



Piangomune

**COMUNE DI SASSUOLO**  
PROVINCIA DI MODENA

**PSC**

PIANO STRUTTURALE COMUNALE

**QC.B1**

**MICROZONAZIONE SIMICA  
DI TERZO LIVELLO**

**RELAZIONE ILLUSTRATIVA**

**VERSIONE APPROVATA**

---

**VARIANTE SPECIFICA AI SENSI DELL'ART.32bis. L.R. 20/2000**

*Il Sindaco*  
Gian Francesco Menani

*Assessore all'Urbanistica*  
Ugo Liberi

*Direttore Settore 2° Gestione del Territorio  
e Opere Pubbliche*  
Andrea Illari

*Il Segretario Comunale*  
Gregorio Martino

**Ottobre 2019**



## **INDICE GENERALE**

1. INTRODUZIONE	1
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	3
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	11
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	13
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	14
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	16
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	17
8. ELABORATI CARTOGRAFICI	30
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	31
10. BIBLIOGRAFIA	32

## INTRODUZIONE

Nel 2012 il Comune di Sassuolo a seguito dell'OPCM 3907/2011 ha realizzato lo studio di microzonazione sismica di I e II livello sul proprio territorio, che in data 29.03.2013 (sub prot. 2013.0081155 della Regione Emilia Romagna) ha ottenuto il relativo certificato di conformità. Tale studio, recepito dalla variante al PSC del Comune di Sassuolo con deliberazione del Consiglio Comunale n.25 del 11.06.2013, evidenziava, tra le altre, la necessità di studiare ulteriormente un'area a monte del quartiere di Pontenuovo. La presente relazione costituisce lo studio di microzonazione sismica di terzo livello dell'area a sud del quartiere di Pontenuovo.

L'area considerata è urbanizzata e in base a quanto disposto dagli attuali strumenti di pianificazione urbanistica non sono previste nuove urbanizzazioni: lo studio di terzo livello si è reso necessario in quanto a monte del quartiere di Pontenuovo è presente un deposito dalle caratteristiche geologiche particolari denominato "*Deposito di sarsa*", costituito da argille grigio azzurre rimaneggiate nell'ambito delle attività delle cosiddette salse, che presenta fenomeni di potenziale instabilità ed insiste sia su fabbricati privati che pubblici tra cui un edificio scolastico. Al fine di garantire la sicurezza dei cittadini e la pubblica incolumità si è pertanto reso necessaria realizzare lo studio di microzonazione di III livello.

In quanto destinatario dei finanziamenti approvati dall'OPCM 4007, l'amministrazione comunale di Sassuolo ha redatto la presente microzonazione in base a quanto richiesto dalla deliberazione della Giunta Regionale n.1051/2012, che fa riferimento anche alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112/2007 e agli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione civile e della Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome.

Le attività sono state articolate come di seguito riportato:

1. Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi sismici di riferimento per il Comune di Sassuolo;
2. Inquadramento geologico, geomorfologico e litologico;
3. Individuazione di eventuali indagini geologiche, geotecniche e geofisiche pregresse;
4. Realizzazione di una campagna di indagini geognostiche e geofisiche in sito ed in laboratorio costituita da:
  - N.2 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo,
  - N. 6 prove penetrometriche statiche meccaniche (CPT),
  - N. 11 indagini sismiche attive in onde di superficie (sia Rayleigh che Love),
  - N. 10 indagini sismiche passive a stazione singola con tecnica dei microtrempi (HVSR),
  - N. 6 campioni prelevati nei fori di sondaggio su cui sono state eseguite:
    - n. 6 determinazioni del Contenuto d'acqua,
    - n. 6 determinazioni dei Limiti di Atterberg,
    - n. 2 prove edometriche,
    - n. 2 prove triassiali tipo Tx-CIU,
    - n. 2 prove triassiali cicliche;
5. Realizzazione di una banca dati delle indagini geognostiche e geofisiche disponibili;
6. Interpretazione delle prove disponibili e redazione della carta delle indagini;
7. Definizione del modello geologico-tecnico dell'area;
8. Predisposizione ed individuazione delle sezioni significative al fine delle verifiche di stabilità del versante in particolare in corrispondenza della scuola primaria Carducci con la valutazione della stima della possibile amplificazione sismica locale per l'area in oggetto;

## DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

Al fine di definire le caratteristiche sismiche del territorio sassolese sono state considerate le informazioni storiche a disposizione. In particolare è stato fatto riferimento ai database dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

Il territorio considerato si inserisce nella fascia pedecollinare dell'alta pianura modenese, presentando nella zona nord caratteristiche di alta pianura, in quanto si colloca nella zona apicale della conoide del Fiume Secchia, mentre nella zona sud è presente il primo margine appenninico.

Le informazioni a disposizione sono abbastanza dettagliate per ciò che attiene gli ultimi 200 anni mentre sono più frammentarie per ciò che attiene eventi più antichi. Dai cataloghi a disposizione si è potuto verificare che la massima intensità macrosismica osservata in Comune di Sassuolo risulta essere pari a 9 ed è riferita al terremoto del 6 giugno 1501, con epicentro a Maranello o nell'Appennino Modenese a seconda del catalogo che si consulta (rispettivamente CFTI4MED e Stucchi et Alii 2007), che colpì pesantemente il territorio della pedecollina modenese: infatti nelle località di Castelvetro, Maranello, Sassuolo e Montegibbio si registrarono danno gravi e diffusi al patrimonio edilizio, con lesioni e crolli che resero inagibili la maggior parte delle abitazioni. Negli archivi storici è stato possibile recuperare principalmente le informazioni riferite alla città di Modena dove vi furono 8 morti a causa del distacco di alcuni merli.

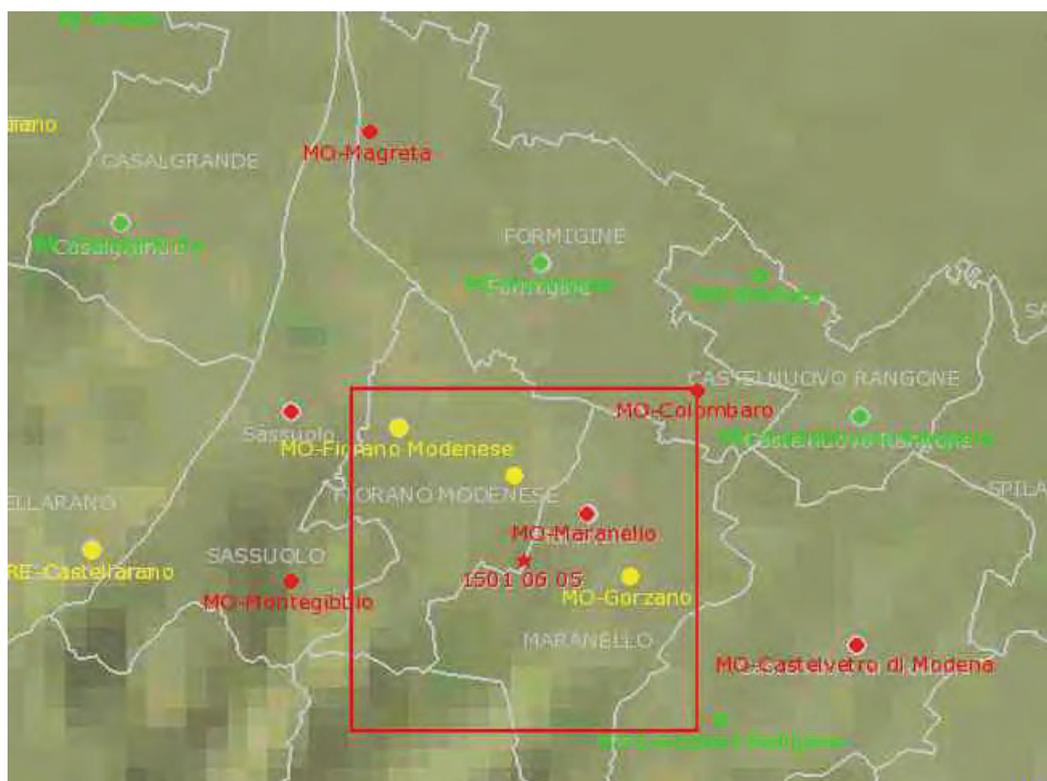


Figura 1: Immagine dell'epicentro del terremoto del 6 giugno 1501

Comune	Re	Pr	Com	Lat	Lon	Imax
BASTIGLIA	8	36	1	44.72675	11.00023	
7						
BOMPORTO	8	36	2	44.72678	11.04171	
7						
CAMPOGALLIANO	8	36	3	44.69000		
10.84098	8					
CAMPOSANTO	8	36	4	44.78769	11.14252	
7						
CARPI	8	36	5	44.78408	10.88489	7
CASTELFRANCO EMILIA	8	36	6	44.59481		
11.05228	8					
CASTELNUOVO RANGONE	8	36	7	44.54904		
10.93881	8					
CASTELVETRO DI MODENA	8	36	8	44.50337		
10.94301	9					
CAVEZZO	8	36	9	44.83777	11.02767	
7						
CONCORDIA SULLA SECCHIA	8	36	10	44.91420		
10.98166	7					
FANANO	8	36	11	44.20663	10.79442	
8						
FINALE EMILIA	8	36	12	44.83257	11.29413	
7						
FIORANO MODENESE	8	36	13	44.53952		
10.81165	9					
FIUMALBO	8	36	14	44.17919	10.64752	
8						
FORMIGINE	8	36	15	44.57470	10.84708	
9						
FRASSINORO	8	36	16	44.29524	10.57276	
8						
GUIGLIA	8	36	17	44.42655	10.95939	
8						
LAMA MOCOONO	8	36	18	44.30751		
10.73079	8					
MARANELLO	8	36	19	44.52531	10.86582	
9						
MARANO SUL PANARO	8	36	20	44.45604		
10.97113	8					
MEDOLLA	8	36	21	44.84853	11.07064	
7						
MIRANDOLA	8	36	22	44.88698	11.06541	
<= 6						
MODENA	8	36	23	44.64706	10.92533	
8						
MONTECRETO	8	36	24	44.24758	10.71806	
8						
MONTEFIORINO	8	36	25	44.35483	10.62153	
8						
MONTESE	8	36	26	44.26991	10.94427	
7						
NONANTOLA	8	36	27	44.67809	11.04073	

7					
NOVI DI MODENA	8	36	28	44.89330	10.90053
7					
PALAGANO	8	36	29	44.32157	10.64731
8					
PAVULLO NEL FRIGNANO	8	36	30	44.33408	
10.83371	8				
PIEVEPELAGO	8	36	31	44.20439	10.61671
8					
POLINAGO	8	36	32	44.34447	10.72317
8					
PRIGNANO SULLA SECCHIA	8	36	33	44.43930	
10.69305	8				
RAVARINO	8	36	34	44.72226	11.10186
7					
RIOLUNATO	8	36	35	44.23016	10.65222
8					
SAN CESARIO SUL PANARO	8	36	36	44.56210	
11.03330	8				
SAN FELICE SUL PANARO	8	36	37	44.83990	
11.14108	7				
SAN POSSIDONIO	8	36	38	44.89270	
10.99647	7				
SAN PROSPERO	8	36	39	44.78882	11.02148
7					
SASSUOLO	8	36	40	44.54085	10.78141
9					
SAVIGNANO SUL PANARO	8	36	41	44.47933	
11.03350	8				
SERRAMAZZONI	8	36	42	44.42579	
10.78881	8				
SESTOLA	8	36	43	44.22891	10.77143
8					
SOLIERA	8	36	44	44.73608	10.92193
7					
SPILAMBERTO	8	36	45	44.53308	11.02354
8					
VIGNOLA	8	36	46	44.48158	11.00678
8					
ZOCCA	8	36	47	44.34684	10.99369
8					

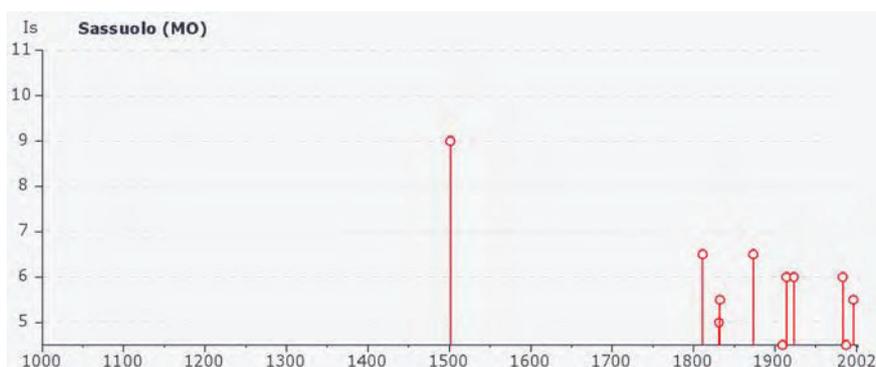
**Tabella 1: Massime intensità macrosismiche osservate nella Provincia di Modena (GNDT\_ING\_SSN1996)**

Dal Database Macrosismico Italiano (2004) è stato possibile estrapolare la storia sismica del Comune di Sassuolo: oltre al già citato terremoto del 1501 sono presenti altri eventi che hanno coinvolto le aree appenniniche e che hanno intensità ragguardevoli, comprese tra 6 e 9. Si ritiene opportuno evidenziare come anche il 15 luglio 1811 Sassuolo sia stato interessato da un sisma con Intensità Macrosismica pari a 7.

