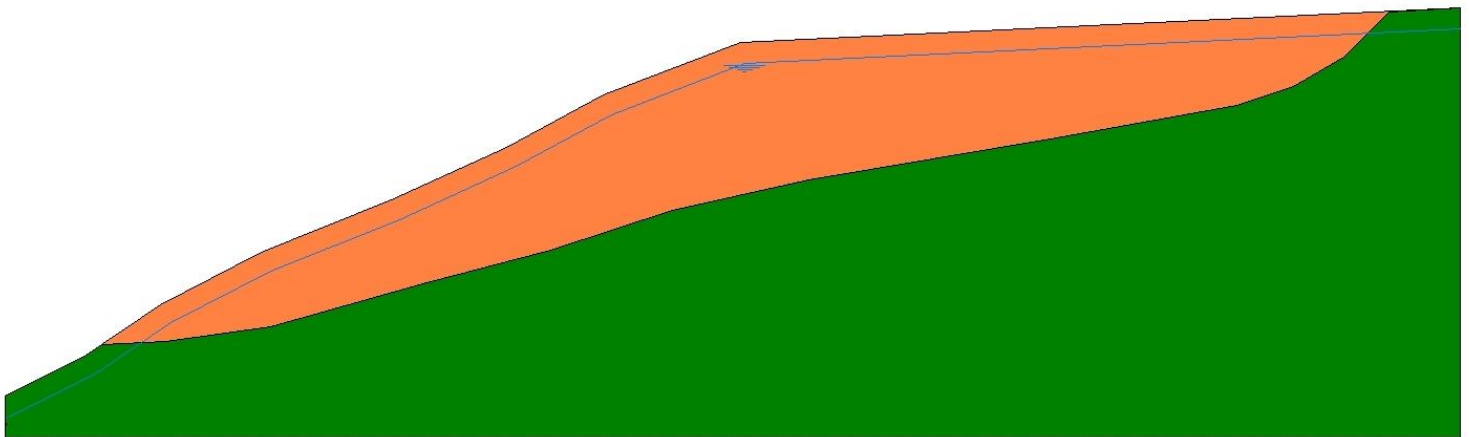

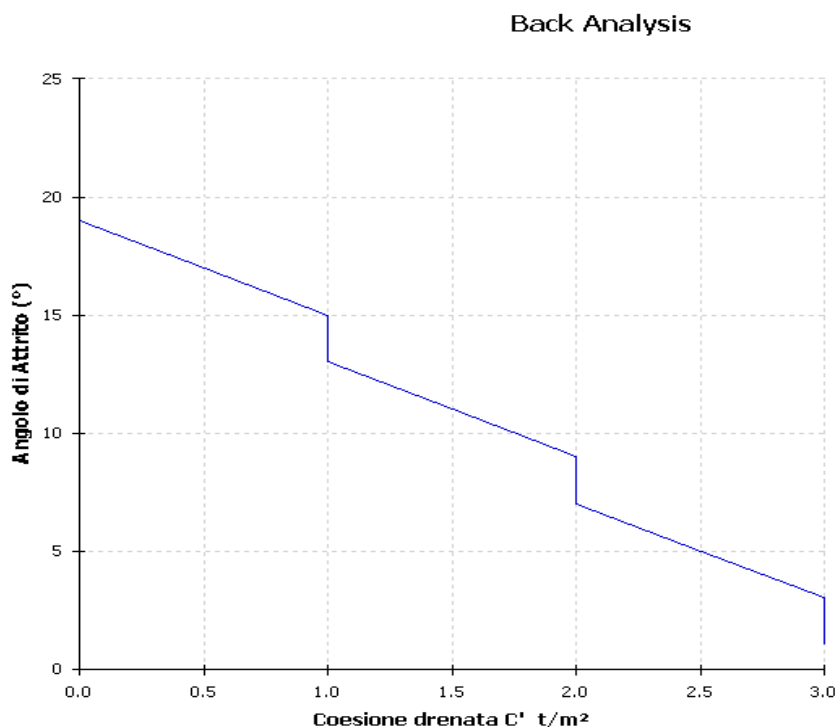


Fig. 70 - Sezione analizzata

Considerato che si tratta di una frana quiescente, il cui coefficiente di sicurezza non è noto, ma che deve risultare  $F_s \geq 1$ , si è quindi proceduto con successive verifiche, aumentando progressivamente i parametri di resistenza al taglio ottenendo fattori di sicurezza crescenti.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	86 di 96



