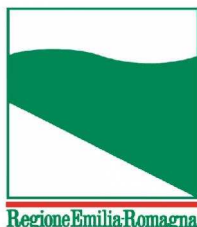




PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Scala 1:10.000

Regione Emilia-Romagna

Comune di Frassinoro



Regione	Soggetto attuatore	Data
EMILIA-ROMAGNA	FORGEO Studio Tecnico Associato	SETTEMBRE 2017

Microzonazione sismica degli abitati di Piandelagotti e Fontanaluccia - Comune di Frassinoro (Provincia di MO)

Indice

Indice.....	1
1 Introduzione.....	3
2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	7
3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area	13
4 Dati geotecnici e geofisici.....	16
5 Modello del sottosuolo.....	17
6 Interpretazioni ed incertezze	21
7 Metodologia ed interpretazione dei risultati.....	23
7.1 Risposta sismica locale	23
7.1.1 Individuazione della Magnitudo Massima di riferimento	23
7.1.2 Definizione del segnale di riferimento e degli input sismici (accelerogrammi).....	25
7.1.3 Metodologia di analisi utilizzata	28
7.1.4 Definizione dei modelli.....	28
7.2 Verifiche di stabilità	30
7.2.1 Software utilizzato	30
7.2.2 Metodologia utilizzata	30
7.3 Piandelagotti.....	32
7.3.1 Piandelagotti centro	32
7.3.2 Piandelagotti località Il Colle.....	40
7.3.3 Piandelagotti località Cà de Giorgi	47
7.3.4 Piandelagotti località Case Palandri.....	51
7.3.5 Piandelagotti località Osteria del Cacciatore	57
7.4 Fontanaluccia.....	62
7.4.1 Fontanaluccia località Pere Storte.....	62
7.4.2 Fontanaluccia località Chiesa Vecchia.....	66
7.4.3 Fontanaluccia località Case Farioli-Case Stefani.....	70
7.4.4 Fontanaluccia località Case Cerbiani	79
8 Elaborati cartografici.....	85
8.1 Carta delle indagini	85
8.2 Carta geologico-tecnica (CGT_MS).....	85
8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Carta delle MOPS).....	86
8.4 Carta di microzonazione sismica (Carta di Ms).....	87
8.5 Commenti finali e criticità	88
9 Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati.....	89

10 Bibliografia..... 90

11 Allegati..... 92

- Allegato 1 – Report indagini dinamiche superpesanti (DPSH) eseguite a Fontanaluccia e a Piandelagotti;
- Allegato 2 – Report stratigrafie dei sondaggi con escavatore meccanico, eseguiti a Fontanaluccia e a Piandelagotti, e certificati delle prove di laboratorio;
- Allegato 3 – Report indagini MASW eseguite a Fontanaluccia e a Piandelagotti;
- Allegato 4 – Report misure microtremori a stazione singola eseguite a Fontanaluccia e a Piandelagotti;
- Allegato 5 – Sezioni Geologiche a Piandelagotti
- Allegato 6 – Sezioni Geologiche a Fontanaluccia

1 Introduzione

La presente relazione descrive gli studi e le indagini che sono stati condotti per la realizzazione della microzonazione sismica di I, II e III livello dell'abitato di Fontanaluccia e di II/III livello per l'abitato di Piandelagotti, frazioni del Comune di Frassinoro (Provincia di Modena) (Figure 1 e 2), in attuazione della Determinazione n. 2 del 27 gennaio 2017 del Settore Servizio Urbanistica e Ambiente (*Affidamento incarico professionale per redazione Studi Microzonazione sismica di III livello e Analisi della condizione Limite per l'Emergenza del territorio del Comune di Frassinoro. Provvedimenti*).

Il presente studio costituisce il proseguimento del lavoro svolto tra l'autunno 2011 e il gennaio 2012, consistito nell'elaborazione della Microzonazione Sismica di I e di II livello del centro capoluogo e della frazione di Piandelagotti.

Oggetto degli approfondimenti descritti nella presente relazione sono stati i territori, indicati dall'Amministrazione comunale, urbanizzati e urbanizzabili della frazione di Fontanaluccia e di Piandelagotti (Figura 2). Per Fontanaluccia è stata realizzata la microzonazione sismica di I, II e III livello, mentre per Piandelagotti si è proceduto alla revisione della pre-esistente microzonazione sismica di II livello¹ e alla redazione della microzonazione sismica di III livello.

Lo studio, che è stato eseguito elaborando sia dati bibliografici e d'archivio che dati originali, è stato condotto in conformità ai criteri, indirizzi tecnici e contenuti di cui agli:

- *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS)* approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome (Gruppo di Lavoro MS, 2008, *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*, Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome-dipartimento della Protezione Civile, 3 Voll e DVD);
- O.C.D.P.C. 26 ottobre 2015, n. 293 (*Attuazione dell'articolo 11 del decreto legge 28 aprile 2009 n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77*).
- Delibera Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2 maggio 2007 (DAL 112/2007): *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"*;
- Delibera della Giunta della Regione Emilia-Romagna n. 2193 del 21 dicembre 2015 (*Art 16 della L.R. n. 20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" di cui alla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112*).
- Delibera della Giunta della Regione Emilia-Romagna n. 573 del 28 aprile 2016 (O.C.D.P.C. 26 ottobre 2015, n. 293 – *Annualità 2014 – Criteri per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di interventi di riduzione del rischio sismico in edifici pubblici strategici e rilevanti, in edifici privati, di cui all'art. 2, comma 1, lettere a), b) e c). Modalità di concessione e liquidazione dei contributi*), con particolare riferimento all'Allegato A2 alla medesima deliberazione (*Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 293/2015 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 14 dicembre 2015*);
- Determinazione n. 17050 (Regione Emilia-Romagna-Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli,

¹ Dal momento che occorre realizzare la microzonazione di III livello, per alcune aree in frana, producendo elaborati conformi alla versione 4.01 degli Standard nazionali di archiviazione è stato comunque necessario adeguare anche la microzonazione di II livello agli standard nonché ai nuovi abachi regionali.

- Direzione generale cura del territorio e dell'ambiente) del 02/11/2016 (*Approvazione allegato a recante "Elenco dei comuni destinatari dei contributi per studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite di emergenza di cui all'O.C.D.P.C. 293/2015 e D.C.D.P.C. del 14 dicembre 2015 (Delibera di Giunta della Regione Emilia-Romagna n.573/2016) e attribuzione dei contributi*);
- Determinazione n. 17412 (Regione Emilia-Romagna-Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Direzione generale cura del territorio e dell'ambiente) del 08/11/2016 (*Modifica del punto 2) del dispositivo della propria Determinazione n.17050 del 02/11/2016, recante "Approvazione allegato a recante «elenco dei comuni destinatari dei contributi per studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite di emergenza di cui all'O.C.D.P.C. 293/2015 e D.C.D.P.C. del 14 dicembre 2015 (delibera di giunta della Regione Emilia-Romagna n.573/2016) e attribuzione dei contributi»*)
 - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Modena (Elaborati del Quadro Conoscitivo e del Piano attinenti agli studi previsti dalla Delibera della Giunta Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2007, nonché indicazioni normative di cui all'art. 14 delle norme del PTCP).

Si è fatto inoltre riferimento alla vasta bibliografia specifica e in particolare di cui al Supplemento alla Rivista trimestrale Ingegneria Sismica (Anno XXVIII, n.2-2011).

* * *

Il territorio del Comune di Frassinoro si estende su una superficie di poco meno di 96 Km², nell'alto Appennino Modenese, al confine con la Regione Toscana² e con la Provincia di Reggio Emilia (Figura 1).

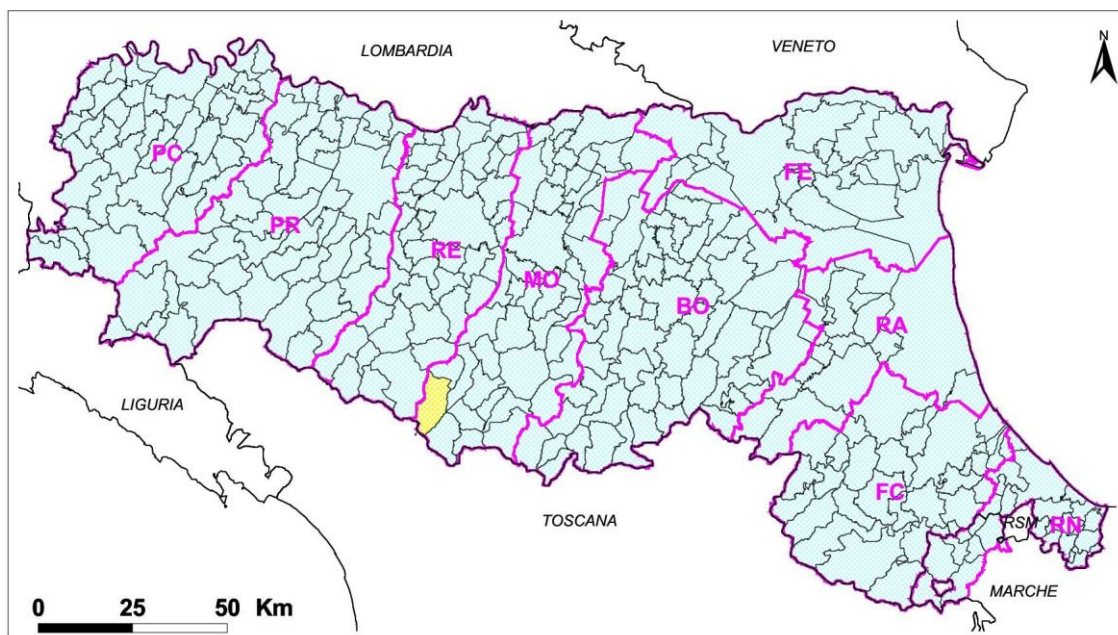


Figura 1 – Inquadramento a scala regionale del territoriale del Comune di Frassinoro (evidenziato in giallo). (In magenta sono indicate le sigle delle Province della Regione Emilia-Romagna)

² Fa parte del Comune di Frassinoro anche una piccola porzione del centro del paese di San Pellegrino in Alpe che di fatto costituisce quindi un'enclave modenese in territorio toscano.

Dal punto di vista cartografico, il territorio comunale è compreso nei fogli alla scala 1:50.000 nn. 235 e 250 e, più in dettaglio, negli elementi della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000 nn.: 235071, 235072, 235073, 235074, 235083, 235102, 235111, 235112, 235113, 235114, 235123, 235124, 235141, 235142, 235151, 235152, 235153, 235154, 250021 e 250034.

Per la redazione delle tavole e delle cartografie allegate al presente studio si è fatto riferimento alla Carta Tecnica Regionale, e più in particolare alla versione degli elementi alla scala 1:5000 identificata con la sigla DBTR2013, reperibile presso il sito web dei dati cartografici della Regione Emilia-Romagna (<https://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it>).