**Tabella 2: Database macrosismico italiano 2004 riferito al territorio sassolese**

Data	Ora	Area epicentrale	Intensità a Sassuolo (MCS)	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitudo Momento
05/06/150 1	10:00	Appennino Modenese	9	8-9	5.85
15/07/181 1	13:20	Reggio Emilia	Non segnalato	7	5.21
15/07/181 1	22:44	Sassuolo	6-7	7	5.24
11/09/183 1	18:15	Reggiano	5	7-8	5.48
13/03/183 2	03:30	Reggiano	5-6	7-8	5.59
12/03/187 3	20:04	Marche meridionali	3	8	5.88
16/05/187 3	19:35	Reggiano	6-7	6-7	5.13
23/02/188 7	21:50	Liguria occidentale	3	9	6.29
13/01/190 9	00:45	Bassa Padana	4-5	6-7	5.53
25/08/190 9	00:22	Murlo	Non avvertito	7-8	5.40
19/02/191 1	07:18	Romagna meridionale	Non avvertito	7	5.38
27/10/191 4	9:22	Garfagnana	6	7	5:79
29/06/191 9	15:06	Mugello	2	9	6.18
28/06/192 3	16:12	Formigine	6	6	5.21
24/05/193 0	22:02	Fiumalbo	3	6	5.22
27/08/195 7	11:54	Zocca	3-4	6	5.06
09/11/196 5	15:35	Alta Val Secchia	2	5	5.01
15/07/197 1	01:33	Parmense	4	7-8	5.61

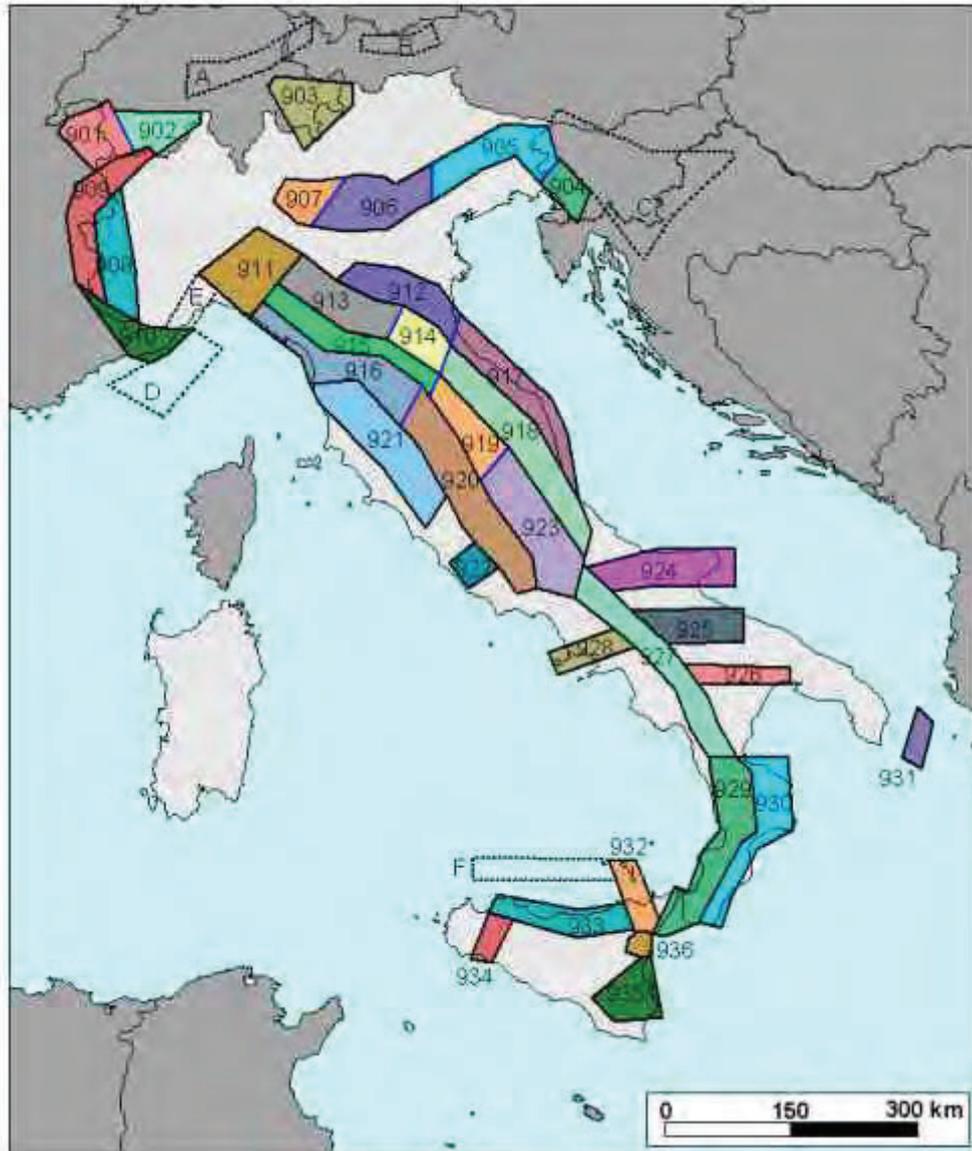
Data	Ora	Area epicentrale	Intensità a Sassuolo (MCS)	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitud o Momento
25/10/1972	21:56	Passo Cisa	4	5	4.95
09/11/1983	16:29	Parmense	6	6-7	5.10
06/12/1986	17:17	Bondeno	Non avvertito	6	4.56
02/05/1987	20:43	Reggiano	4-5	6	5.05
10/10/1995	6:54	Lunigiana	1-2	7	5.04
15/10/1996	9:55	Correggio	5-6	7	5.44
07/07/1999	17:16	Frignano	3-4	5	4.73



**Figura 2: Grafico dell'andamento temporale degli eventi sismici in relazione alla loro intensità**

L'area di Sassuolo risente, principalmente, di eventi legati al thrust pedeappenninico (Boccaletti et al.; 1985; Boccaletti et al., 2004) che costituisce il margine appenninico - padano emiliano romagnolo. Essa afferisce alla zona sismogenetica n.30 come definita dal NT4.1 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, un catalogo parametrico dei terremoti al di sopra della soglia di danno, che si riporta di seguito.

Dal punto di vista sismogenetico, si è fatto riferimento ai risultati del progetto dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia denominato ZS9, che ha parzialmente modificato quanto definito in precedenza dal progetto ZS4 in relazione alle accresciute conoscenze sui meccanismi sismogenetici, che gli eventi avvenuti successivamente alla metà degli anni '90 hanno comportato. Il progetto divide il territorio nazionale in 42 zone: l'area considerata afferisce alla zona 913, che assieme alla 914 e alla 918 risulta dalla scomposizione della fascia che da Parma arriva fino all'Abruzzo: Sassuolo è situata nella parte nordoccidentale dove si verificano terremoti prevalentemente compressivi, mentre il meccanismo di fogliazione prevalente risulta indeterminato (Zonazione Sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo - Meletti et al., 2004).



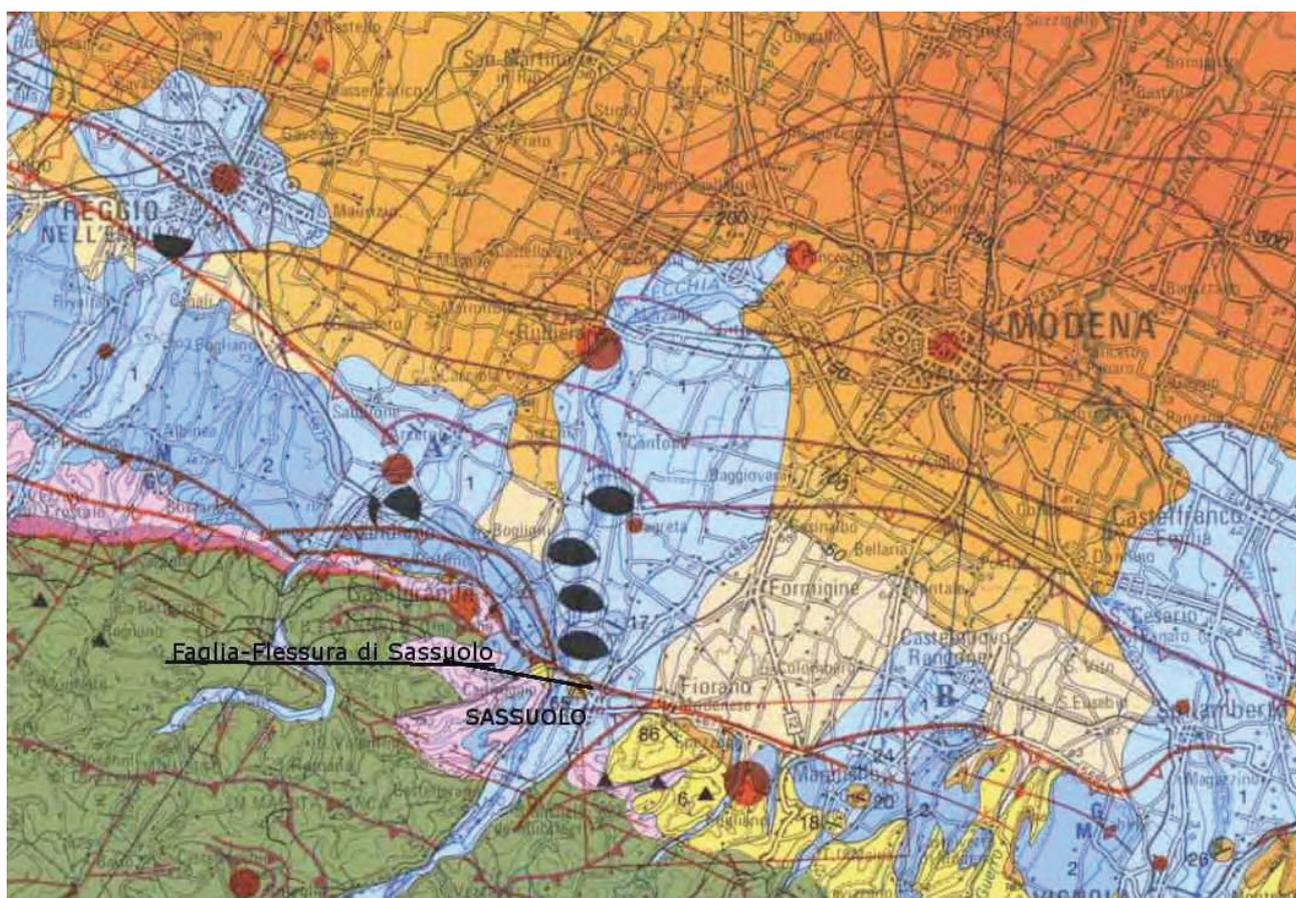
**Figura 3: Zonazione sismogenetica ZS9. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con lettera non sono state utilizzate nell'ambito del progetto ZS9 per la valutazione della pericolosità sismica.**

Per ogni zona in relazione ai dati a disposizione è stato individuato lo strato sismogenetico, definito come l'intervallo di profondità che ha generato il 90% degli eventi che ricadono all'interno di ogni zona. I limiti superiore ed inferiore dello strato sismogenetico sono stati individuati alle profondità che includono un numero di eventi cumulato pari rispettivamente al 5% e al 95% del totale.