**Fig. 71 - Esempio di *back analysis* per la frana di Sugremaro**

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 si è ottenuta una tabella in cui vengono riportati gli spostamenti calcolati in funzione del coefficiente di sicurezza crescente (cfr. Tab. 14)

cu	Fs	Ac	Sisma (RER)		
			M1	M2	M3
Kg/cm2	-	ag/g	cm	cm	cm
0.33	1	0.01	35.35	7.45	56.82
0.33	1	0.01	35.35	7.45	56.82
0.35	1.08	0.02	15.71	3.23	24.79
0.38	1.14	0.04	6.11	1.23	9.42
0.4	1.2	0.05	4.29	0.86	6.57
0.42	1.26	0.06	3.13	0.62	4.75

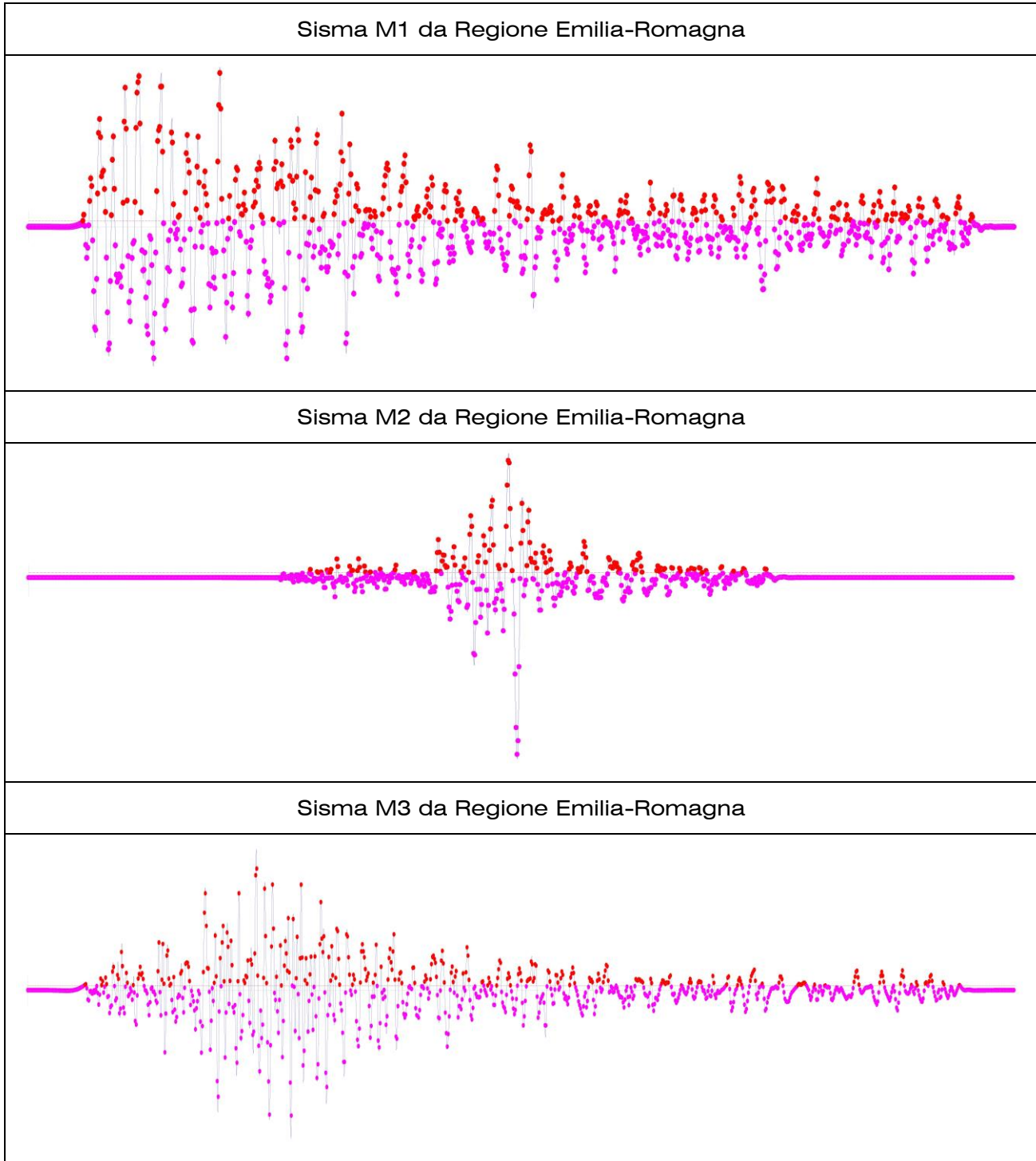
**Tab. 14 - Tabella riassuntiva delle verifiche effettuate per la frana di Sugremaro**

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  $F_s=1$ .