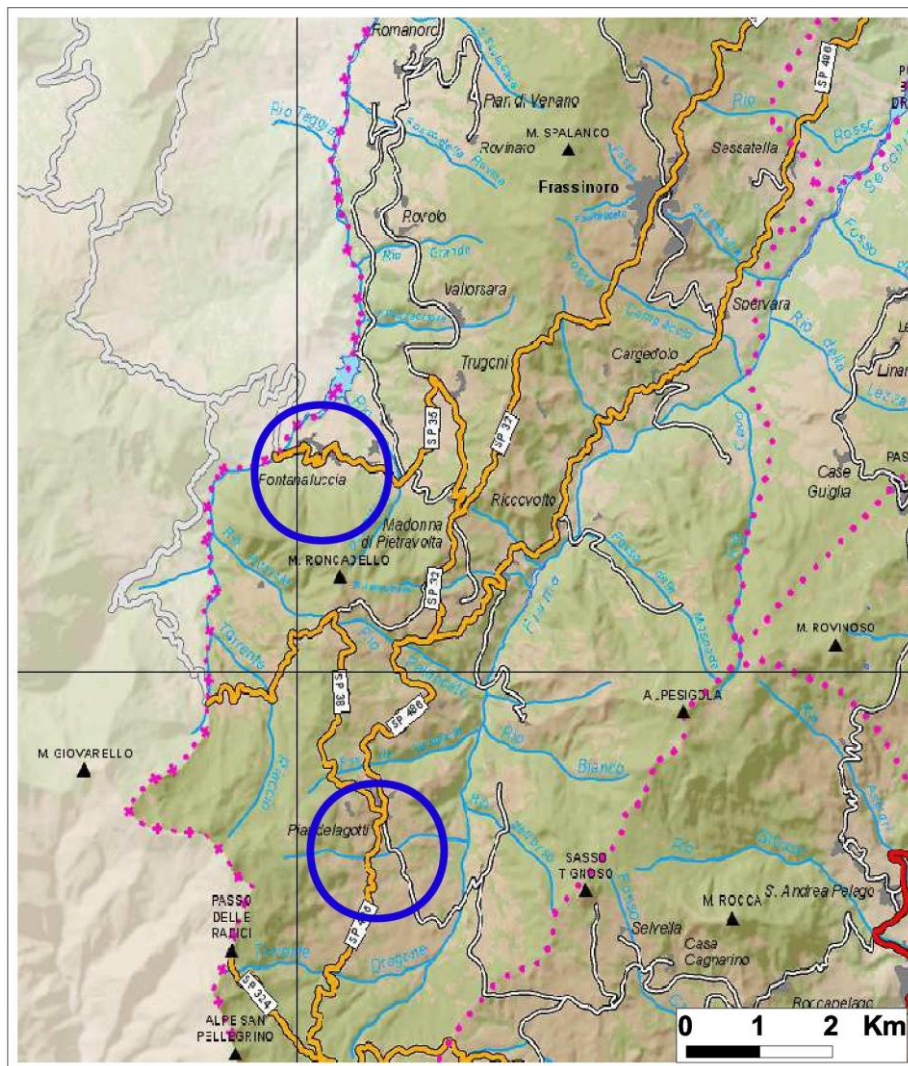


Figura 2 - Inquadramento territoriale (base cartografica: estratto da “Provincia di Modena-Carta del territorio alla scala 1:100.000 a cura dell’Amministrazione Provinciale di Modena. I cerchi in blu individuano le frazioni di Fontanaluccia e Piandelagotti.

Come già accennato in precedenza, il presente studio è stato condotto utilizzando sia dati di archivio che dati originali.

Per quanto attiene le informazioni archivistiche si è proceduto all'aggiornamento della banca dati che

era stata realizzata in occasione della redazione della Microzonazione Sismica del capoluogo Frassinoro e di Piandelagotti, attraverso la revisione e aggiornamento con i dati più recenti reperibili presso il Comune di Frassinoro.

Si è inoltre proceduto all'acquisizione di nuovi dati, attraverso l'esecuzione di indagini geofisiche (MASW e HVSR), meccaniche (DPSH e trincee esplorative) e di laboratorio.

2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

Il Comune di Frassinoro è compreso nell'elenco dei comuni sismici classificati in zona 2 dall'Allegato n. 1 all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 (s.m.i) del 20 marzo 2003 (*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica*).

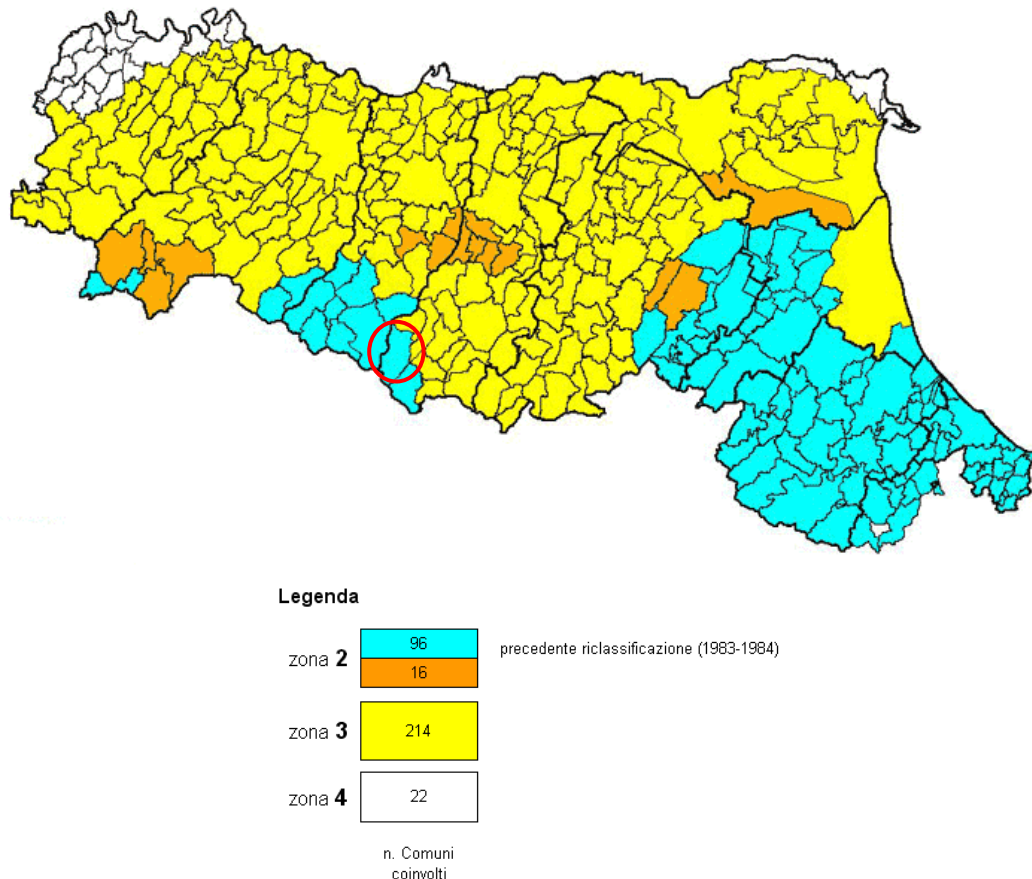


Figura 3 - Riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna, Ordinanza del PCM n. 3274/2003 (Allegato 1, punto 3 "prima applicazione" (da sito web Regione Emilia-Romagna: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/la-classificazione-sismica>)). Il cerchio in rosso individua il Comune di Frassinoro.

Con l'entrata in vigore del DM 14.09.2005 (*Norme tecniche per le costruzioni*), poi sostituito dal DM 14.01.2008 (*Norme tecniche per le costruzioni*), la validità dell'ordinanza citata è cessata. Ciò nonostante la classificazione sismica dei comuni italiani della OPCM 3274/2003 resta valida (Del. di GR 1677/2005).

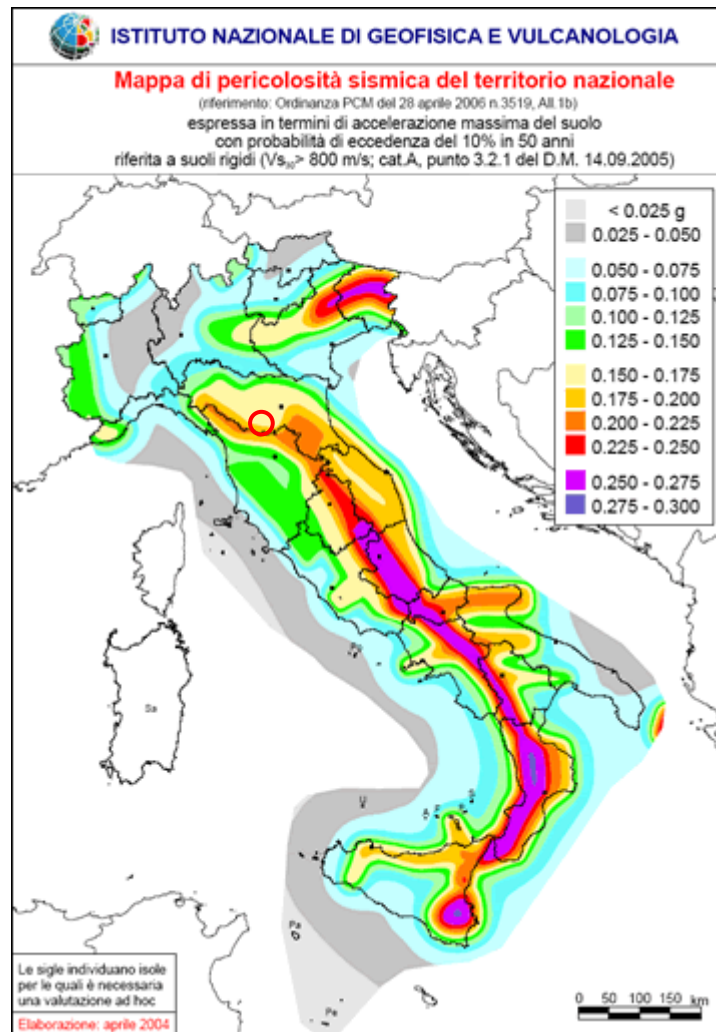


Figura 4 – Mappa della pericolosità sismica del territorio italiano. (Il cerchio rosso individua approssimativamente l'area in studio. (Tratto da sito web dell'Istituto Nazionale di Geofisica e vulcanologia: http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html).

Dalla consultazione delle mappe di pericolosità del territorio italiano prodotte dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Figure 4 e 5) si deduce che il territorio del Comune di Frassinoro è compreso in aree nelle quali il valore dell'accelerazione di picco al suolo PGA (*Peak Ground Acceleration*), atteso per il terremoto con probabilità di accadimento 10% su un periodo di 50 anni, è dell'ordine di 0.175-0.200 volte l'accelerazione di gravità, con riferimento a suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s, cat. A di cui al DM 14.01.2008).

Alla porzione più meridionale del Comune, a cavallo del crinale principale appenninico, viene invece assegnato un valore lievemente più alto della PGA, pari a 0.200-0.225g (Figure 4 e 5).