**Tabella 3: Valori e profondità efficace relativi alla zona sismogenetica 913.**

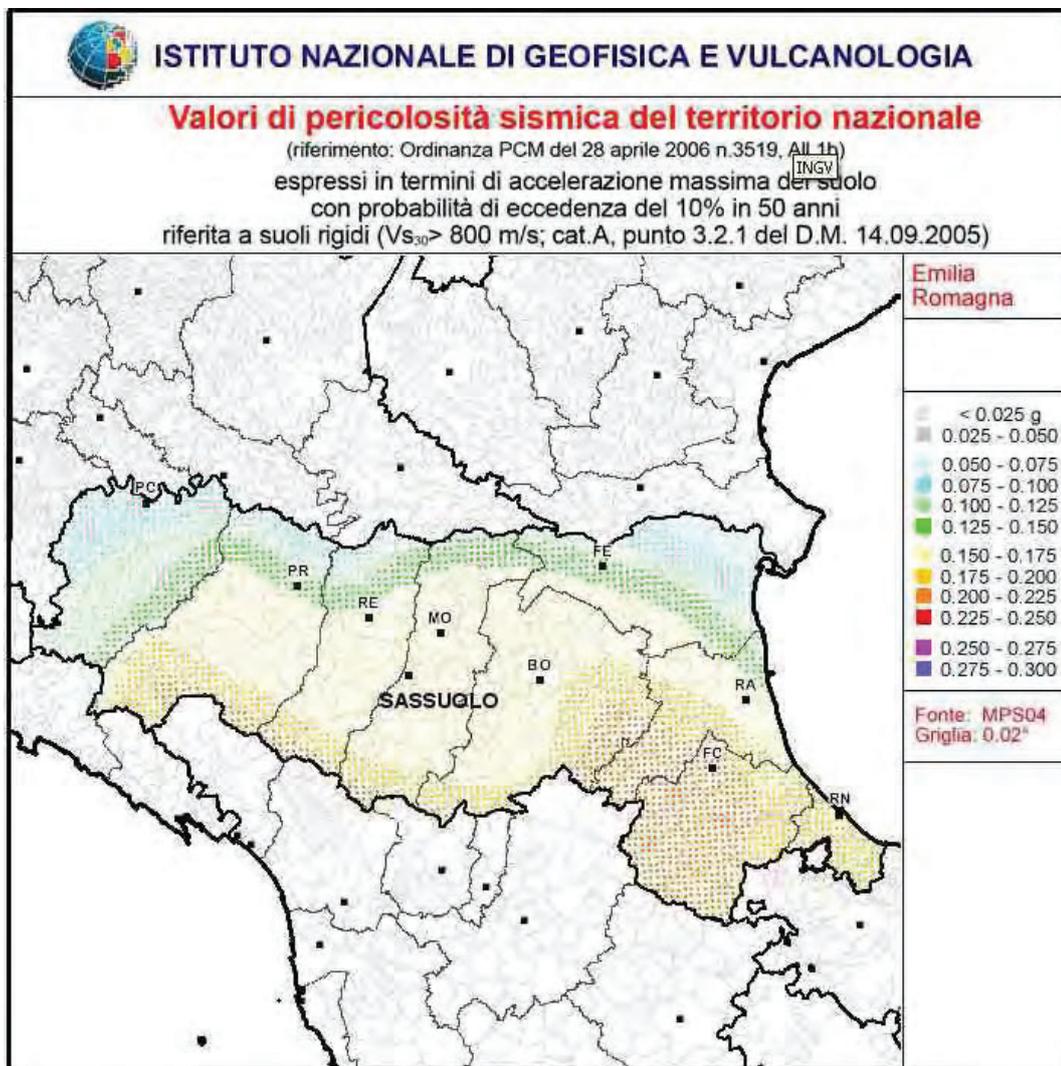
Zona	Numero di eventi con Md> 2.0	Numero di eventi con Md> 2.5	Numero di eventi con Md> 3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
913	767	362	100	4.8	12-20	13

Dal punto di vista della neotettonica, ossia dello studio delle strutture tettoniche recenti e attive che influenzano un territorio e la sua sismicità, il territorio sassolese è caratterizzato dalla presenza della faglia flessura di Sassuolo con andamento est-ovest, legata ad un sovrascorrimento plio pleistocenico inferiore riattivato, e di faglie attive orientate trasversalmente all'asse appenninico, una delle quali in corrispondenza delle Terme della Salvarola e delle Salse di Montegibbio; infatti, il termalismo e le salse, ossia risalite di acqua e gas in pressione che fluidificano i sedimenti attraversati trasportandoli in superficie, sono due manifestazioni tipiche delle strutture tettoniche attive (Boccaletti et al., 2004). Nella medesima zona è anche presente il Rio del Petrolio così denominato poiché nelle sue vicinanze sono state spesso osservate piccole polle di olio combustibile, utilizzato nel passato per alimentare le lampade.



**Figura 4: Estratto della carta sismotettonica elaborata dalla Regione Emilia Romagna (Boccaletti et al.2004)**

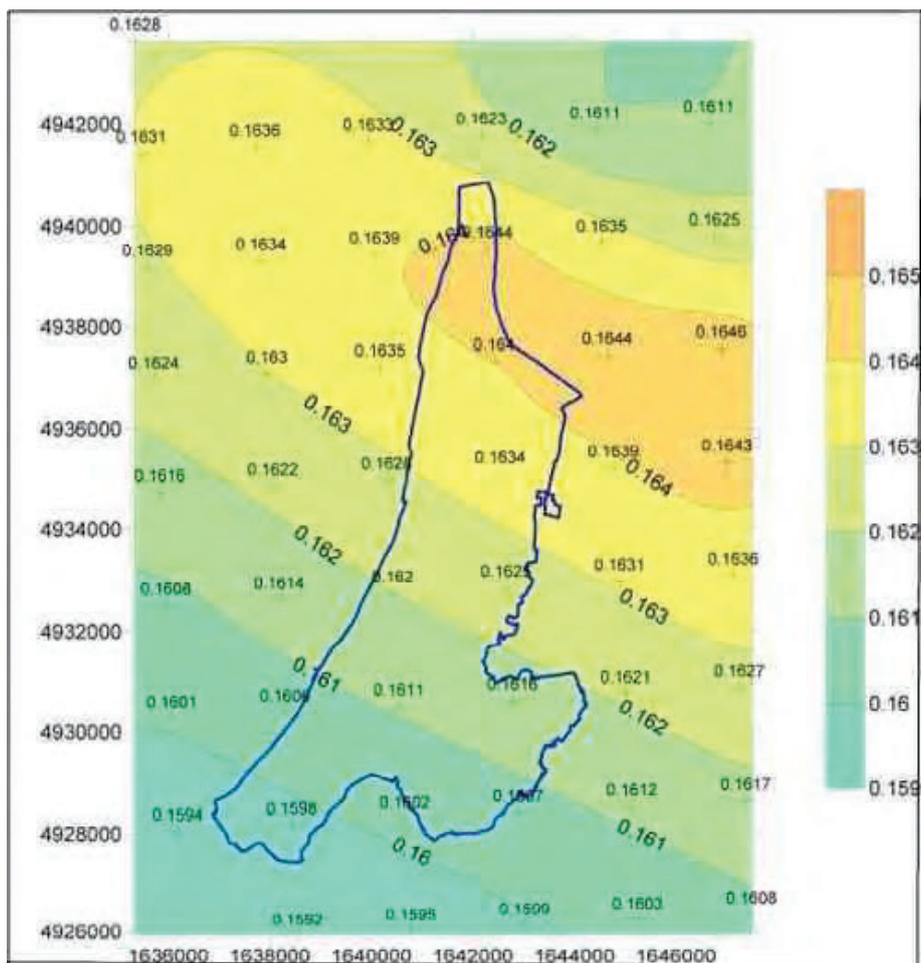
Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274/2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, il Comune di Sassuolo è stato classificato in zona sismica 2.



**Figura 5: Valori di pericolosità sismica relativi alla Regione Emilia Romagna**

L’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” ha fissato i criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e la nuova mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale, di cui si riporta nella pagina precedente un estratto relativo alla Regione Emilia Romagna. Il valore di pericolosità sismica del territorio del comune di Sassuolo, così come individuato dall’INGV e riproposto nella mappa della pericolosità a scala comunale, è compreso tra 0.150 e 0.175 g. Dalla mappa di pericolosità del comune di Sassuolo si evince una variabilità dell’accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi compresa tra 0.1594 nella zona sud e 0.1644 g nell’area nord del territorio. Sulla base delle NTC 2008 il valori di accelerazione di riferimento per il Comune di Sassuolo risulta pari a 0,162 g: tale valore sarà utilizzato come input per le fasi successive di lavoro.

La deliberazione dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna n.112 del 2 maggio 2007 "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" (proposta della Giunta Regionale in data 10 gennaio 2007, n.1), fornisce i criteri per la valutazione della risposta sismica locale e per la microzonazione sismica del territorio e stabilisce che gli indirizzi approvati dovranno essere osservati dalle Amministrazioni provinciali e comunali nell'elaborazione della propria strumentazione territoriale ed urbanistica. Da tale documento sono stati desunti gli accelerogrammi di riferimento per l'area considerata, ossia il T046, il T156 e il T354.



**Figura 6: Mappa di pericolosità del territorio sassolese espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi.**

## ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

L'Alta Pianura Modenese si sviluppa al margine dell'Appennino Settentrionale, caratterizzato dall'affioramento di successioni argillose plio-pleistoceniche che fungono, insieme alle altre formazioni marine, da basamento per le alluvioni del Fiume Secchia ed in parte minore degli altri torrenti e rii, che formano la pianura e l'acquifero principale. La geologia profonda della zona è nota in massima parte attraverso i dati forniti da sondaggi compiuti nell'ambito della ricerca di idrocarburi. Il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena-pianura bensì è individuabile nelle strutture profonde (Pieghe Emiliane e Ferraresi) sepolte dai sedimenti quaternari padani: infatti 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 Eurasiatica.

E' a partire dall'Oligocene superiore che inizia la formazione della catena dell'Appennino settentrionale attraverso un processo di deformazione in cui si possono distinguere due fasi: durante la prima, che si sviluppa dall'Oligocene superiore al Pliocene inferiore, viene definita la strutturazione dell'arco dell'Appennino Settentrionale, mentre nel secondo stadio, a partire dal Pliocene medio in poi, viene coinvolto il settore esterno della catena, con un jumping del fronte complessivo al quale si accompagna anche un cambiamento nella litologia dei sedimenti che caratterizzano le avansosse.

Il successivo ritiro delle acque dal golfo padano è avvenuto con movimenti alterni che, uniti a intensi movimenti tettonici che hanno determinato sollevamento della catena appenninica e subsidenza della pianura, ha dato luogo alla struttura geologica che si rinviene nella zona pedecollinare e nella Pianura Padana. Il territorio del Comune di Sassuolo si può dividere dal punto di vista litologico e morfologico in due parti distinte: l'alta pianura e la valle del Fiume Secchia, che si sviluppano a nord/ovest e l'area collinare a sud/est.

Dal confronto delle stratigrafie dei pozzi per l'emungimento di acqua si evince che nella zona sud/ovest, a ridosso della collina, lo spessore dei sedimenti alluvionali è normalmente inferiore ai 10 metri, mentre nella zona a nord del ponte ferroviario sul fiume Secchia, che collega Sassuolo con la Veggia, lo spessore dei depositi alluvionali è dell'ordine di molte decine di metri. In tale area sono ubicati anche i pozzi dell'acquedotto gestiti da HERA che captano le falde a notevole profondità rispetto al piano di campagna. Discorso analogo anche per la falda superficiale che tende ad approfondirsi procedendo da sud verso nord.

Dalla microzonazione di I e II livello del territorio comunale sono stati desunti due modelli geologici di riferimento: il primo è coincide con l'area di conoide del Fiume Secchia nella quale affiorano sedimenti quaternari di origine continentale (Subsistema Emiliano Romagnolo Superiore ed Inferiore caratterizzato dalla presenza di ghiaie in matrice limo-sabbiosa) con potenza che tende ad aumentare procedendo da sud verso nord, mentre il secondo è morfologicamente coincidente con l'area collinare e caratterizzato dall'affioramento del substrato marino (Formazione delle Argille Azzurre, Formazione del Termina e Brecce Argillose di Baiso).

In entrambe le zone sono presenti coperture: nell'area di conoide esse sono legate in massima parte alla presenza di attività antropiche, come ad es. cave e bonifiche di siti contaminati, che nel tempo hanno generato una variabilità locale delle coperture sia per ciò che attiene gli spessori sia relativamente alla tipologia di materiale utilizzato per i riempimenti.

Nell'area collinare i depositi superficiali derivano in massima parte da fenomeni di instabilità di versante, con l'eccezione dei depositi di sarsa, prodotti dalle eruzioni della salsa di Montegibbio che si sono succedute nel tempo: ve ne sono descrizioni nella Naturalis Historia di Plinio Il Vecchio (I secolo d.C.); l'ultima eruzione che ha comportato scosse percepite a Sassuolo e a Castellarano è

avvenuta il 4 giugno del 1835 (Giovanni De' Brignoli di Brumhoff, 1836) e a seguito della quale è stato depositato materiale anche ad una discreta distanza dalla salsa che ad oggi consiste in un laghetto di fango.

La presente relazione ha analizzato in particolare il deposito di sarsa o di salsa presente a sud del quartiere di Pontenuovo.