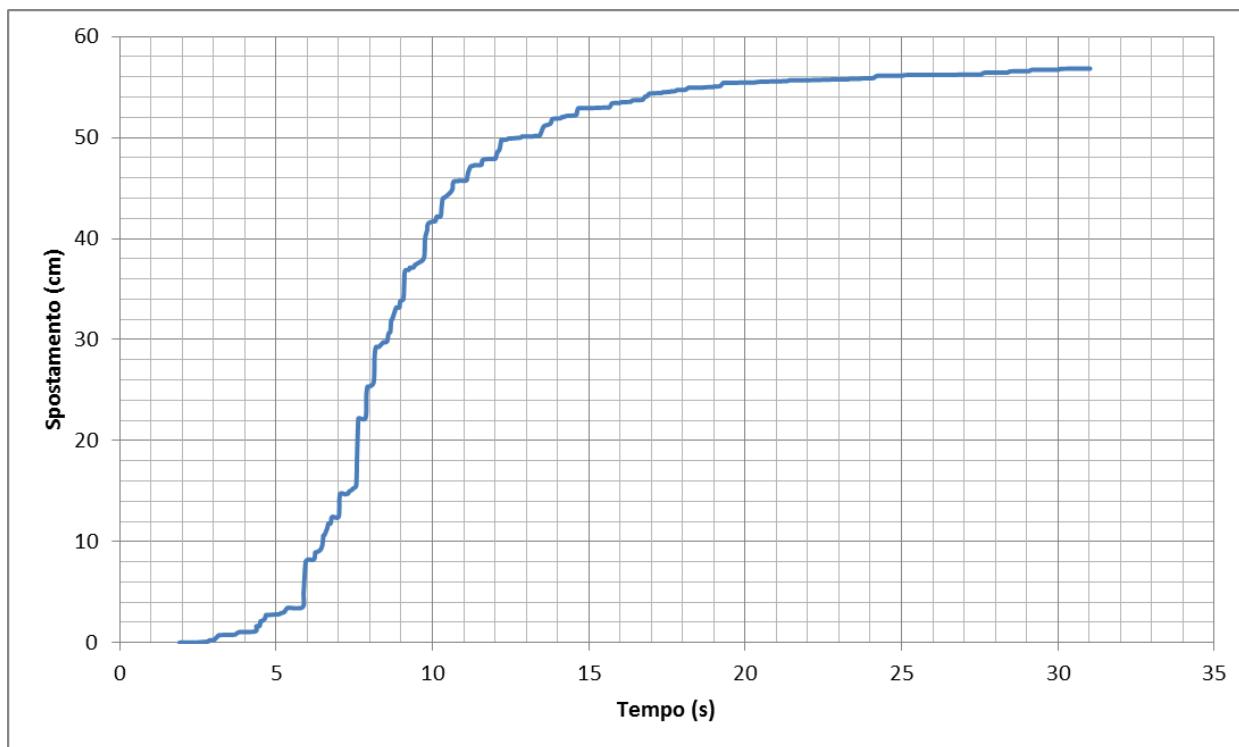
 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	87 di 96



Di seguito si riportano i grafici dei sismi analizzati con indicati in rosso i punti con accelerazione superiore all'accelerazione critica che determinano spostamento.



**Fig. 72 - Analisi dinamica: accelerogrammi (in rosso i punti con accelerazione superiore all'accelerazione critica che determinano spostamento)**



**Fig. 73 - 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, per l’amplificazione stratigrafica, 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 stima per dell’amplificazione stratigrafica è stata effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi).