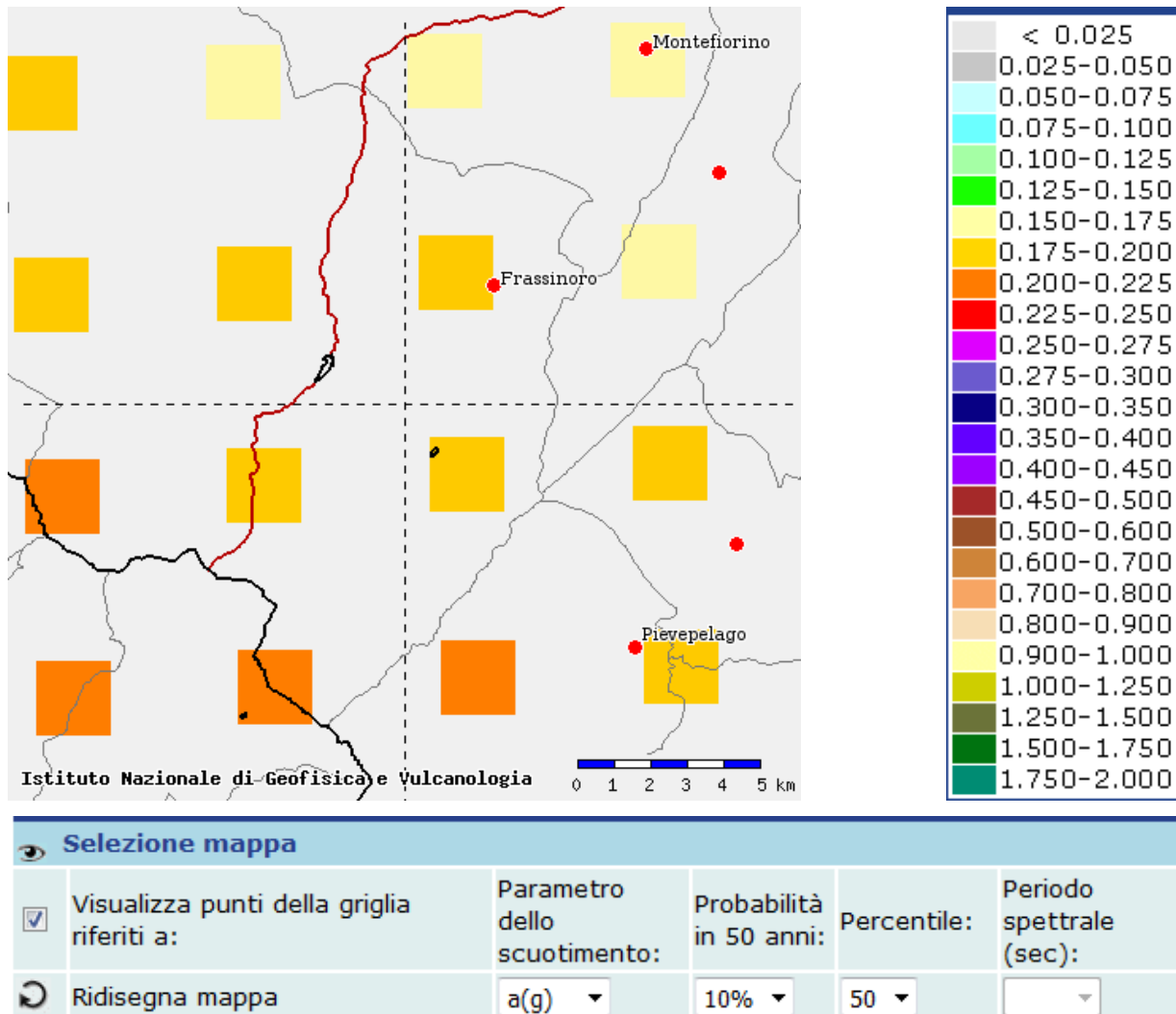


Figura 5 – Mappa Interattiva della pericolosità sismica. Zoom sul territorio comunale di Frassinoro (MO).
(Tratto da sito web dell'Istituto Nazionale di Geofisica e vulcanologia: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

La sismicità del territorio di Frassinoro è correlata all'attività di strutture tettoniche attive a cinematisma prevalentemente distensivo della vicina area toscana (ad esempio le strutture a *graben* della Garfagnana e Lunigiana) generalmente a ipocentro non molto profondo (entro 10-15 km); sono segnalati tuttavia anche eventi tellurici a cinematisma compressivo e/o trascorrente più profondi (ipocentri individuati anche a oltre 50 km di profondità). Ciò è esemplificato nella carta delle zone sismogenetiche italiane (Figura 6) che evidenzia come l'area in esame si ponga nella così detta *Fascia intermedia*. *Meccanismi di rottura attesi misti con prevalenza di dip-slip* delle zone sismogenetiche legate al margine interno della piastra padano-adriatico-ionica in subduzione sotto la catena appenninica e comunque nelle immediate vicinanze della *Fascia tirrenica in distensione* (Figura 6)

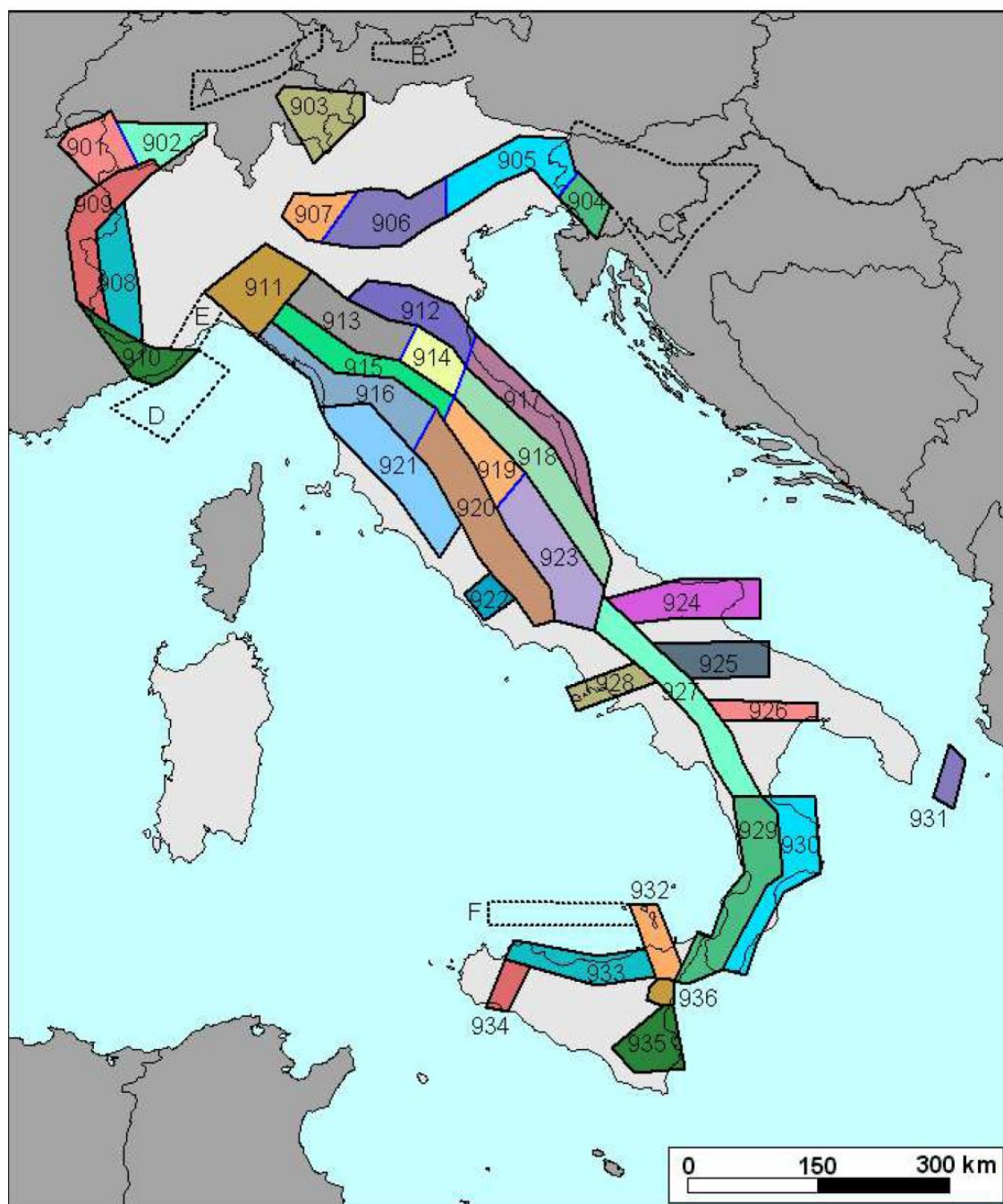


Figura 6 – Zonazione sismogenetica ZS9. (tratto da: Meletti C. & Valensise G., 2004 “Zonazione sismogenetica ZS9 App.2 al Rapporto Conclusivo. Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Tale situazione è confermata dai dati estratti dal Catalogo Parametrico dei terremoti (PTI15), e relativo database (DBMI15), che mostrano come nelle vicinanze del territorio di Frassinoro si siano registrati diversi eventi sismici caratterizzati anche da intensità macrosismica fino al 7°-8° grado (Figg. 7 e 8).

Frassinoro

PlaceID IT_38395
Provincia Modena

Coordinate (lat, lon) 44.295, 10.573
Regione Emilia-Romagna

Comune (ISTAT 2015) Frassinoro
Numero di eventi riportati 33

Effetti In occasione del terremoto del										
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2-3		1893	10	20	20	15	Appennino parmense	25	4-5	4.04
NF		1896	12	08	17	06 4	Sestola	26	5	4.33
NF		1897	09	06	03	10 4	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
4		1898	03	04	21	05	Parmense	313	7-8	5.37
3		1899	06	26	23	17 2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
4-5		1902	12	04	16	35 0	Lunigiana	36	5	4.35
NF		1911	09	13	22	29 0	Chianti	115	7	5.08
7-8		1920	09	07	05	55 4	Garfagnana	750	10	6.53
4-5		1925	03	15	17	15	Appennino tosco-emiliano	16	4	4.10
4		1929	04	19	04	16	Bolognese	82	6-7	5.13
3		1929	04	20	01	10	Bolognese	109	7	5.36
2-3		1931	06	10	17	02	Modenese	14	4	4.59
2		1957	10	25	23	02 0	Appennino reggiano	79	5-6	4.27
4		1965	11	09	15	35	Appennino reggiano	32	5	4.17
4		1969	01	06	22	03 2	Appennino pistoiese	74	6-7	4.67
4		1983	11	09	16	29 5	Parmense	850	6-7	5.04
5		1985	01	23	10	10 1	Garfagnana	73	6	4.60
4		1986	10	01	19	53 3	Lunigiana	68	5	4.46
NF		1986	12	06	17	07 1	Ferrarese	604	6	4.43
4		1987	02	10	21	20 1	Lunigiana	54	5	4.09
NF		1987	05	02	20	43 5	Reggiano	802	6	4.71
4		1988	02	08	11	24 4	Garfagnana	75	6	4.34
4-5		1988	02	08	13	36 4	Frignano	43	5	4.28
NF		1989	10	03	09	41 3	Appennino parmense	91	4	4.04
3-4		1995	10	10	06	54 2	Lunigiana	341	7	4.82
3-4		1995	12	31	21	29 4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5		1997	12	24	17	53 1	Garfagnana	98	5	4.33
3-4		1999	07	07	17	16 1	Frignano	32	5	4.67
NF		2000	06	18	07	42 0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
4-5		2000	10	03	01	12 3	Frignano	62	5	4.22
3-4		2002	06	08	20	13 0	Frignano	115	4	4.23
4		2002	06	18	22	23 3	Frignano	186	4	4.30
2-3		2002	06	19	22	11 1	Frignano	52	3	4.03

Piandelagotti

PlaceID IT_38403
Provincia Modena

Coordinate (lat, lon) 44.226, 10.518
Regione Emilia-Romagna

Comune (ISTAT 2015) Frassinoro
Numero di eventi riportati 3

Effetti In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
4-5	1902	03	05	07	06		Garfagnana	83	7 4.98
2	1957	10	25	23	02	0	Appennino reggiano	79	5-6 4.27
5	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6 4.34

Figura 7 – Estrazione degli eventi sismici dal catalogo parametrico (CPTI15) e relativo database (DBMI15) dei terremoti di area italiana (tratto da: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/) per Frassinoro (tabella nella pagina precedente) e Piandelagotti (tabella riportata sopra).