La genesi dei fanghi che hanno dato origine al deposito di sarsa è da attribuire alla risalita di acqua e gas sotto pressione attraverso discontinuità strutturali nelle argille azzurre, che genera vulcani di fango freddo o borboj. Tali fluidi sono costituiti perlopiù da miscele di gas, nelle quali normalmente predomina il metano (e talvolta la CO<sub>2</sub>), acque salate fossili, fango e anche idrocarburi liquidi che risalgono in superficie. L'espansione termica del metano durante la risalita, con conseguente diminuzione della densità e aumento della pressione dei fluidi, favorisce l'estrusione superficiale del fango (Brown, 1990).

L'analisi delle acque emesse dalle salse ha messo in luce un'origine connata (o di formazione) di tali fluidi dominata dalla componente clorurato-sodica (Gorgoni et al., 1988). Il fango emesso dalle salse deriva essenzialmente dalla fluidificazione di peliti per opera dei fluidi, quali acque di formazione e metano (sia biogenico che termogenico) proveniente da trappole per idrocarburi. I vulcani di fango sono quindi alimentati da uno o più serbatoi (reservoirs) posti a diverse profondità in cui si accumulano miscele di acque salate fossili, argilla, e principalmente metano. La porzione liquida e argillosa si accumula perlopiù in serbatoi più superficiali miscelandosi poi con acque meteoriche (Nanni & Zuppi, 1986; Capozzi & Picotti, 2002).

La Salsa di Montegibbio è stata luogo di ripetute eruzioni. Secondo Govi (1906 e op. cit.) sarebbe da ascrivere a questa salsa anche l'eruzione "pliniana" del 91 a.C., alla quale si sarebbero succedute altre minori eruzioni nel 1592, 1594, 1599, 1601, 1608, 1628, 1684, 1689,

1711, 1781, 1784, 1786, 1787, 1789, 1790 (vedi anche Stöhr, 1867 e Biasutti, 1907). Considerevole fu l'eruzione del 4 (o 14) Giugno 1835, tanto che le cronache (dettagliata è quella del De Brignoli de Brunnhoff citata in Biasutti, 1907) riportano che una colonna di fumo alta circa 50 metri si sprigionò da tale salsa (della quale pare non fossero presenti tracce rilevanti prima dell'eruzione) con combustioni al suo interno e lancio di sassi e fanghiglia, che una volta ricaduta scorreva lungo il versante dando luogo ad un piano inclinato. Tale eruzione innescò anche un terremoto, che fu avvertito localmente. Cronache riportano che circa un milione e mezzo di metri cubi di fango furono eruttati durante quest'evento (Ferretti, 1878). Il flusso di fango associato a tale eruzione è quello che ha originato il deposito oggetto di studio.

## DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Al fine della definizione delle caratteristiche geotecniche e geofisiche dell'area considerata, con il finanziamento concesso dalla Regione Emilia Romagna sommato al cofinanziamento del Comune di Sassuolo, sono state effettuate le seguenti prove:

- n.2 sondaggi a rotazione e a carotaggio continuo spinti entrambi alla profondità di 40m dal piano campagna, con prelievo di 6 campioni indisturbati su cui sono state eseguite analisi di laboratorio terre;
- n.6 prove penetrometriche statiche meccaniche (CPT) spinte al rifiuto alla penetrazione di punta alla quota variabile da -14.00 a -30.00 metri;
- n.11 indagini sismiche attive in onde di superficie (Rayleigh e Love);
- n.10 indagini sismiche passive a stazione singola con tecnica dei microtremitori HVSR.

Nel presente studio non sono state utilizzate indagini pregresse in quanto, non ve ne erano in corrispondenza del deposito di salsa e quelle disponibili nelle vicinanze si confermano la geologia al contorno già nota da tempo.

In corrispondenza dei sondaggi 1 e 2 sono stati prelevati n.6 campioni indisturbati rispettivamente alle profondità comprese tra -6,60 e -7,10 m, tra -15,00 e -15,60 m, tra -31,40 e -32,00 nonché tra -4,50 e -5,00 m, tra -25,40 e -26,00 m, tra -36,00 e -36,60.

Sui campioni prelevati sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	<b>Quota di prelievo</b>	<b>Prove effettuate</b>
S1	1	6,60 -7,10	Contenuto d'acqua Limiti di Atterberg Prova edometrica Prova triassiale ciclica
S1	2	15,00 -15,60	Contenuto d'acqua Limiti di Atterberg Prova triassiale C.I.U.
S1	3	31,40 - 32,00	Contenuto d'acqua Limiti di Atterberg
S2	1	4,50 - 5,00	Contenuto d'acqua Limiti di Atterberg Prova edometrica
S2	2	25,40 - 26,00	Contenuto d'acqua Limiti di Atterberg Prova triassiale ciclica
S2	3	36,00 - 36,60	Contenuto d'acqua Limiti di Atterberg Prova triassiale C.I.U.

# MODELLO DEL SOTTOSUOLO

## Frequenze naturali dei depositi

In appendice è riportata l'ubicazione delle prove HVSR che hanno consentito di definire le principali frequenze che caratterizzano l'area oggetto di studio:

Si è potuto rilevare che nella maggior parte dei casi la frequenza naturale del terreno è compresa tra 1,8 e 3,2 Hz. La distribuzione dei valori consente di affermare che sussiste un'omogeneità spaziale della frequenza di risonanza dei terreni.

## Velocità di propagazione delle onde di taglio

Al fine di definire la velocità di propagazione delle onde di taglio è stata utilizzata la metodologia Masw. Ciò ha consentito di confermare ulteriormente le caratteristiche di omogeneità del deposito di sarsa che presenta andamenti delle velocità con la profondità molto simili in aree a quote tra loro raffrontabili. Si può inoltre aggiungere che a quote analoghe sul livello del mare corrispondono, in linea di massima andamenti simili del profilo delle velocità e conseguentemente delle Vs30, che risultano comprese generalmente tra 200 e 320 m/s, identificando terreni di tipo C secondo le NTC 2008.

## Sezioni litotecniche e modello del sottosuolo

I sondaggi realizzati hanno prodotto le seguenti stratigrafie:

Sondaggio stratigrafico n.1:

Profondità (m)	Litologia
Da 0,00 a 9,80	Argilla mediamente compatta con abbondanti inclusi ghiaiosi
Da 9,80 a 33,00	Argilla grigia e argilla grigio-nocciola molto compatta, localmente cementata in argilliti con abbondanti inclusi ghiaiosi e ciottoli
Da 33,00 a 40,00	Argilla grigia scura debolmente limosa compatta

Sondaggio n.2:

Profondità (m)	Litologia
Da 0,00 a 14,00	Argilla grigia nocciola molto compatta con abbondanti inclusi ghiaiosi
Da 14,00 a 19,50	Ghiaia media in matrice limo-sabbiosa sciolta nocciola-grigia
Da 19,50 a-40,00	Argilliti grigie e argille molto compatte

Dal confronto tra le analisi di laboratorio e le stratigrafie di sondaggio si sono potute individuare le seguenti unità litotecniche:

Unità Litotecnica	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)
Argilla grigia mediamente compatta con abbondanti inclusi	19	20	8	22
Argille grigie molto compatte localmente cementate con abbondanti inclusi ghiaiosi e ciottoli	19	20	12	24
Ghiaia in matrice limo-sabbiosa	20	22	0	38
Argilliti ed argille grigio scure molto compatte	22	23	15	35

Nel corso delle prove effettuate non è stata rilevata la presenza di falda nell'area oggetto di studio: informazione confermata dall'assenza di pozzi per acqua in zona.

## INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

La densità delle indagini a disposizione e la possibilità di utilizzare i carotaggi effettuati per tarare le analisi indirette realizzate consentono, con tutte le cautele necessarie ogni qualvolta si estenda un dato puntuale ad un'area, di poter affermare che il modello stratigrafico individuato sia sufficientemente attinente alla realtà.

Il fenomeno franoso attivo riportato nella carta di III livello non è stata oggetto di verifica in quanto si tratta di un movimento superficiale che non è interessato da rimobilizzazione in caso di sisma. Il movimento in oggetto non interessa alcun tipo di struttura (sia edifici che infrastrutture) ed il piano urbanistico comunale non ammette alcun tipo di intervento edificatorio in quest'area. Nelle norme tecniche d'attuazione NTA del PSC vigente, approvato con DCC n.25 dell' 11/06/2013 all'art. 15 comma 2 si riporta che *"Nelle aree interessate da frane attive non è consentito alcun intervento di nuova edificazione. Sugli edifici esistenti non sono consentiti interventi che comportino ampliamento della superficie e di volume e cambiamenti di destinazione d'uso che implicino aumento del carico insediativo. Nelle aree interessate da frane attive è favorita l'evoluzione naturale della vegetazione"*.

## METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nell'area di Pontenuovo è stato realizzato lo studio di risposta sismica locale con l'obiettivo di definire, attraverso simulazioni numeriche della propagazione del moto sismico dal basamento roccioso di origine alla superficie, gli accelerogrammi attesi a piano campagna, i relativi spettri di risposta ed i parametri sismici rappresentativi da utilizzare nelle verifiche di sicurezza.

Gli accelerogrammi di riferimento sono quelli identificati per il Comune di Sassuolo dalla DGR 2193/2015 della Regione Emilia-Romagna.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti, rispettivamente con l'accelerogramma 46, 126, 354.

Si precisa che le curve utilizzate per definire le caratteristiche dinamiche dei terreni sono quelle ottenute sperimentalmente con le prove di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi esplorativi.

- Definizione del moto di input (scelta delle azioni sismiche)

I segnali di riferimento forniti sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" ([http://www.isesd.hi.is/EsD\\_Local/frameset.htm](http://www.isesd.hi.is/EsD_Local/frameset.htm), nel seguito citata come ISESD) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni di figura 7.1) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.

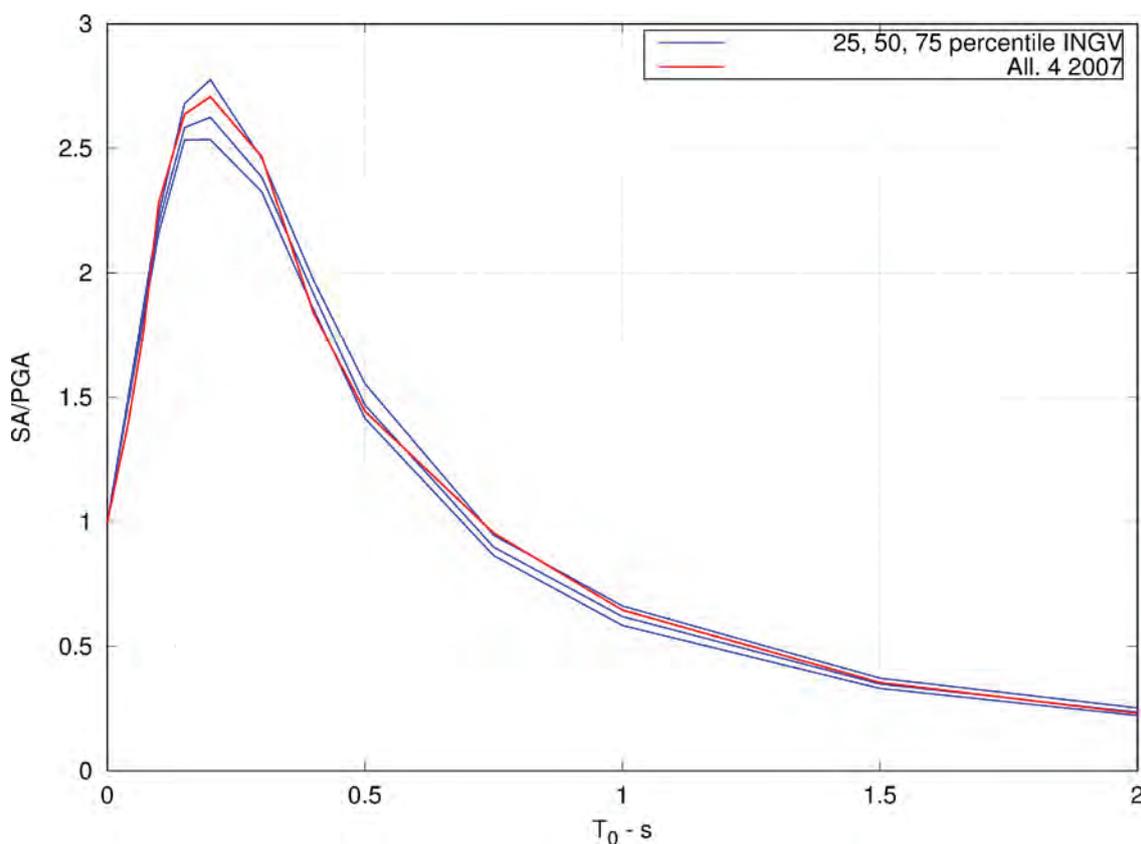


Figura 7.1 Spettro di risposta normalizzato (Periodo di ritorno: 475 anni, smorzamento: 5%) per l'Emilia-Romagna