In questo caso, la scelta dell’abaco è stata effettuata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo (substrato marino non rigido affiorante), mentre, per il calcolo dei singoli fattori di amplificazione si è assunto un valore di  $Vs_{30}$  pari a 500 m/s.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	89 di 96

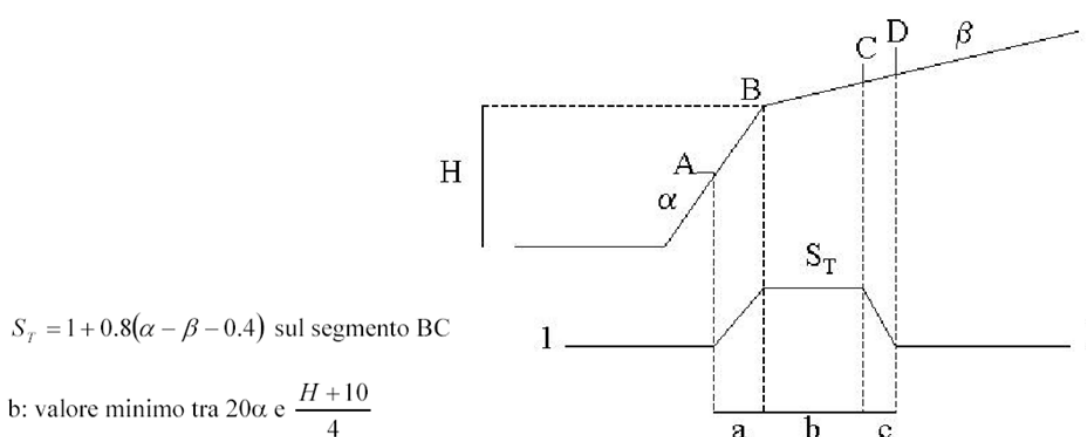
Conseguentemente, agli areali oggetto di microzonazione sono stati attribuiti i valori riportati nella seguente tabella (Tab. 15):

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5 <sup>10</sup>		Zona 6	Zona 7
<b>F.A. P.G.A.</b>	1,4	1,32	1,77	1,54	1,78	1,99	1,77	1,78
<b>F.A. Is (0.1s&lt;T<sub>0</sub>&lt;0.5s)</b>	1,4	1,49	1,32	1,53	1,54	2,11	1,32	1,54
<b>F.A. Is (0.5s&lt;T<sub>0</sub>&lt;1.0s)</b>	1,4	1,64	1,14	1,41	1,15	1,55	1,14	1,15

**Tab. 15 – Valori dei fattori di amplificazione sismica**

Come anticipato nel paragrafo 8.4, lungo due profili in corrispondenza del Capoluogo, è stata valutata, anche l'amplificazione dell'impulso sismico generata dalle condizioni topografiche.

Per il calcolo del Fattore di Amplificazione topografica  $S_T$  dettagliatamente descritto nella Fig. 74, sono state seguite le disposizioni e i suggerimenti contenuti nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali.



$$S_T = 1 + 0.8(\alpha - \beta - 0.4) \text{ sul segmento BC}$$

$$b: \text{valore minimo tra } 20\alpha \text{ e } \frac{H+10}{4}$$

$\alpha$  e  $\beta$  sono i gradienti della parte più ripida e meno ripida, rispettivamente:

$$S_T = 1 \text{ in A (a = H/3)}$$

$$S_T = 1 \text{ in D (c = H/4)}$$

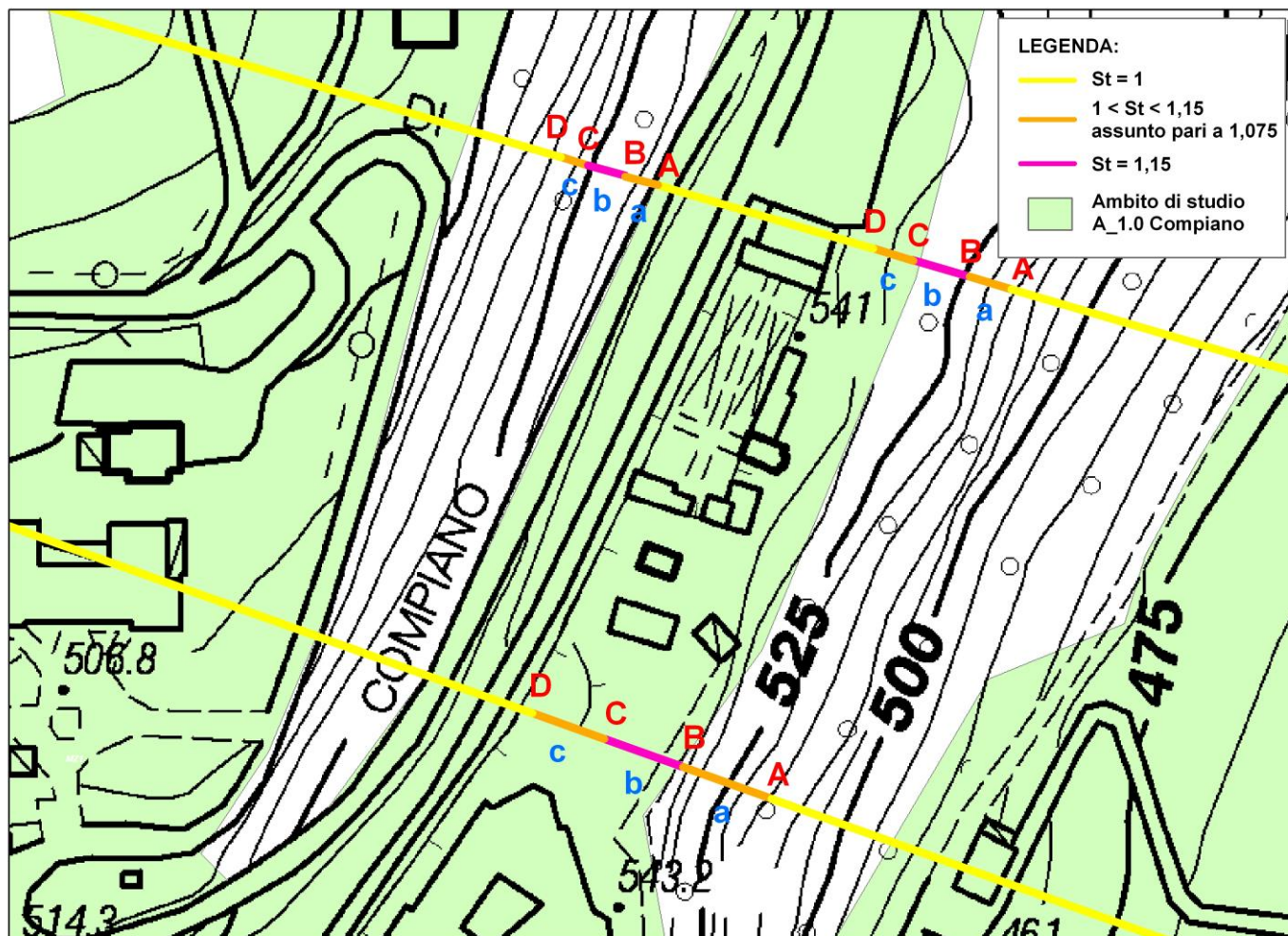
$S_T$ : si impone comunque un valore compreso tra 1 e 1.4

**Fig. 74 – Calcolo del fattore di amplificazione topografica secondo gli indirizzi regionali**

<sup>10</sup> All'interno della Zona 5 sono state effettuate 2 analisi di risposta sismica locale che hanno fornito fattori di amplificazione differenti: nella colonna di destra, sono riportati quelli calcolati per il sito Sugremaro CC\_05, estesi al settore sud-occidentale dell'abitato di Sugremaro; in quella di sinistra, quelli calcolati per il sito Sugremaro CC\_07, estesi a tutta la microzona, con eccezione del settore sopraccitato. oltre che alla microzona 7

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


In Fig. 75 vengono raffigurati, la rappresentazione in pianta dei tratti di profilo contraddistinti da valori di  $S_T$  differente.









**Fig. 75 - Stralcio dell'ambito A\_2 Ravarano con indicata la traccia di profilo sulla quale si è proceduto al calcolo del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ . Le lettere utilizzate fanno riferimento allo schema della Fig. 74**

Ne consegue che l'amplificazione sismica complessiva, limitatamente a un piccolo settore dell'abitato di Compiano, in cui è stato evidenziato un  $S_T > 1$ , è determinata dal prodotto tra il fattore di amplificazione stratigrafica F.A. per lo stesso fattore di amplificazione topografica  $S_T$  (preso uguale a 1.15, tra B e C, e a 1.075 tra A e B e C e D).

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.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	91 di 96

	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2

**Fig. 76 - Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**


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).

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

## **10. CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**


In Comune di Compiano, 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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	93 di 96


## 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](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>
- Madiai 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.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	94 di 96

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI COMPIANO</b> 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
- Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M., and Tokimatsu, K. (1986) “MODULI AND DAMPING FACTORS FOR DYNAMIC ANALYSIS OF COHESIONLESS SOILS.” J. Geotech. Eng., 112~111!, 1016-1032
- CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. SEZIONE 215120 “TORNOLO” E 216090 ”GOTRA”, 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 215120 “TORNOLO” E 216090 ”GOTRA”, 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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	95 di 96



<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI COMPIANO</b> 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	Prove penetrometriche
Elaborato 9	Prove tomografiche

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	96 di 96