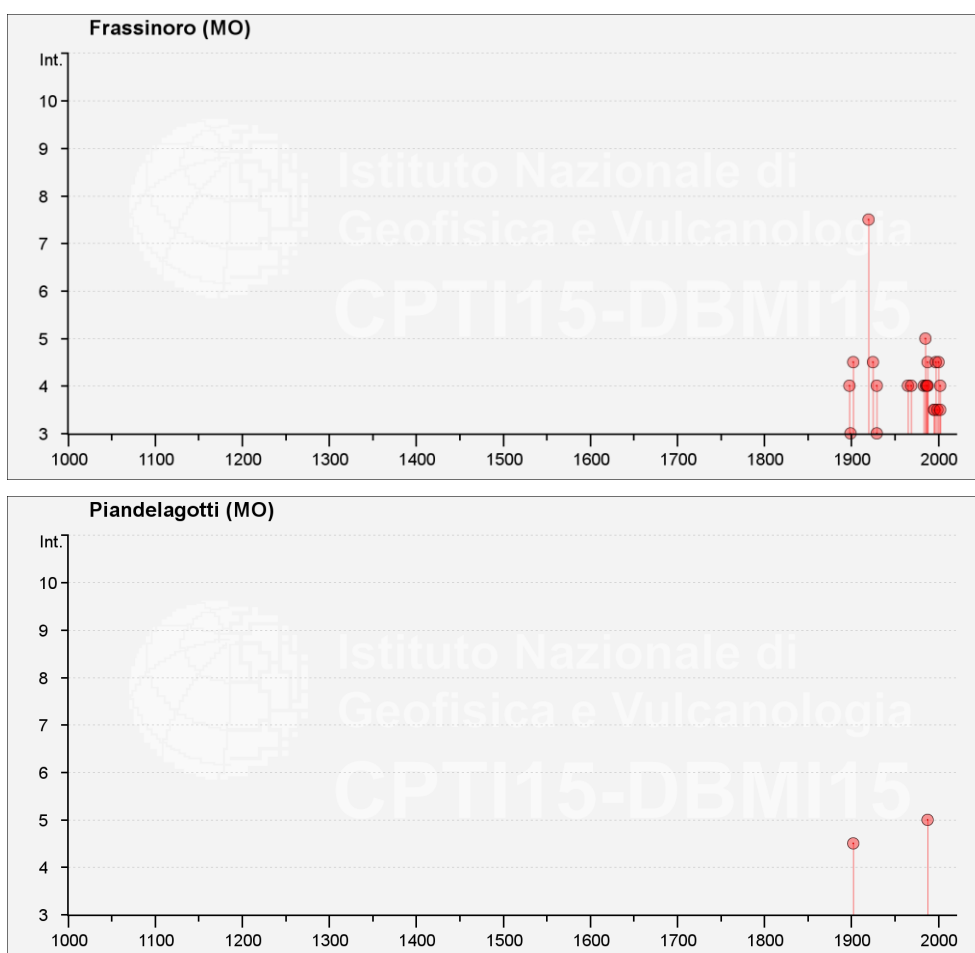


Figura 8 – Diagramma di distribuzione temporale dei dati di cui alle tabelle precedenti (Figura 7) (tratti da: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/). In alto diagramma per Frassinoro, in basso per Piandelagotti. La località di Fontanaluccia non è presente nel database.

3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il Comune di Frassinoro si colloca nell'Alto Appennino Modenese (Figura 9), in un settore della Catena Appenninica settentrionale caratterizzato dalla presenza di unità di pertinenza del dominio toscano, del dominio subligure e del dominio ligure³.

L'assetto geologico-stratigrafico di questo settore dell'Appennino è alquanto complicato, sia per la presenza di un gran numero di unità tettoniche (derivanti da diverse originarie successioni stratigrafiche) sia per la lunga storia deformativa delineatasi durante una lunga successione di fasi tettoniche che, a partire dal cretaceo superiore fino ai giorni nostri, hanno interessato l'area.

Facendo riferimento alla bibliografia (vedi nota 3), a grandi linee l'assetto strutturale dell'area in esame può essere grossolanamente schematizzato come l'impilamento di una serie di unità tettoniche liguri al di sopra delle unità toscane, con l'interposizione (non sempre riconoscibile su tutta l'area) delle così dette unità subliguri (Figura 10).

Dall'alto verso il basso è stato ricostruito (vedi bibliografia nota 3 e figura 10) il seguente schema di sovrapposizione geometrica delle unità tettoniche valido sostanzialmente per tutto il territorio comunale, con esclusione della parte più meridionale a cavallo del crinale principale.⁴:

Unità Monghidoro	Unità Liguri
Unità Venano	
Unità Ofiolitica della Val Baganza	
Unità Caio	
Unità Modino (sottounità Ventasso)	Unità Toscane
Unità Cervarola-Unità Umbre? (Arenarie di Gova)	
Unità Modino (sottounità Pievepelago)	
Falda Toscana	

I rapporti geometrici di sovrapposizione tra le diverse unità tettoniche sono legati all'esistenza di grandi sovrascorrimenti che, per la natura polifasica della tetto-genesi, possono aver subito a loro volta delle deformazioni (basculamenti e ripiegamenti). A complicare un quadro strutturale già piuttosto complicato concorre anche la tettonica più recente, di tipo distensivo che, nell'area in esame, è marcata dalla presenza di alcuni lineamenti cartografici alquanto importanti quali la linea della Santona e il lineamento Interno (cfr. bibliografia di cui alla nota 3).

³ Ove non citato, per la definizione dell'inquadramento geologico di tale areale si è fatto principalmente riferimento ai lavori di AA.VV., 2002-a cura di Plesi G.; AA.VV., 2002-a cura di Bettelli G, Filippo P. e Pizziolo M.; Chicchi & Plesi (1992); Daniele et al. (1996); Daniele & Plesi (2000); Plesi et al., 2002; Bettelli et al; 2002 nonché alla Carta Geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo prodotta dalla RER consultabile sul sito cartografico regionale.

⁴ Non sono indicate le unità subliguri che, quando presenti, si interpongono tra le Liguridi e le Unità Toscane.

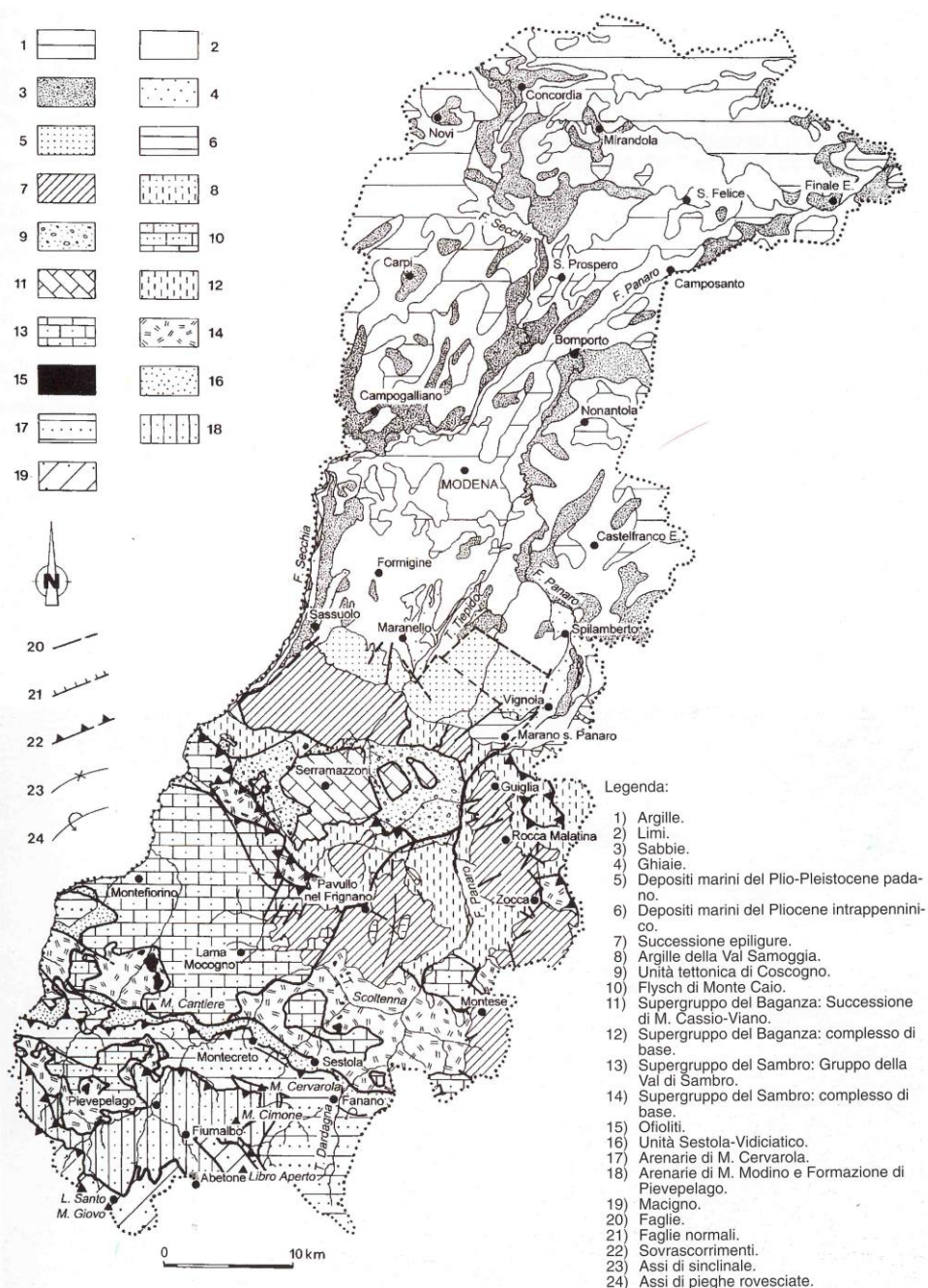


Figura 9 Carta Geologica della Provincia di Modena (Estratto da Capitani & Bertacchini, 1997)

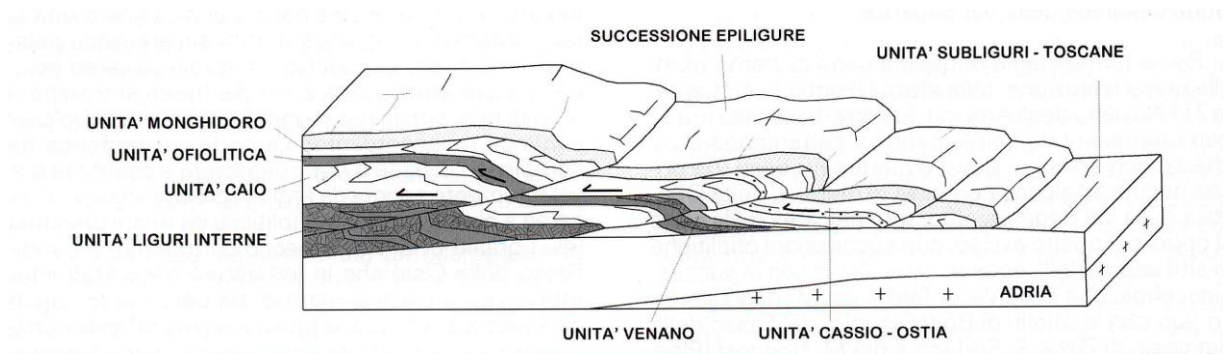


Figura 10 - Schema dell'evoluzione strutturale delle liguridi durante le fasi tettoniche oligo-mioceniche (tratto da Daniele & Plesi, 2000). Lo schema esemplifica i rapporti geometrici tra le diverse unità liguri e la loro sovrapposizione sulle unità toscane e umbro-romagnole (parte bianca nella figura)

Esula dagli scopi della presente relazione sia la descrizione delle diverse unità litostratigrafiche, che formano le unità tettoniche sopra richiamate, come pure il loro significato nel contesto geodinamico ed evolutivo della catena appenninica settentrionale. Pertanto, si omette la descrizione delle diverse successioni e unità tettoniche presenti nel settore di catena nel quale si colloca il territorio di Frassinoro, rimandando all'ampia bibliografia (vedi nota a piè pagina n. 3) gli eventuali approfondimenti.