I segnali di riferimento sono stati normalizzati affinché la loro ampiezza massima assoluta sia unitaria. I files con i segnali di riferimento normalizzati sono disponibili nel sito web del servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale, tema “Sismica - Microzonazione Sismica”. Si tratta di tre files:

000046xa.xy

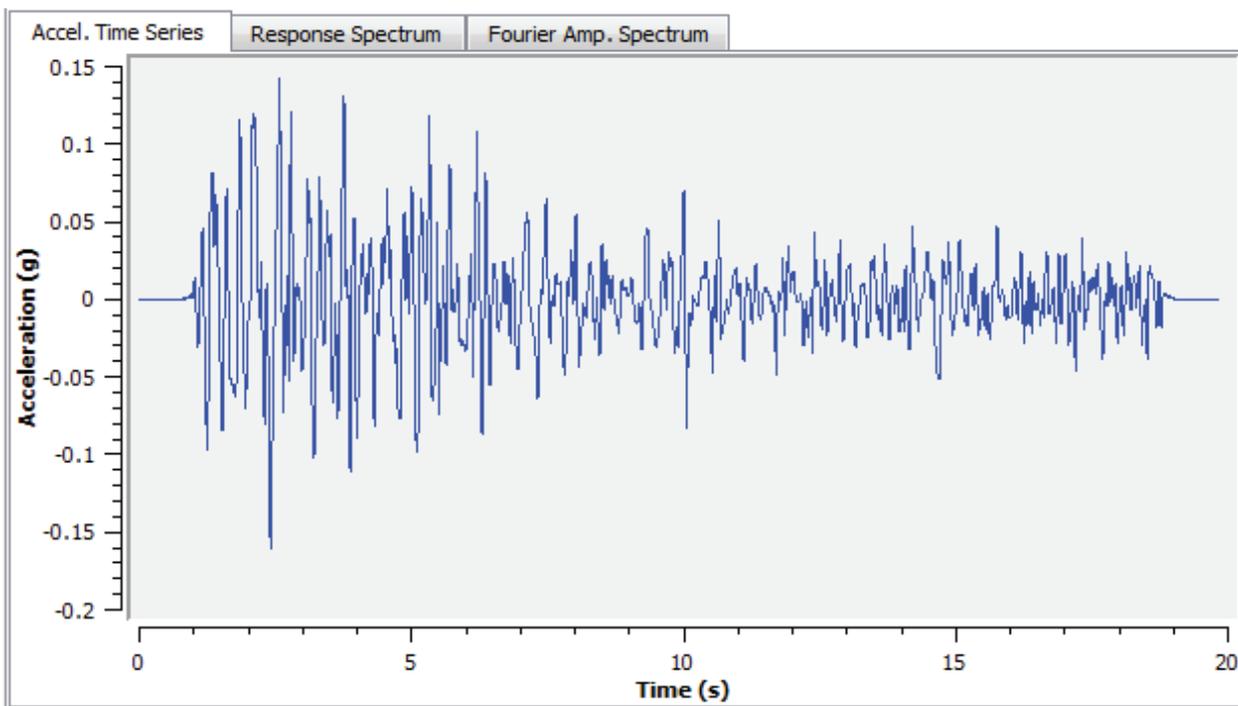
000126xa.xy

000354xa.xy

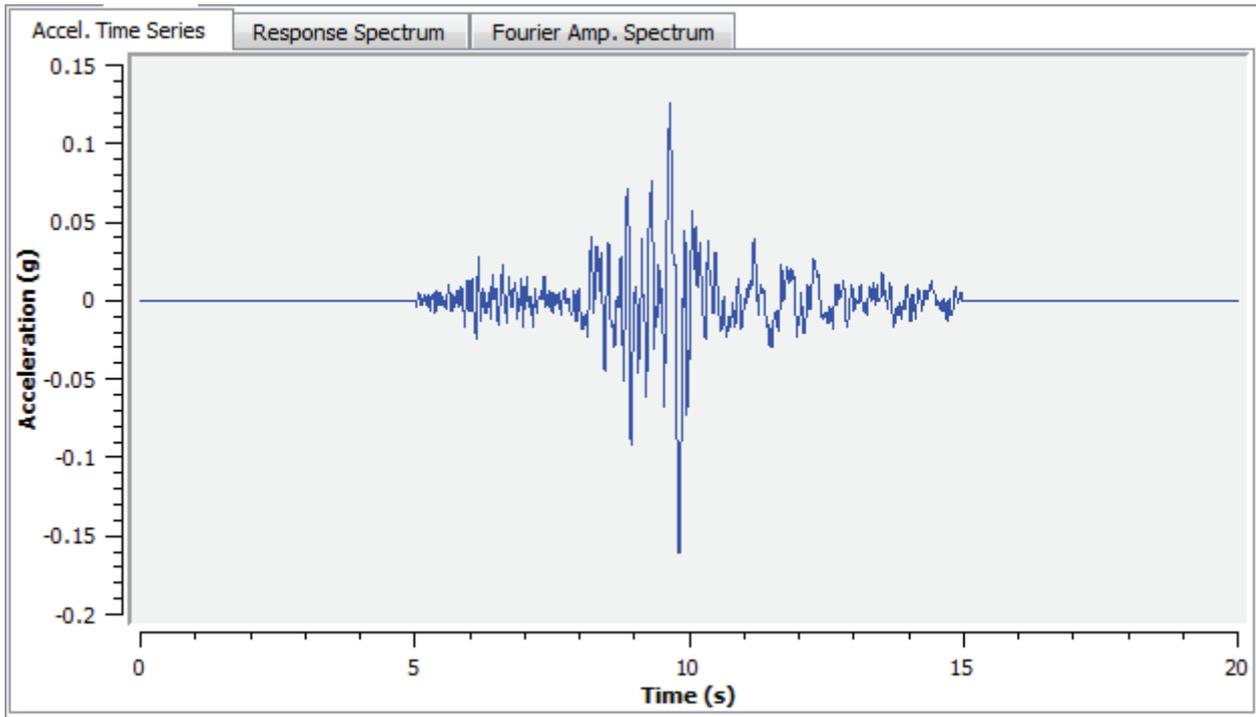
Il nome dei files corrisponde al codice identificativo IESD delle registrazione accelerometriche. Ogni file contiene due colonne: la prima colonna corrisponde al tempo, espresso in secondi, la seconda contiene il valore di accelerazione normalizzata.

Il moto sismico (periodo di ritorno 475 anni) in termini di accelerogrammi relativi al sito analizzato è ottenuto moltiplicando le accelerazioni normalizzate dei segnali di riferimento (seconda colonna dei files) per il valore di  $a_{refg}$  ottenuto interpolando i valori di  $a_{refg}$  definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino.

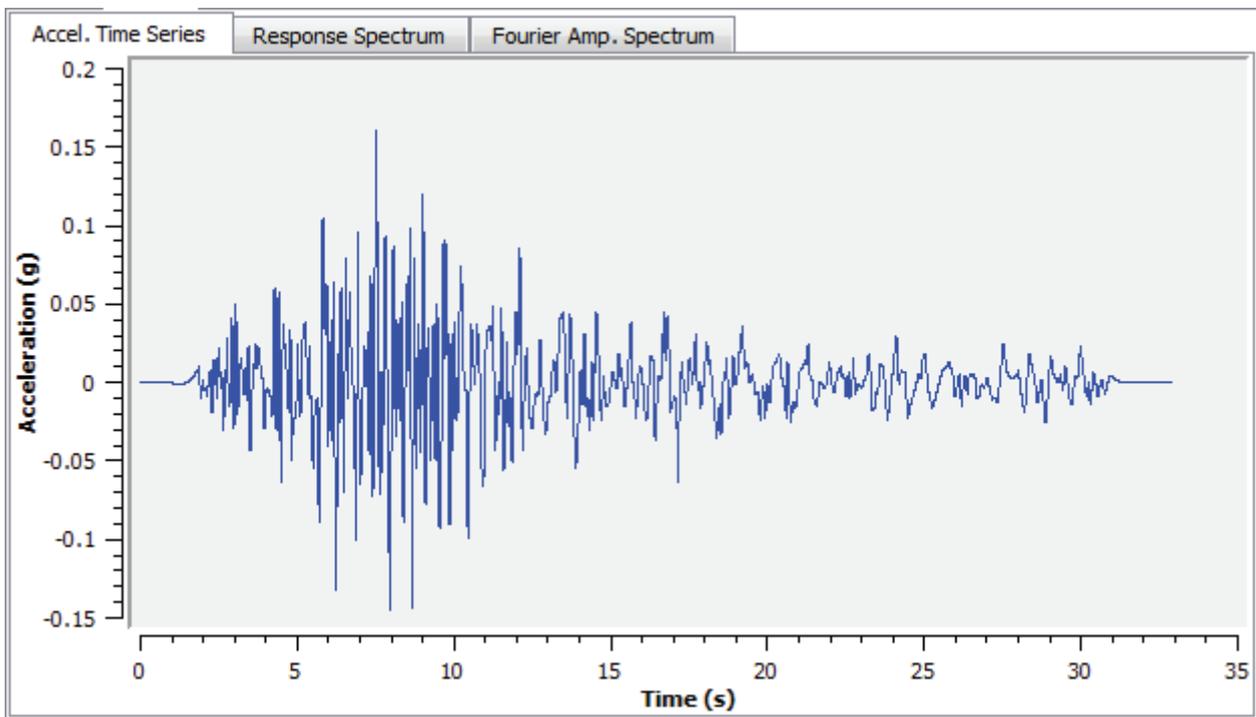
000046xa.xy



000126xa.xy



000354xa.xy



#### Definizione del modello di Vs

Il modello di profondità dei profili di Vs è stato ricavato dalle indagini sismiche effettuate nel sito tramite indagini sismiche di superficie attive e passive di tipo MASW/FTAN ed HVSR desunte dalla relazione geologica.

Sulla base delle ricostruzioni geologiche precedentemente illustrate e sulla base dei risultati delle indagini geofisiche, ai fini della modellazione, è stato posto il substrato sismico alla profondità di circa 35-40m.

#### Definizione del modello di calcolo

Il codice di calcolo scelto per l'analisi di risposta sismica locale è il software "Strata" sviluppato da Albert R. Kottke e Ellen M. Rathje presso il Pacific Earthquake engineering Research Center (PEER) di Berkeley, University of California nel 2008.

Strata calcola la risposta sismica locale monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno variabili in funzione del livello deformativo. Si basa anch'esso sul codice SHAKE ed è possibile eseguire analisi lineari elastiche, dove le proprietà del terreno sono mantenute costanti, oppure analisi equivalenti lineari dove le proprietà elastiche e lo smorzamento vengono fatte variare a seconda della curva di decadimento del terreno scelto. Il codice di calcolo non permette di eseguire analisi non lineari ed inoltre lavora esclusivamente in termini di tensioni totali.

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in figura 7.2. La tensione  $\tau$  dipende dalla deformazione  $\gamma$  e dalla sua derivata  $\dot{\gamma}$ , secondo la relazione:

$$\tau = G \gamma + \eta \dot{\gamma}$$

dove:

- G : Modulo di taglio;
- $\eta$  : viscosità del mezzo.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in figura 7.2a. Il modulo di taglio equivalente,  $G$ , è preso considerando il modulo di taglio secante  $G_s$ . È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

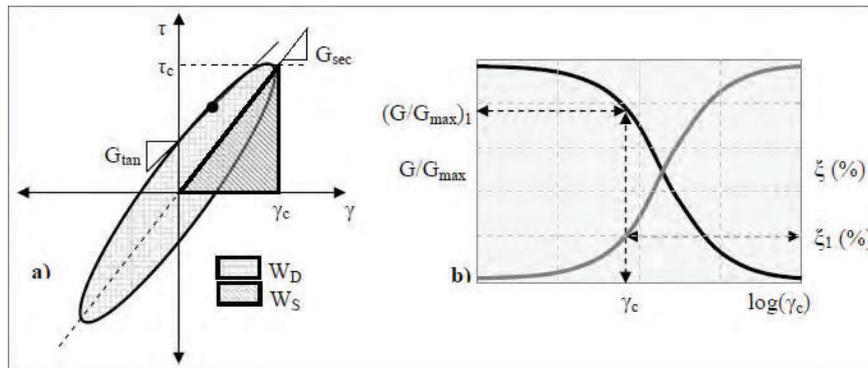


Figura 7.2: Modello lineare equivalente; a) ciclo di isteresi; b) curve di non linearità

La curva  $G_s$ -  $\gamma$  non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva  $\tau$  -  $\gamma$  e sussiste seguente relazione:

$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento  $D$ ,

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

definito come:

dove:

$\Delta W^{dissp}$ : quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;

$W^{max}$ : massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico.

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (figura 7.2b).

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Facendo riferimento alla stratigrafia inserita, lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico:

- 1) definizione di curve  $G=G(\gamma)$  e  $D=D(\gamma)$  per i diversi strati;
- 2) inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni ( $G_0$  e  $D_0$ );
- 3) calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato;
- 4) aggiornamento dei valori  $G_1=G(\gamma_1)$  e  $D_1=D(\gamma_1)$ ;
- 5) iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ( $\gamma_{i-1} \sim \gamma_i$ ).

Il programma permette di ricavare diversi dati di output come lo spettro di risposta in termini di accelerazione, velocità e spostamento in superficie, deformazioni e sforzi di taglio e molti altri dati utili allo svolgimento dell'analisi sismica locale.

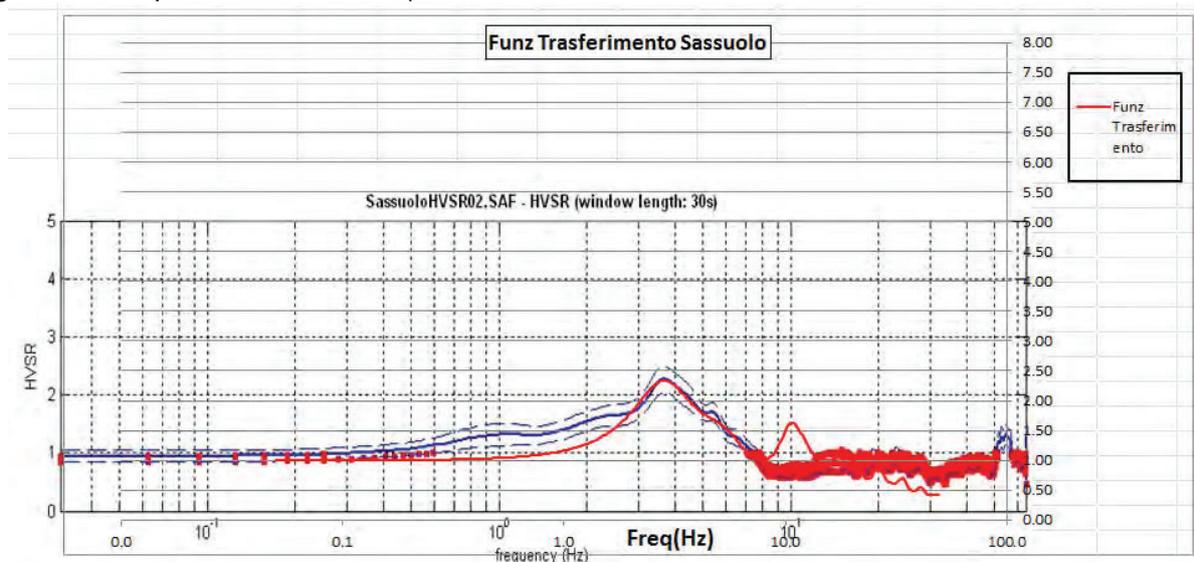
In base agli output di interesse definiti nella scheda precedente il programma restituisce i risultati dell'analisi, sia in versione grafica che tabulare.

#### Risultati

Il codice fornisce una moltitudine di risultati (iterazioni eseguite dal programma: accelerazione, velocità e spostamenti in superficie in funzione del tempo; max accelerazioni, velocità e spostamento in superficie; deformazione e sforzo di taglio in corrispondenza di uno strato desiderato in funzione del tempo; funzione di amplificazione; frequenza di massima amplificazione; spettro di Fourier; spettro di risposta in accelerazione, velocità e spostamento in funzione del periodo).

Nel presente lavoro di risposta sismica locale si intende fornire gli accelerogrammi di output e i relativi spettri elastici di risposta in accelerazione.

Il primo importante risultato è costituito dalla funzione di amplificazione desunta dalle analisi eseguite, dalla quale si evince che (in rosso la funzione di trasferimento desunta dalle analisi:

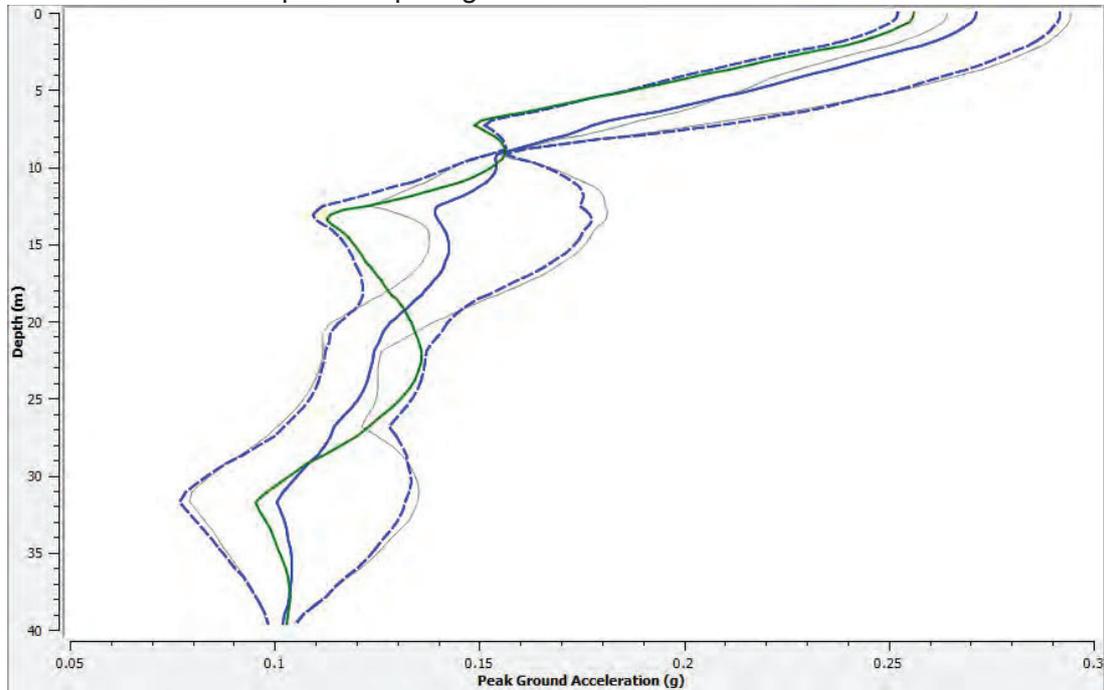


- la frequenza fondamentale di amplificazione  $f_0$  si configura prossima a 3.5-4 Hz, in accordo con la

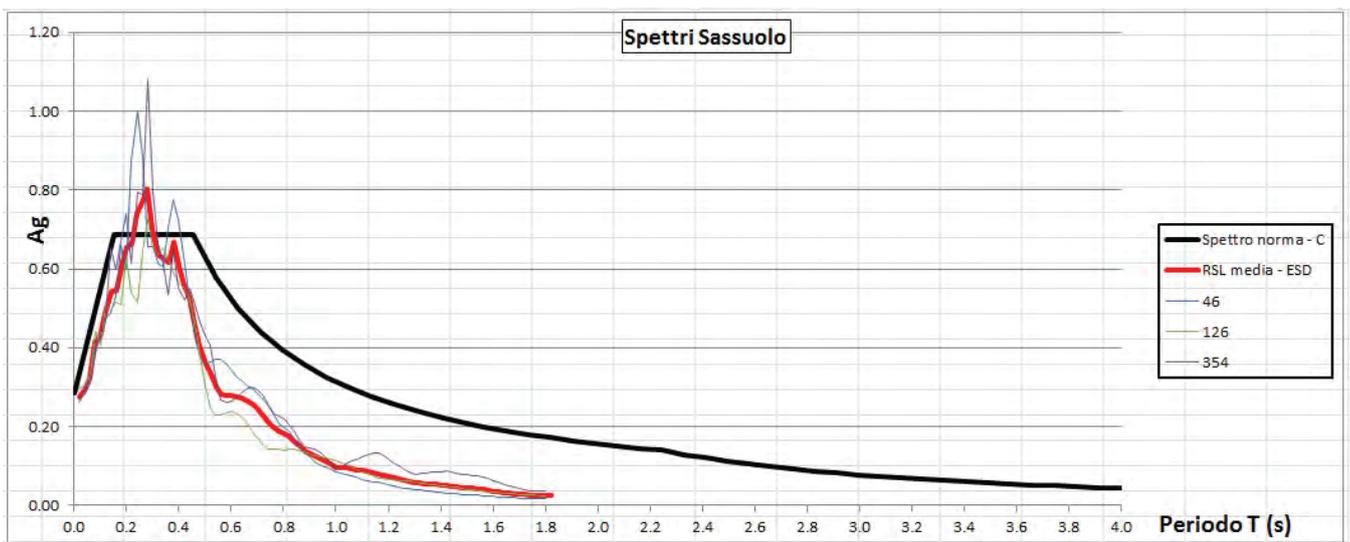
frequenza fondamentale rilevata dalle misure di microtremore effettuate al sito.

I risultati sopra descritti testimoniano la buona riuscita della modellazione in accordo con il modello geotecnico di sottosuolo individuato.

Di seguito si riportano gli spettri ottenuti per le varie analisi effettuate ed in sovrapposizione grafica il rispettivo spettro medio. Tale spettro viene ottenuto mediante una media dei singoli spettri relativi alle varie condizioni di carico presenti per ogni analisi.



Profilo del *Peak Ground Acceleration (ag)*: al piano di fondazione la massima accelerazione (media per i 3 accelerogrammi considerati) risulta pari a circa 0.27g.



Confronto tra lo spettro medio desunto dall'analisi di RSL e lo spettro semplificato di normativa per una categoria di sottosuolo di tipo "C"

Come si evince dai risultati ottenuti l'analisi di risposta sismica è servita ad ottenere la PGA al sito al

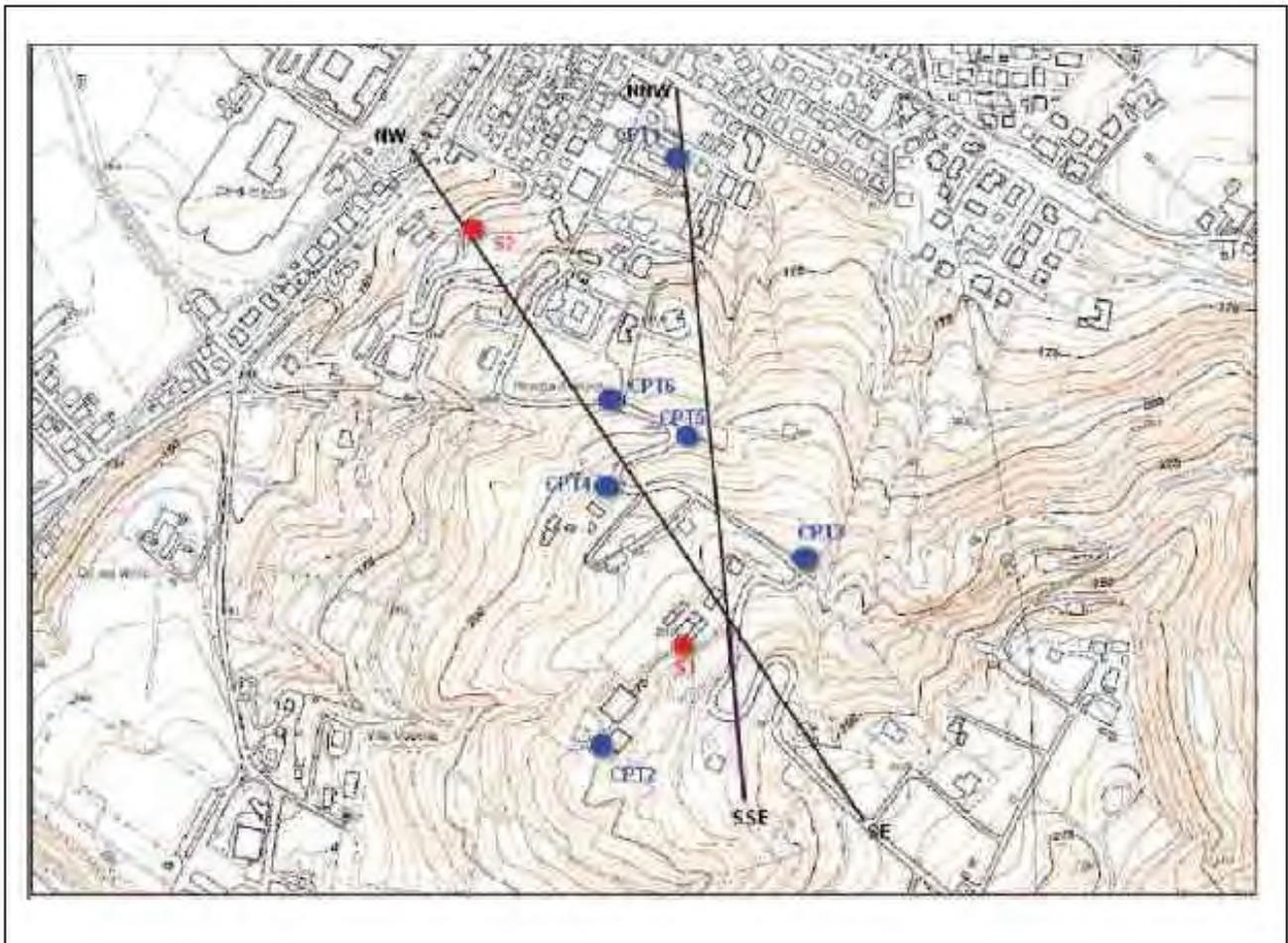
fine di determinare i valori dei coefficienti  $K_h$  e  $K_v$  da utilizzare nelle verifiche di sicurezza in condizioni sismiche. Dal confronto con l'approccio semplificato indicato da normativa la PGA ottenuta risulta pressochè identica (0.27g contro 0.28g) e pertanto al fine delle verifiche di sicurezza è stato utilizzata la PGA desunta dall'approccio di norma con spettro di tipo C.