Per la descrizione delle unità litotecniche o di quant'altro di interesse per le finalità della microzonazione sismica (nelle quali si raggrupperanno le unità litostratigrafiche con caratteristiche litologiche e strutturali simili), si rimanda ai capitoli che seguono.

4 Dati geotecnici e geofisici

Il Comune di Frassinoro è dotato di una microzonazione sismica di II livello redatta tra l'autunno 2011 e il gennaio 2012 e che interessa il centro capoluogo e la frazione di Piandelgotti.

Si è pertanto assunta come punto di partenza la base dati informativa prodotta in occasione di tale studio, ampliandone il contenuto per Piandelagotti, aggiungendo le indagini a corredo di pratiche edilizie successive alla data di redazione della microzonazione, mentre sono state raccolte tutte le indagini geognostiche e geofisiche messe a disposizione dal Comune relative a pratiche edilizie ricadenti nell'area urbana della frazione di Fontanaluccia.

Tutte le informazioni sono state inserite in una banca dati coerente con il formato prescritto dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.01 della Commissione Tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907).

Le informazioni da archivio sono state integrate con nuovi dati raccolti attraverso l'esecuzione di:

- 6 prove dinamiche superpesanti DPSH (Allegato n. 1);
- 4 scavi con escavatore meccanico con prelievo di campioni di terreno indisturbato da sottoporre ad indagini di laboratorio (Allegato n. 2);
- Sui 4 campioni indisturbati sono state condotte le seguenti analisi e determinazioni di laboratorio: granulometria, limiti di Atterberg, peso di volume, prova di taglio consolidata e drenata e prova di compressione non confinata (Allegato n. 2);
- 8 indagini sismiche attive in onde di superficie (metodologia MASW) (Allegato n. 3);
- 13 registrazioni di rumore ambientale a stazione singola (metodologia HVSR) (allegato n. 4).

Complessivamente la base dati è formata da 118 siti d'indagine puntuali (prevalentemente prove penetrometriche dinamiche pesanti e superpesanti) e da circa 30 siti d'indagine lineari (principalmente indagini sismiche attive in onde di superficie e alcune di sismica a rifrazione).

Per una visione sinottica d'insieme della distribuzione areale e della localizzazione delle singole prove geognostiche e indagini geofisiche si rimanda alla carta specifica (Carta delle Indagini).

5 Modello del sottosuolo

Attraverso l'interpretazione comparata dei dati geognostici e geofisici e l'esecuzione di alcune sezioni geologiche (utilizzate anche per le verifiche di stabilità in aree caratterizzate dalla presenza di forme franose) sono stati definiti i modelli geologici, descrittivi delle caratteristiche litologico-tecniche del primo sottosuolo delle aree oggetto di studio.

Per l'abitato di Piandelagotti si è proceduto esclusivamente alla verifica dei modelli geologici che già erano stati approntati in occasione dello studio di microzonazione sismica del 2012 (Figura 11) onde controllarne la coerenza con i dati di nuova acquisizione (sia da archivio che originali). Tale revisione ha portato alla conclusione che i modelli geologici allora definiti restano validi.

Nella frazione di Piandelagotti le aree stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica sono descrivibili per mezzo di due modelli geologici simili l'uno all'altro che differiscono esclusivamente per gli spessori dei materiali che costituiscono la copertura superficiale che, secondo i dati geognostici e geofisici, risulta relativamente maggiore in alcune aree (Figura 11).

Si allegano (Allegato n. 5) le sezioni geologiche elaborate nel 2011 per interpretare le caratteristiche dei modelli geologici, nonché le nuove sezioni elaborate sia per interpretare i modelli geologici che per eseguire le verifiche di stabilità di versante nell'area di Piandelagotti.

I modelli vengono identificati come Zona 3 e Zona 4 (Figura 11) tenendo conto che si tratta delle denominazioni già utilizzate nella microzonazione sismica del 2012 (i modelli Zona 1 e Zona 2 sono quelli che furono utilizzati per descrivere il sottosuolo del centro capoluogo).

Per la Frazione di Fontanaluccia sono stati definiti 3 modelli geologici identificati con le sigle 2005, 2006 e 2007, rispettivamente riferibili alla zona 5 (loc. Case Stefani), Zona 6 (Loc. Case Farioli-Case Cerbiani) e Zona 7 (Loc. Pere Storte).

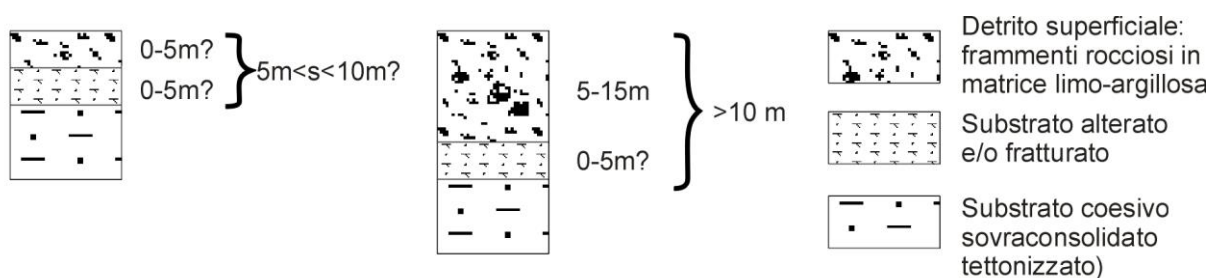


Figura 11 – Modelli geologici per la Zona 3 (a sinistra) e per la Zona 4 (a destra) relativi alle Zone stabili suscettibili di amplificazione locale dell'abitato di Piandelagotti.

I modelli relativi alle zone 5 e 6 sono simili e differiscono solo per gli spessori del detrito eluvio-colluviale e della parte alterata e decompressa delle formazioni in posto (AVC: Argilliti variegata con calcari). Il modello relativo alla Zona 7 è riferito a settori nei quali il substrato roccioso di riferimento è di natura flyschioide (ABT: Flysch dell'Abetina Reale).

Si allegano (Allegato n. 6) le sezioni geologiche utilizzate per interpretare le caratteristiche dei modelli geologici e per eseguire le verifiche di stabilità di versante nell'area di Fontanaluccia.

Nella figura 13a si riporta il quadro di sintesi, riassuntivo dei modelli geologici utilizzati per descrivere il sottosuolo delle zone stabili suscettibili di amplificazione degli abitati di Frassinoro-capoluogo (in occasione della Microzonazione 2012), di Piandelagotti (definiti con la Microzonazione 2012 e riconfermati) e di Fontanaluccia. La Figura 13b riporta invece il quadro di sintesi dei modelli geologici utilizzati per descrivere delle zone di attenzione per instabilità di versante degli abitati di Piandelagotti e di Fontanaluccia.

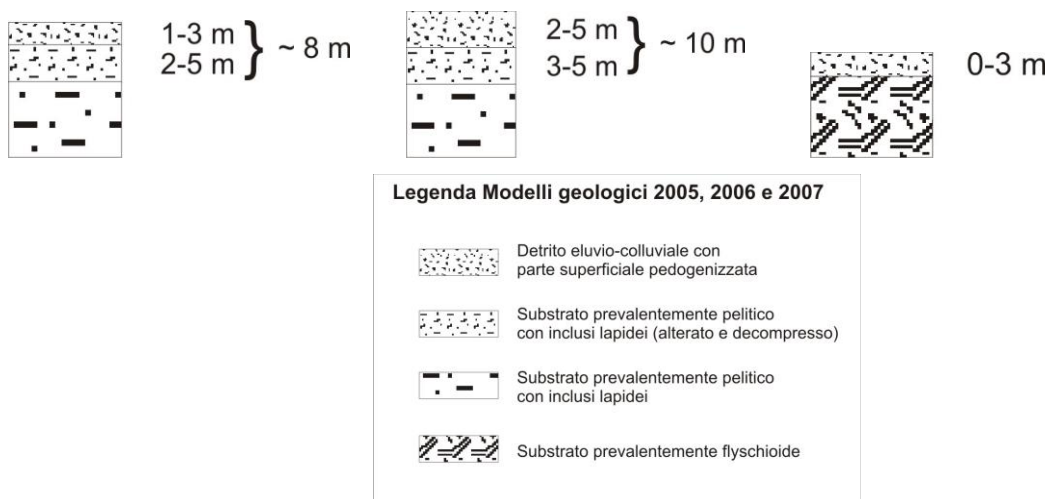


Figura 12 – Modelli geologici per la Zona 5 (a sinistra), per la Zona 6 (al centro) e per la Zona 7 (a destra) relativi alle Zone stabili suscettibili di amplificazione locale dell'abitato di Fontanaluccia.

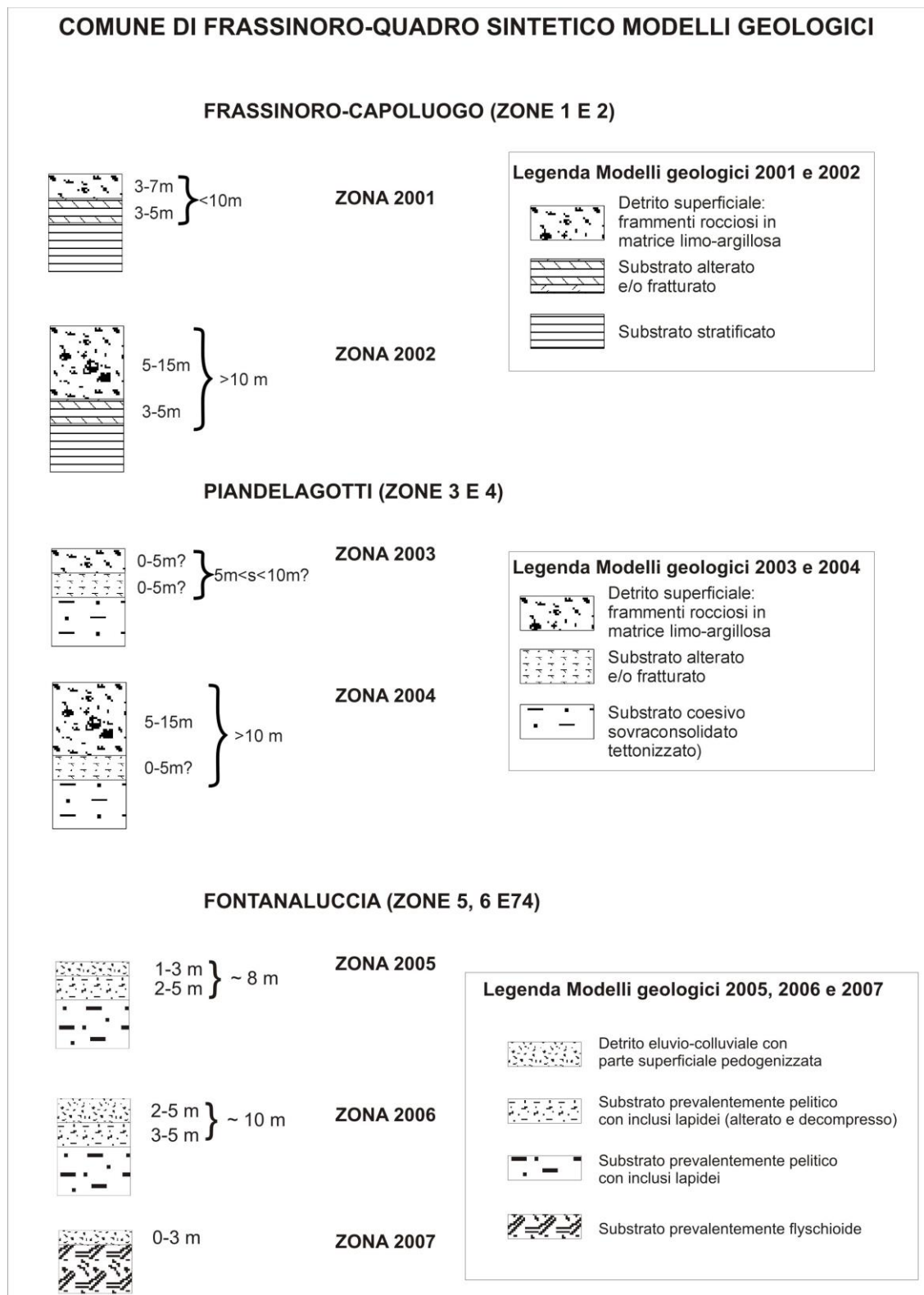


Figura 13a –Quadro riassuntivo dei modelli geologici utilizzati per le zone stabili suscettibili di amplificazione (i modelli delle Zone 1, 2, 3 e 4 sono stati definiti in occasione della Microzonazione 2012).

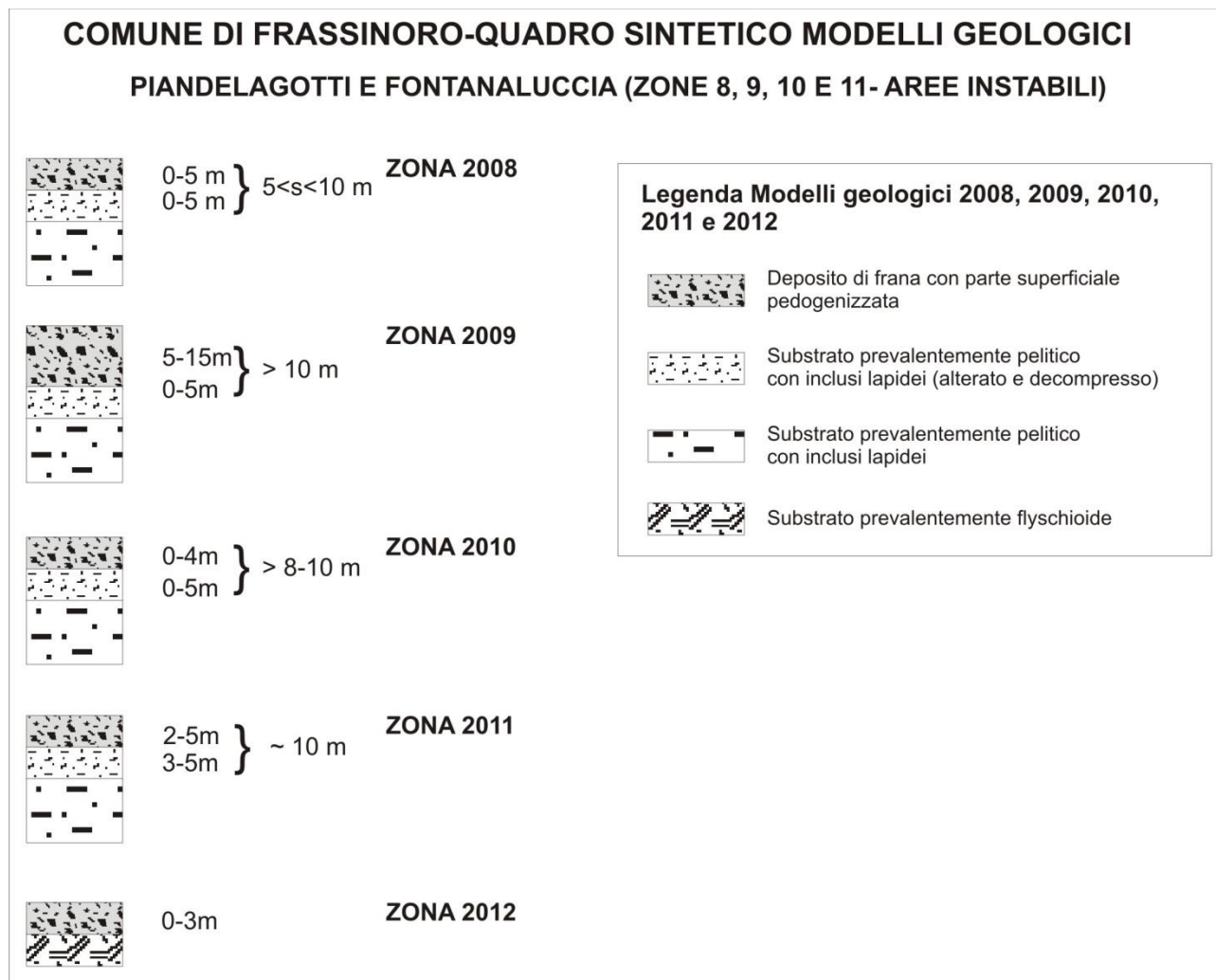


Figura 13b – Quadro riassuntivo dei modelli geologici utilizzati di attenzione per instabilità di versante degli abitati di Piandelagotti e di Fontanaluccia.

6 Interpretazioni ed incertezze

La base dati disponibile è alquanto eterogenea, sia per la collocazione cronologica composita delle indagini reperite in archivio, sia per la loro distribuzione geografica, che riflette sostanzialmente la collocazione degli interventi edilizi eseguiti dai privati nel corso degli ultimi due decenni. Ne consegue che a settori per i quali si hanno informazioni, seppure disomogenee e a volte lacunose, ve ne di adiacenti privi di conoscenze geognostiche.

A tale disomogeneità di distribuzione si è cercato di sopperire attraverso l'esecuzione di nuove indagini geognostiche meccaniche (DPSH e sondaggi con escavatore meccanico) e geofisiche (MASW e HVSr).

Alla disomogenea distribuzione dei dati da archivio si affianca anche la disomogenea affidabilità interpretativa. Trattandosi infatti di indagini eseguite da soggetti diversi, per finalità generalmente edilizie, si notano a volte delle contrapposizioni e contraddizioni nell'interpretazione di indagini eseguite da soggetti diversi anche in aree tra loro limitrofe.

In alcuni casi, poi, c'è conflitto tra l'interpretazione data a un determinato trend o andamento di curve descrittive di un certo parametro (dispersione delle onde di superficie, rapporto HVSr, componenti spettrali, ecc.) da parte di chi ha prodotto l'indagine e quella prettamente visuale (per non disponibilità della registrazione o del dato originale) di chi ha utilizzato tali dati per la Microzonazione sismica. Per tali motivi, alcune indagini di archivio sono state utilizzate attribuendo loro un peso diverso rispetto ad altre o rispetto a quelle eseguite in originale.

A livello di nuove indagini geofisiche si è constatata, già in campagna, la presenza di un marcato rumore di fondo durante l'esecuzione dei rilievi a Fontanaluccia. Come mostrato nel report relativo alle indagini attive (MASW, Allegato 3) si tratta principalmente di rumore con prevalenza delle alte frequenze che, se filtrato, non comporta modifiche sostanziali nell'andamento delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

Tale problematica non è stata rilevata a Piandelagotti, dove il rumore di fondo in apparenza non è stato evidenziato nei sismogrammi dei rilievi attivi.

In linea generale, le indagini sismiche attive in onde di superficie hanno mostrato situazioni caratterizzate da sottosuolo con substrato rigido posto quasi ovunque a profondità superiori ai 30 m, con eccezione di alcuni casi locali, ad esempio a Fontanaluccia. I modelli verticali di velocità sono spesso, ma non sempre, caratterizzati da V_s dell'ordine dei 200-400 m/s nelle coltri superficiali, 300-500 m/s nelle porzioni alterate e decomprese delle formazioni di base, e di circa 600-650 m/s (localmente >800 m/s) attribuibili alle porzioni meno profonde del bedrock inalterato. Le informazioni di natura geofisica, unitamente alle conoscenze di geologia regionale, suggeriscono che la profondità del *bedrock* rigido ($V_s > 800$ m/s) si collochi in generale a profondità poco superiori ai 30 m, o localmente inferiori. Tali considerazioni hanno portato alla scelta dell'utilizzo degli abachi del tipo APPENNINO con substrato rigido (Allegato A2 alla Delibera di GR 2193/2015) per la determinazione dei fattori di amplificazione stratigrafica relativi alle aree stabili suscettibili di amplificazione.

A Fontanaluccia, anche i rilievi passivi a stazione singola hanno evidenziato degli elementi di problematicità, tanto che diversi di essi sono risultati poco significativi dal punto di vista interpretativo, spesso non mostrando picchi stratigrafici chiari nel grafico del rapporto H/V.

La frequente assenza di picchi chiari e definiti nel grafico delle indagini HVSr non sembra correlabile a una reale assenza di contrasti d'impedenza significativi nel sottosuolo, soprattutto se si tiene conto delle conoscenze geologiche e dei risultati dei rilievi attivi, per le quali l'esistenza di un substrato rigido può essere postulata generalmente ad alcune decine di metri dalla superficie, ma non a grandissime profondità.

Sempre a proposito delle misure a stazione singola, si è notata una certa coerenza dei risultati

ottenuti tra le nuove indagini eseguite a Piandelagotti e quelle eseguite in occasione della redazione dello studio di Microzonazione di II livello del 2012, per le quali sono stati rilevati valori di F0 dell'ordine di 4.5-5.5 Hz nella parte di valle dell'abitato tra il parco adiacente alla chiesa e Case Palandri), laddove valori analoghi erano stati determinati circa 5 anni prima.