Infine sono state realizzate le verifiche di stabilità del pendio secondo le due direzioni che maggiormente interessavano l'amministrazione in relazione alla densità di abitazioni, alla presenza di un istituto scolastico e della viabilità principale. La Frana attiva riportata nella carta di III livello non è stata oggetto di verifica in quanto si tratta di un movimento superficiale che non è interessato da rimobilizzazione in caso di sisma. Inoltre il movimento in oggetto non interessa alcun tipo di struttura (sia edifici che infrastrutture) ed il piano urbanistico comunale non ammette alcun tipo di intervento edificatorio in quest'area.

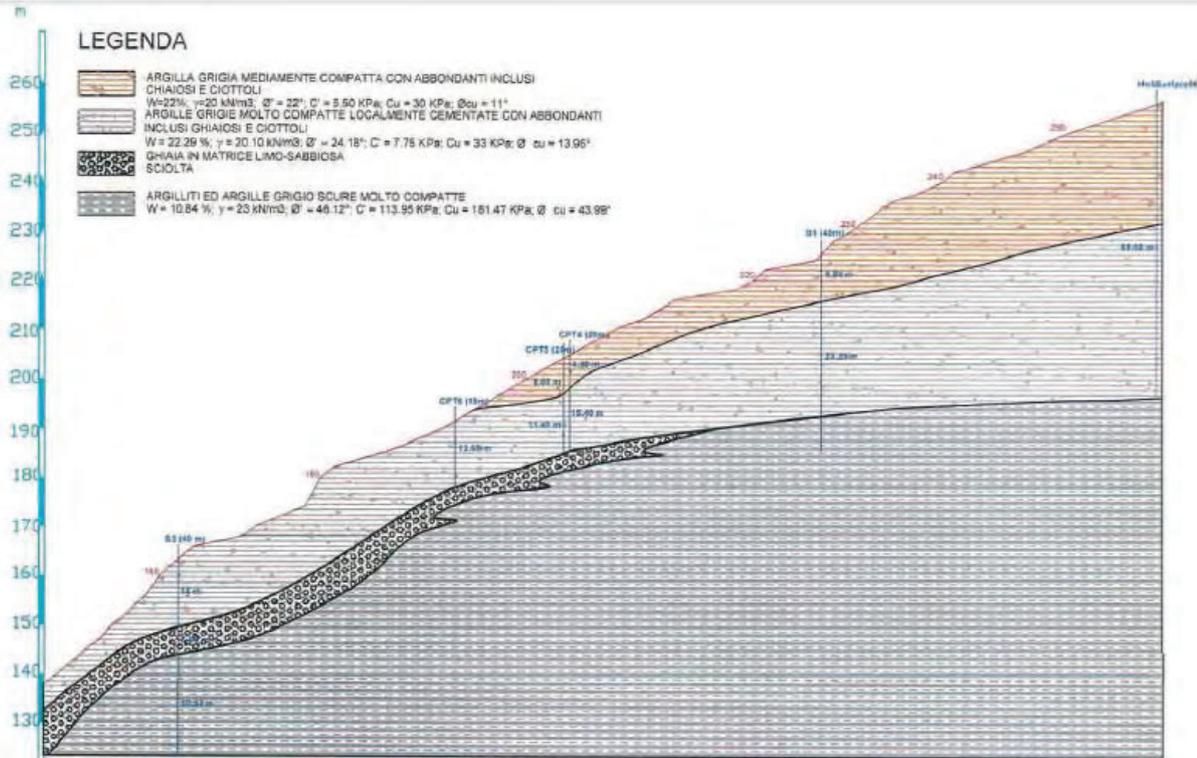
Nella relazione in allegato sono definite le modalità con cui sono state realizzate le verifiche di stabilità. Le sezioni individuate sono sotto rappresentate e definite:

Sezione 01 - NW/SE

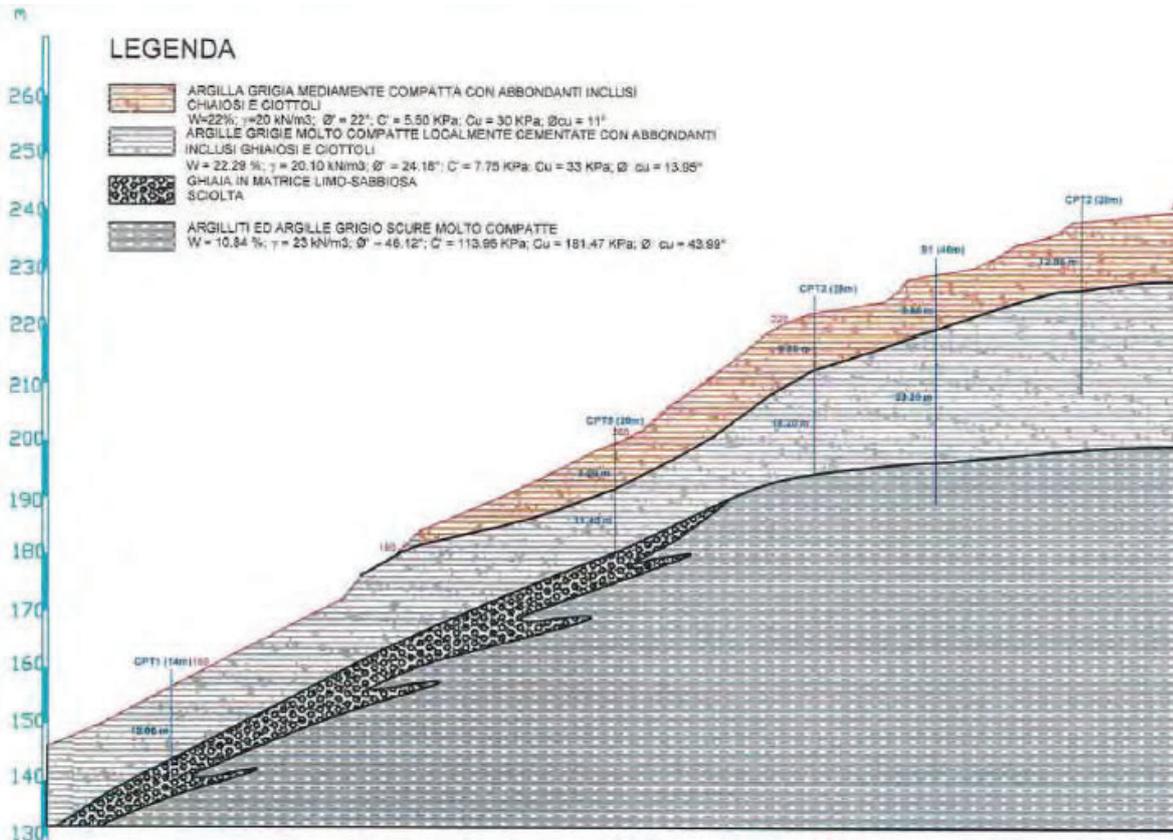
Sezione 02 - NNW/SSE



## Sezione 01

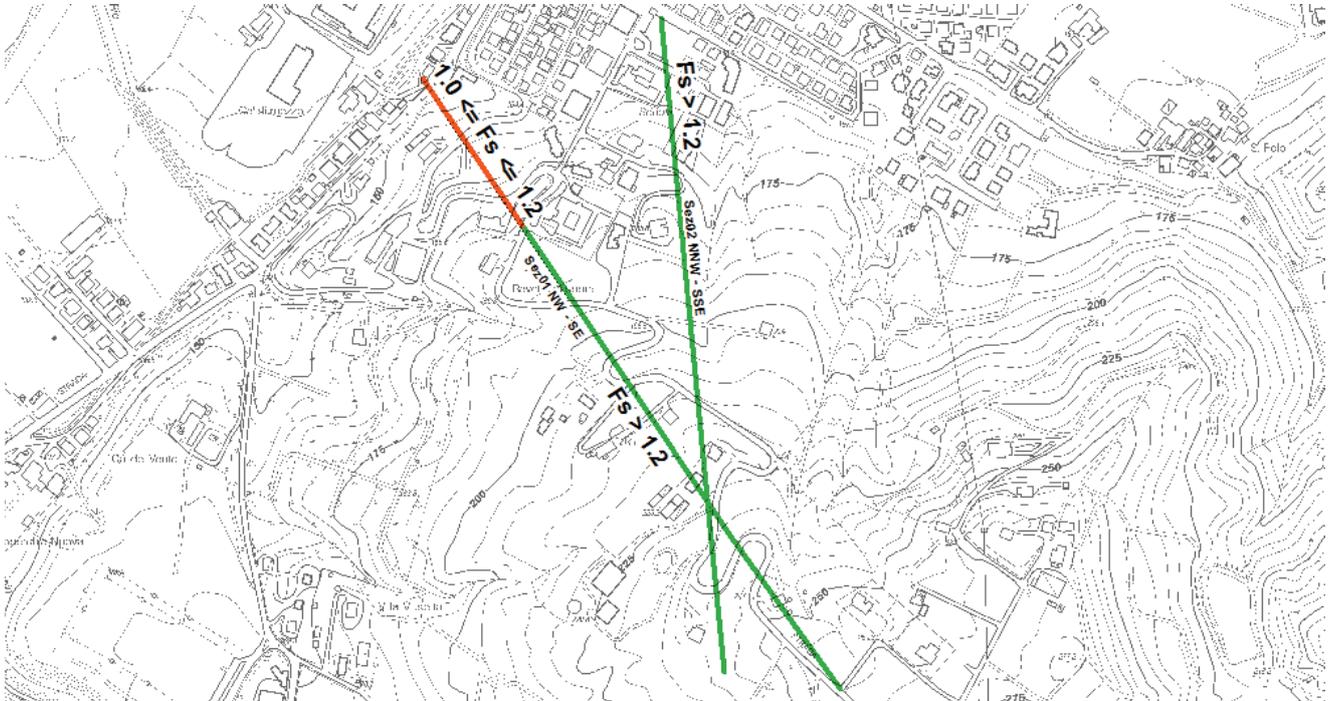


## Sezione 02

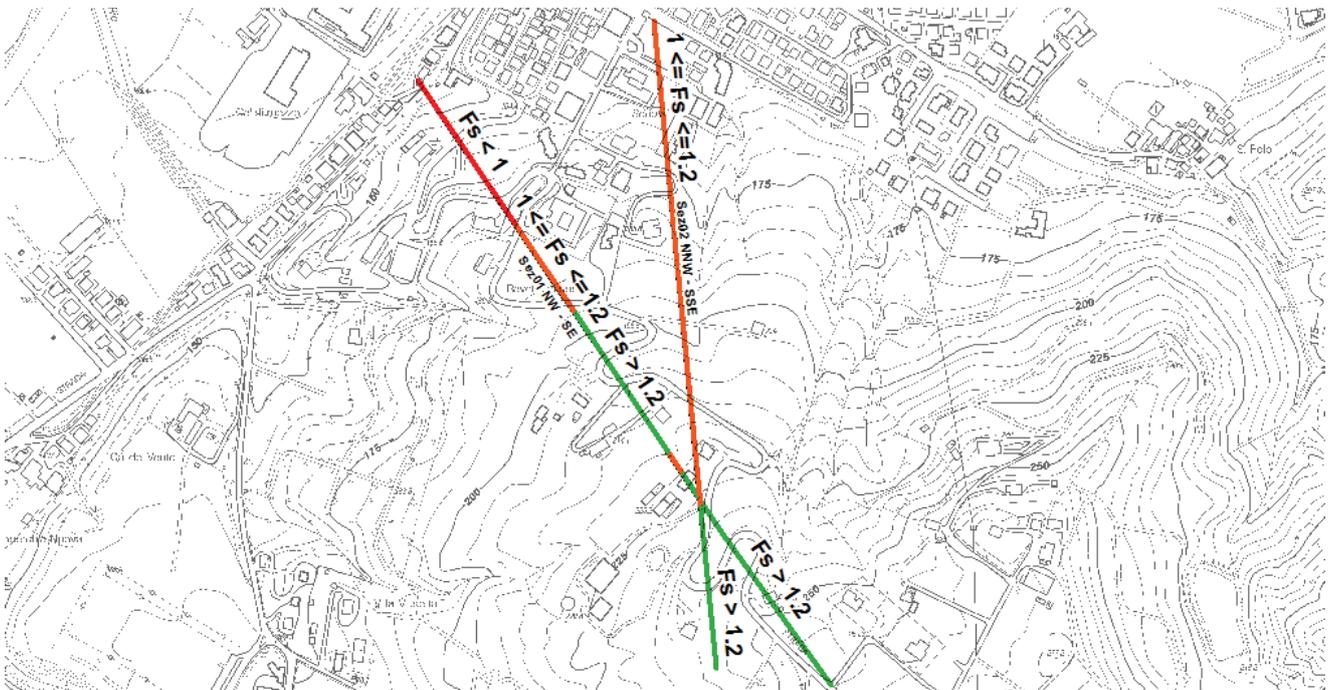


Sulla base dei risultati ottenuti sono stati graficati lungo le sezioni i coefficienti dei Fattori di sicurezza (Fs) ottenuti:

### Fs - Caso Statico



### Fs - Caso Sismico

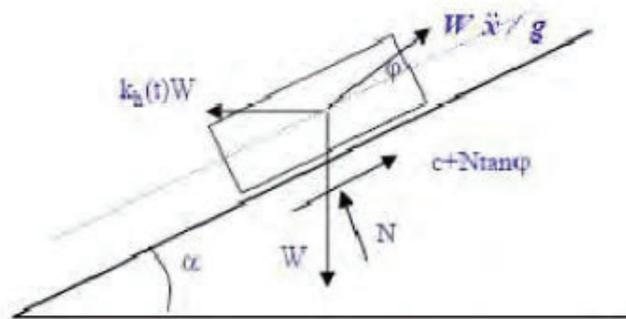


Come si evince dai risultati ottenuti, per il caso sismico, si riscontra una criticità nella parte bassa del versante lungo la Sezione 01. Su tale porzione di versante si è provveduto ad effettuare un 'analisi pseudodinamica con il metodo di Newmark al fine di quantificare gli spostamenti (in cm) in caso di sisma.

Il metodo di Newmark (1965), così come i metodi degli spostamenti che ne derivano come evoluzione, riescono a superare almeno in parte i limiti dei metodi pseudostatici. Infatti in questo tipo di approccio, l'azione sismica deriva da una funzione dipendente dal tempo (principalmente accelerogrammi). La risposta del pendio viene poi studiata valutando gli spostamenti accumulati e paragonandoli con un valore di spostamento di riferimento, ritenuto ammissibile a seconda della condizione limite di riferimento che si vuole studiare (stato limite ultimo o di danno).

Le ipotesi principali su cui si basano il metodo di Newmark sono:

- il pendio viene assimilato ad un blocco rigido libero di scorrere su un piano inclinato e soggetto al sistema di forze indicato nella figura sottostante;



- il blocco si mette in movimento relativo rispetto al substrato, quando l'accelerazione orizzontale supera il valore critico  $a_c$  calcolato in modo indipendente mediante analisi pseudostatiche.
- Il valore critico corrisponde al raggiungimento del fattore di sicurezza  $FS=1$ . Quando l'accelerazione del terreno torna al di sotto del valore critico il moto prosegue con accelerazione nulla, finché la velocità relativa non torna a zero per effetto dell'attrito tra blocco e pendio;
- lo stesso accelerogramma di progetto viene applicato a tutto il corpo di frana ( $a(t)$  costante nello spazio);
- la resistenza al taglio del terreno in condizioni statiche e dinamiche è la stessa ( $a_c$  costante nel tempo);

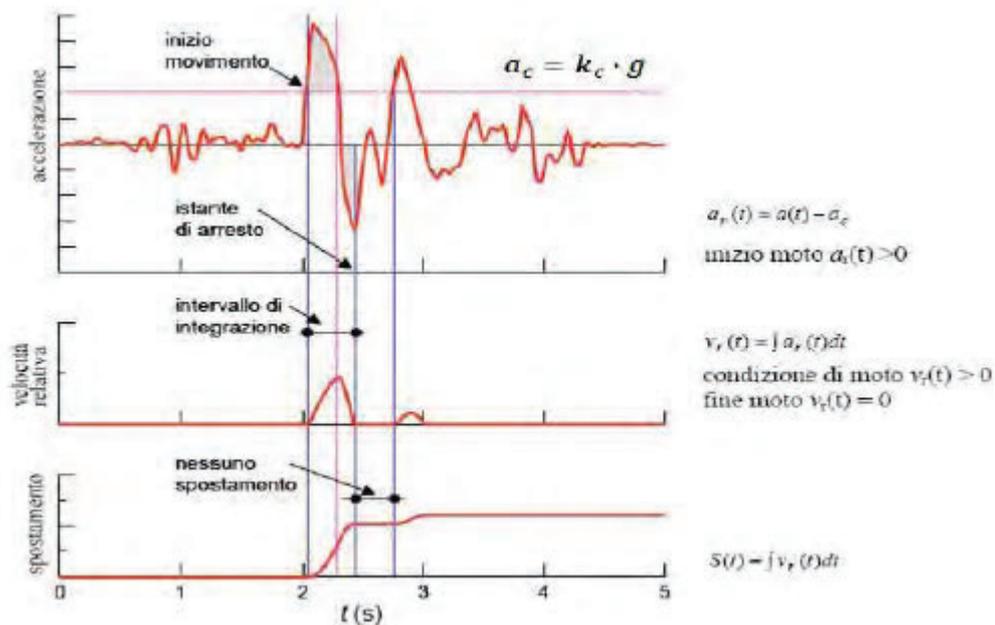
Dato che l'entità della componente verticale delle accelerazioni è assai minore di quella orizzontale, le accelerazioni  $a(t)$  e  $a_c$  vengono assunte orizzontali.

Lo spostamento risultante sarà tanto maggiore al crescere del numero di volte in cui  $a(t)$  supera  $a_c$  e soprattutto aumenterà in relazione all'intervallo di tempo in cui ciò avviene. Si deduce quindi che lo spostamento è fortemente influenzato dal contenuto in frequenza e dalla durata e dall'ampiezza del sisma oltre che dalle caratteristiche geometriche del pendio.

Il metodo di Newmark richiede dunque diverse fasi di analisi:

- ricerca della superficie di scorrimento potenziale alla quale corrisponde  $F_s = 1$  e individuazione del coefficiente sismico critico  $k_c$  con il metodo pseudostatico;
- scelta degli accelerogrammi di riferimento;

- stima dello spostamento del corpo di frana mediante doppia integrazione dell'equazione differenziale del moto relativo nel dominio del tempo. In particolare se ne ricerca il valore finale (spostamento permanente) come riportato nella figura sottostante



- Si può poi invertire il segno dell'accelerogramma e ripetere l'analisi per verificare quale delle due analisi fornisca i risultati più severi;
- confronto tra spostamento accumulato e spostamento ammissibile (di soglia) stabilito.

Il coefficiente sismico critico e di conseguenza l'accelerazione critica, rappresenta il parametro sintetico delle caratteristiche geometriche e di resistenza del pendio usato nelle analisi pseudodinamiche.

Gli spostamenti derivanti dal modello del blocco rigido di Newmark fanno riferimento a cinematismi semplificati e a condizioni idealizzate, vanno perciò considerati come misura dell'ordine di grandezza dello spostamento. Bray (2007) ha dichiarato che: "Lo spostamento calcolato con le procedure semplificate o avanzate del metodo di Newmark, si può vedere come un appropriato indice di prestazione sismica. Lo spostamento stimato sarà sempre approssimativo".

Inoltre questo modello risente sensibilmente delle caratteristiche dell'accelerogramma considerato ( $a_{max}$ , forma, durata, contenuto in frequenza),

Infine bisogna ricordare che nel modello originario di Newmark, il coefficiente sismico critico è assunto costante nel tempo e l'accelerogramma di progetto è assunto costante nello spazio; non si tiene quindi conto del decadimento della resistenza al taglio in condizioni cicliche e dei fenomeni di amplificazione (o deamplificazione) del moto sismico all'interno del pendio.

Sulla base della porzione del pendio interessato è stato ricavato che sapendo che lo spostamento finale in cm è dato da:

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

Con in cui  $\Phi$  è l'angolo di resistenza al taglio sul piano di slittamento,  $\alpha$  è l'angolo di inclinazione della superficie di scorrimento e  $S_0$  è lo spostamento del blocco rigido sul piano orizzontale

valutabile con la relazione del 2009 proposta dalla Prof. Madiai - Dip. Ingegneria dell'Università degli Studi di Firenze:

**Madiai (2009) (1)**  
**(46 ev. it., 196 reg., M=4.0+6.3)**

$$\log S_0 = -0.217 + \log \left[ \left( 1 - \frac{a_c}{a_{max}} \right)^{2.26} \left( \frac{a_c}{a_{max}} \right)^{-0.857} \right] \quad S_0 \text{ (cm)}$$

Da tale relazione si evince che:

$$S_0 = 2.34 \text{ cm}$$

$$\frac{\cos(\phi - \alpha)}{\cos \phi} = 1.07$$

$$S \text{ (cm)} = 2.51$$

## **ELABORATI CARTOGRAFICI**

L'elaborato cartografico prodotto consiste nella carta delle indagini che è stata redatta con le modalità previste dall'ordinanza 4007/2012.

La distribuzione delle indagini evidenzia la volontà di investigare il deposito di sarsa su tutta la sua superficie, compatibilmente con i limiti imposti dalla morfologia del terreno, dalle infrastrutture e dagli edifici presenti, nonché dalle colture in essere nei campi.

## **CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**

Per quanto attiene i danni prodotti da eventi sismici passati nell'area oggetto di studio, non è stato possibile reperire alcuna informazione.

Dal 2008 ad oggi è stato invece possibile verificare, nella scarpata immediatamente a monte della Scuola Carducci, la presenza di locali cedimenti superficiali di lieve entità in occasione di abbondanti precipitazioni protrattesi nel tempo.

## BIBLIOGRAFIA

BARDET, J. P., ICHII, K., AND LIN, C. H., 2000, *EERA: A Computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered soil deposits*, Department of Civil Engineering, University of Southern California.

BOCCALETTI M., BONINI M., CORTI G., GASPERINI P., MARTELLI L., PICCARDI L., SEVERI P., VANNUCCHI G.,  
2004. *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna. Regione Emilia-Romagna*, SGSS – CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse, Firenze. Selca, Firenze

Bonini M., 2008, I vulcani di fango emiliani: retrospettiva e prospettive, *Geoitalia*, n.22

DAL 112/2007. Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112 del 2/5/2007: *Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"*. Boll. Uff. reg. Emilia-Romagna n.64 del 17/05/2007. <http://demetra.regione.emilia-romagna.it>

DISS WORKING GROUP, 2010. *Database of Individual Seismogenetic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss>

D.M. 14/1/2008. Decreto ministeriale 14 gennaio 2008: *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*. Ministero delle Infrastrutture. G.U. n.29 del 4/2/2008 – Serie Generale, Suppl. Ord. N.30

EDUPRO CIVIL SYSTEMS, 1998. *PROSHAKE – Ground Response Analysis Program*. EduPro Civil System, Inc. Redmond. Washington

GRUPPO DI LAVORO MPS, 2004. *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile*, INGV, Milano-Roma, <http://zonesismiche.mi.ingv.it>

GRUPPO DI LAVORO DBMI – INGV, 2011. *Database Macrosismico Italiano*. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>

KOTTKE, ALBERT R., AND RATHJE, ELLEN M. 2008. *Technical Manual for Strata*. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California.

MELETTI C.& VALENSISE G., 2004. Zonazione Sismogenetica 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 Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile*", INGV, Milano-Roma.

SPALLAROSSA D., BARABI S., 2007. *Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε*. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14. <http://esse1-gis.mi.ingv.it>