7 Metodologia ed interpretazione dei risultati

In una prima fase del lavoro si è proceduto, in concerto con l'Unità Tecnica Comunale, a:

- definizione delle aree da sottoporre a microzonazione sismica;
- raccolta dei dati geognostici presenti nell'archivio comunale;
- una prima localizzazione delle zone dove eseguire indagini di nuova acquisizione.

Per ottenere un prodotto omogeneo, si è preferito reintrodurre, all'interno della banca dati, anche tutte le indagini che erano state raccolte e prodotte in occasione della Microzonazione 2012 per l'abitato di Piandelagotti,

La compilazione della banca dati (per mezzo del software SoftMs4.0) unitamente alla collocazione in carta dell'ubicazione delle prove hanno poi permesso di pianificare meglio la campagna di sondaggi e rilievi geofisici atti ad integrare le conoscenze pregresse.

Si è poi proceduto alla compilazione della carta geologico-tecnica che, necessariamente, va a coprire un areale molto più ampio rispetto a quello soggetto a microzonazione, soprattutto per tenere conto le dimensioni di alcuni corpi franosi che si estendono per un lungo tratto di versante, fino al fondovalle.

Si è poi proceduto all'esecuzione delle campagne geognostiche con la realizzazione di prove penetrometriche superpesanti (DPSH), lo scavo di alcune trincee per l'osservazione delle caratteristiche dei terreni e il prelievo di campioni indisturbati tramite fustella, i rilievi geofisici in onde di superficie sia attivi (MASW) che passivi a stazione singola (HVSr), nonché la realizzazione delle indagini di laboratorio.

Attraverso l'interpretazione dei dati di archivio e di nuova esecuzione è stato poi possibile produrre la cartografia relativa alle indagini, alle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) e di secondo livello per le aree stabili suscettibili di amplificazione topografica.

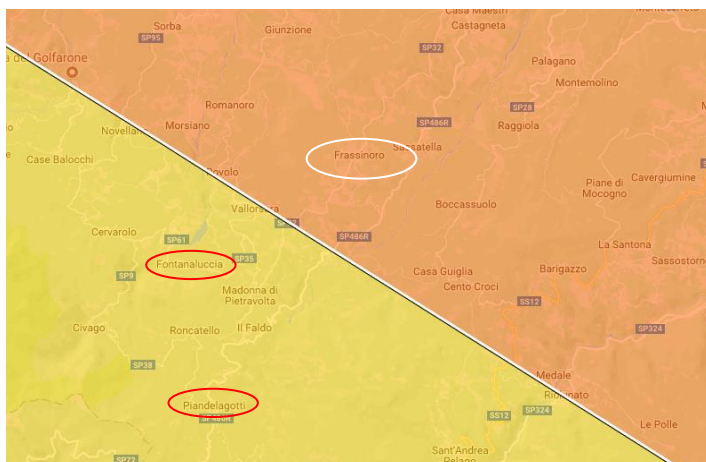
L'analisi combinata dei dati sismici (MASW e HVSr), e di quelli ottenuti dalle prove geognostiche e geotecniche ha permesso di ricostruire il modello sismico del sottosuolo per le diverse zone indagate con approfondimenti di III livello. Sui diversi modelli così ottenuti è stata calcolata la risposta sismica locale (RSL), ricavando la PGA (Peak Ground Acceleration, massima accelerazione orizzontale del suolo durante un evento sismico), il Fattore di Amplificazione per la PGA e i fattori di amplificazione delle Intensità di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s, dati che hanno permesso il completamento della cartografia di microzonazione sismica di II livello con elementi di III livello. In aggiunta, nelle zone instabili microzionate sono state valutate la stabilità dell'area e gli spostamenti indotti dal sisma, sia in condizioni non drenate (sismiche) che residue.

7.1 Risposta sismica locale

7.1.1 Individuazione della Magnitudo Massima di riferimento

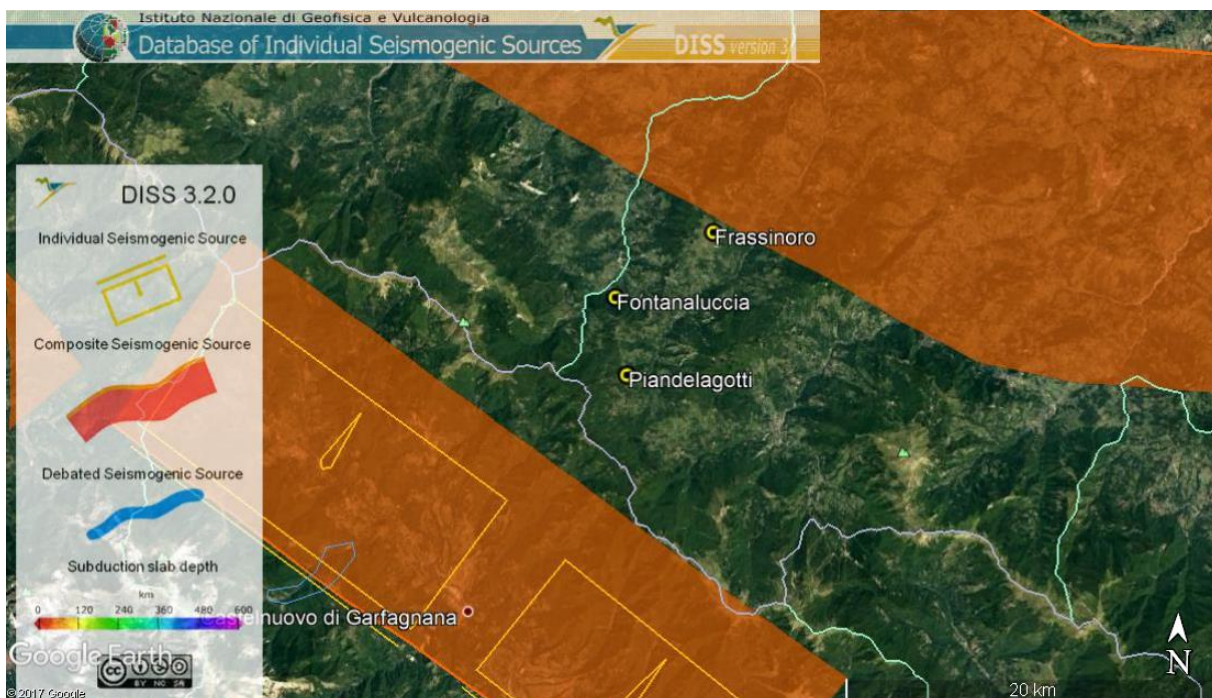
Secondo la zonazione sismogenetica ZS9 riportata in Figura 6, il territorio del Comune di Frassinoro risulta ricompreso all'interno di due diverse zone:

- la parte nord del territorio, in cui è compreso il capoluogo, è compresa all'interno della zona 913 (Appennino Emiliano-Romagnolo)
- la parte sud del territorio comunale, in cui risultano ricompresi anche Fontanaluccia e Piandelagotti, appartiene alla Zona 915



A sinistra:
Suddivisione del territorio nelle due
zonazioni sismiche. A N la Zona 913
(Frassinoro, evidenziato in bianco), a S la
Zona 915 (Fontanaluccia e Piandelagotti,
evidenziati in rosso)

In basso
Individuazione delle sorgenti
sismogenetiche (DISS 3.2.0)



Come riportato nel DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) versione 3.2.0 a cura dell'INGV, per le due zone la situazione è la seguente

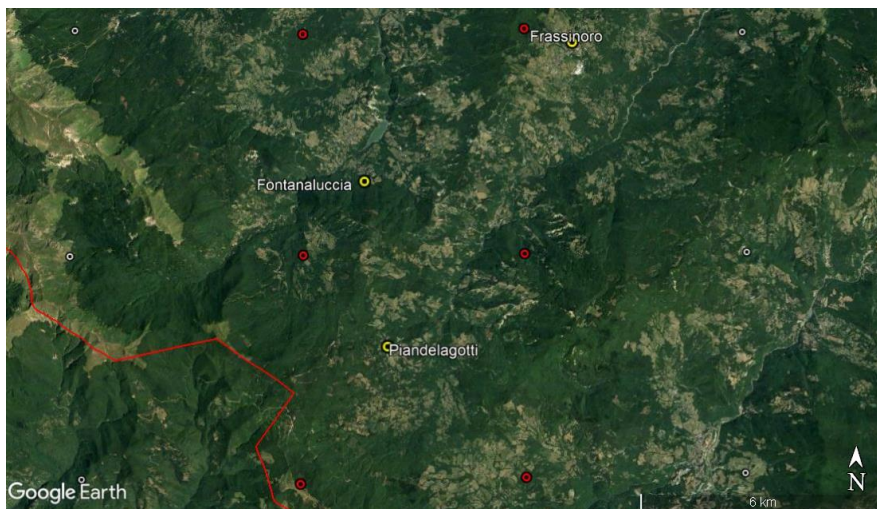
	Zona 913	Zona 915
sorgente sismogenetica DISS-ID	ITCS027	ITCS083
nome	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga	Garfagnana
Profondità minima km	12	1
Profondità massima km	22	10
Magnitudo Massima [Mw]	6.2	6.4

Dal momento che le due aree microzionate appartengono alla zona 915, per gli approfondimenti di terzo livello si è assunto come valore di riferimento della magnitudo M_w quello massimo previsto dalla zonazione sismogenetica ZS9, pari a 6.4.

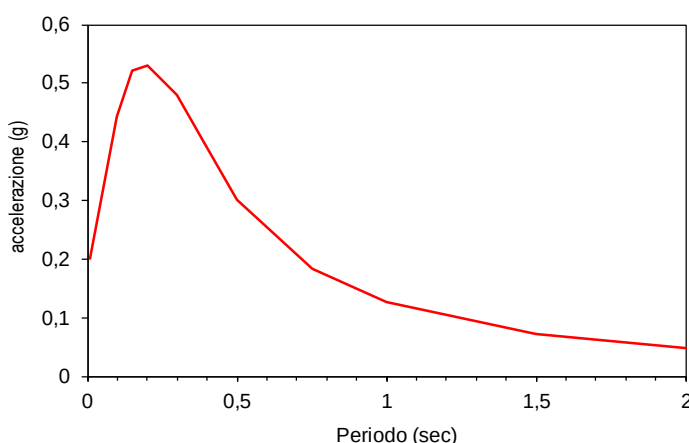
7.1.2 Definizione del segnale di riferimento e degli input sismici (accelerogrammi)

Nella procedura utilizzata per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello sono stati utilizzati i valori di pericolosità sismica elaborati da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica –Microzonazione Sismica" e all'interno dell'Allegato 4 della DGR 2193/2015.

Il valore dell'accelerazione di riferimento a_{refg} relativo alle località microzionate è stato ottenuto interpolando i valori di a_{refg} definiti nei punti della griglia più prossimi al sito.



Maglia con passo di 0.05 gradi con i valori di pericolosità sismica dell'INGV. I 6 punti di interesse della maglia sono stati evidenziati in rosso



Spettro di risposta con periodo di ritorno 475 anni e smorzamento del 5 %

Lo spettro rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni in Emilia-Romagna, riportato nella sopracitata DGR 2193/15, è stato ricavato dai valori degli spettri di risposta calcolati per il territorio regionale da INGV. In base ai valori riportati è stato costruito lo spettro di risposta in accelerazione (smorzamento pari al 5%) a probabilità uniforme, che descrive le

caratteristiche del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni per le aree oggetto di microzonazione. Lo spettro qui riportato a titolo esemplificativo è stato ottenuto utilizzando un valore di $a_{refg} = 0.2g$, valore prossimo a quello medio per le due località, approssimando alla seconda cifra decimale.

Per le simulazioni dello scuotimento in superficie sono stati utilizzati una serie di accelerogrammi, sia di riferimento (tratti da segnali naturali) sia naturali.

I tre segnali di riferimento sono forniti in forma di file nell'Allegato 4 della DGR 2193/15. Questi accelerogrammi sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" (ISESD <http://www.isesd.hi.is/ESD>) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD. Il nome dei files corrisponde al codice identificativo ISESD delle registrazioni accelerometriche. I segnali di riferimento sono normalizzati affinché la loro ampiezza massima assoluta sia unitaria. I tre segnali di riferimento sono

- 000046xa.xy
- 000126xa.xy
- 000354xa.xy

Questi tre segnali sismici sono rappresentativi dello scuotimento atteso, per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A (tabella 3.2. II delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008), ovvero un substrato "rigido" con V_{s30} superiore a 800m/s. Questi accelerogrammi sono riferiti rispettivamente ad un sisma di tipo impulsivo (000046xa), ad ampio contenuto in frequenze (000126xa) e di un sisma con componente predominante alle alte frequenze (000354xa).

I tre accelerogrammi di riferimento sono stati utilizzati per tutte le aree microzionate in cui è stato individuato un substrato rigido di tipo A con $V_{s30} > 800$ ms.

Dal momento che solo in una parte delle aree microzionate al terzo livello è stato individuato un substrato rigido di tipo A con $V_{s30} > 800$ ms, per le zone in cui è stato individuato un bedrock sismico su terreni di categoria B oltre ai tre segnali di riferimento sono stati utilizzati anche 4 accelerogrammi naturali, misurati su suolo di tipo B (V_{s30} compresa tra 360 e 800 m/s) e pertanto in una situazione più compatibile a quella delle aree in esame.

I quattro segnali utilizzati provengono allo European Strong-motion Database (ESD) e sono stati selezionati all'interno della banca dati utilizzando il software REXEL (criterio di scelta: PGA). Tra gli accelerogrammi selezionati dal software (7 complessivamente) è stata effettuata una ulteriore selezione sulla base della forma spettrale, delle PGA e della magnitudo del sisma di riferimento, scegliendo quelli maggiormente compatibili.

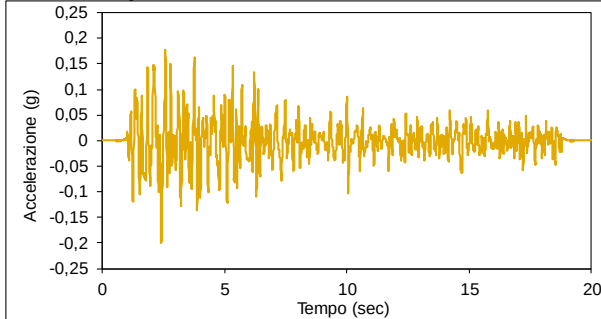
Sono stati scelti gli accelerogrammi:

- 000147ya (sisma con Mw 6, $PGA_y = 2.36$)
- 000228xa (sisma con Mw 6.2, $PGA_x = 2.02$)
- 000228ya (sisma con Mw 6.2, $PGA_y = 2.70$)
- 006093ya (sisma con Mw 5.2, $PGA_y = 1.88$)

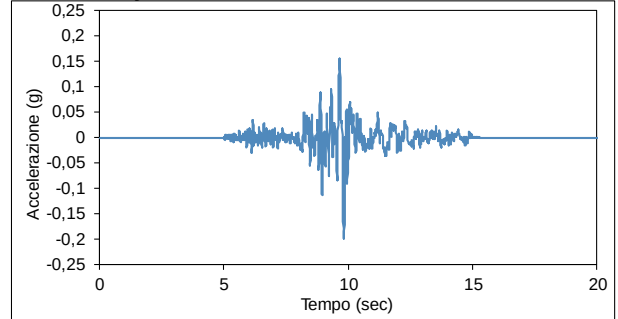
Per effettuare la risposta sismica locale i segnali di riferimento e gli accelerogrammi scelti sono stati successivamente scalati al valore dell'accelerazione di riferimento a_{refg} relativa alle singole località microzionate, ottenuto interpolando i valori della griglia di riferimento più prossimi al sito, come descritto in precedenza.

I grafici dei segnali di riferimento e degli spettri di risposta (scali a 0.2g) sono stati riportati nel seguito.

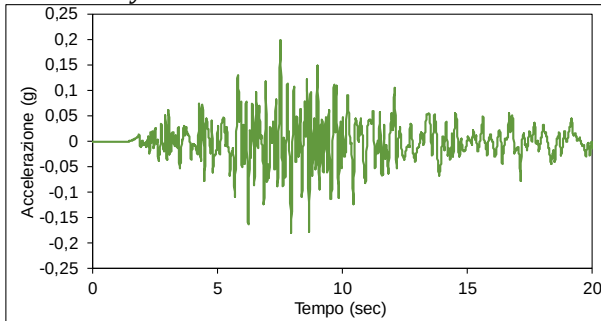
000046xa.xy



000126xa.xy



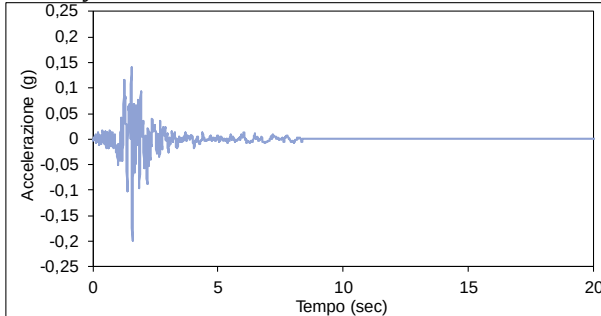
000354xa.xy



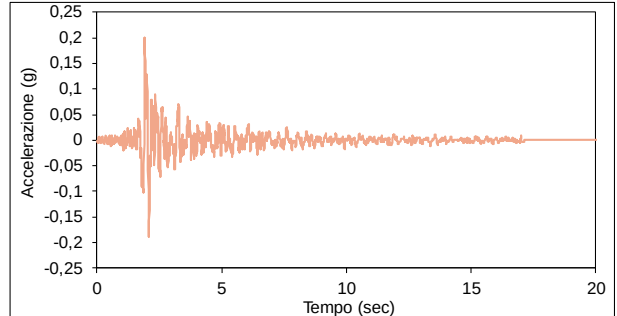
**Segnali di riferimento (accelerogrammi) su suolo A
scalati a 0.2g.**

*I colori utilizzati per i singoli accelerogrammi sono gli
stessi dei grafici in cui sono stati riportati gli spettri in
uscita e le medie.*

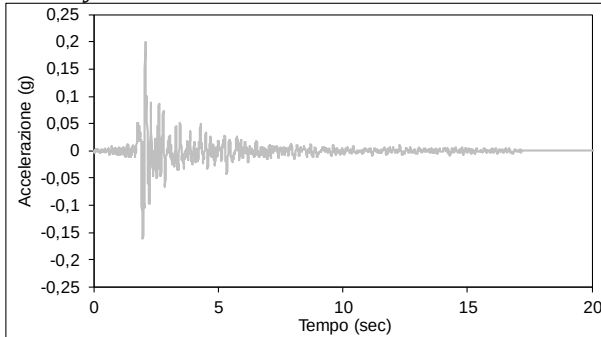
000147ya



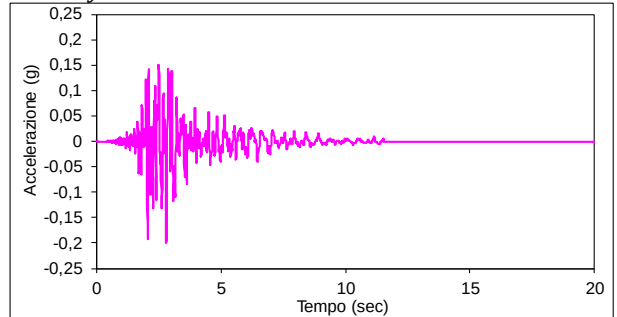
000228xa



000228ya



006093ya



**Accelerogrammi su suolo B scalati a 0.2g. I colori utilizzati per i singoli accelerogrammi sono gli stessi dei
grafici in cui sono stati riportati gli spettri in uscita e le medie.**

7.1.3 Metodologia di analisi utilizzata

Il calcolo della risposta sismica locale è stato effettuato utilizzando il programma EERA (*Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses*) sviluppato presso la University of Southern California (Department of Civil Engineering) da J. P. Bardet, K. Ichii, & C. H. Lin (2000).

EERA è un programma di calcolo monodimensionale che opera nel campo delle tensioni totali e che consente di studiare la propagazione delle onde sismiche tenendo conto della non linearità del comportamento del terreno, introducendo un modello "lineare equivalente". Il codice di calcolo utilizzato per le simulazioni di scuotimento in superficie si basa sul modello di calcolo di Shake91 (Isdriss e Sun, 1992), modificandone l'interfaccia di immissione dati.

Nel modello utilizzato dal codice EERA gli strati (o i diversi orizzonti di depositi / detriti / sedimenti) vengono schematizzati con una serie di masse concentrate in corrispondenza della superficie di separazione degli strati e collegati tra loro da molle e smorzatori viscosi. Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt (molla e smorzatore viscoso in parallelo) nel quale si ipotizza che le onde di taglio si propaghino con direzione verticale all'interno del deposito poggiante su bedrock.

Nel modello lineare equivalente utilizzato da EERA si considera (come ipotesi semplificativa) che il modulo di taglio G e il rapporto di smorzamento D siano funzione dell'ampiezza della deformazione di taglio γ . La non linearità del comportamento viene considerata effettuando un'analisi visco-elastica di tipo iterativo. Nel programma di calcolo i moduli G e D si ottengono da iterazioni che sono funzione del livello di deformazione indotto in tutti gli strati e pertanto non sono costanti, ma variano fino a raggiungere un valore compatibile con il livello di deformazione indotto dal sisma. Il processo iterativo si interrompe nel momento in cui i valori di rigidezza e smorzamento calcolati sono compatibili con quelli indotti dalle deformazioni iniziali.

7.1.4 Definizione dei modelli

Per il calcolo dello scuotimento in superficie EERA utilizza un modello numerico che simula la propagazione verticale di onde s attraverso strati piano paralleli omogenei ed isotropi a partire da uno strato di riferimento rigido (bedrock sismico).

Per la definizione del modello numerico necessario e per realizzare il calcolo della risposta sismica locale occorre realizzare un modello geologico e sismico del sottosuolo, che comprende:

- definizione del moto sismico di input (ag di riferimento per il sito, accelerogramma da utilizzare e da scalare, magnitudo massima attesa, smorzamento);
- profondità e spessore dei diversi orizzonti di terreno presenti nel sottosuolo;
- velocità delle onde di taglio s nei diversi orizzonti di terreno;
- caratteristiche dei terreni (peso di volume, orizzonti interessati dalla presenza di una falda);
- parametri di decadimento dei terreni (moduli G e D);
- profondità del bedrock sismico.

La definizione e la scelta del moto sismico di input è stata trattata nel paragrafo precedente.

La profondità e lo spessore dei diversi orizzonti di terreno presenti nel sottosuolo sono stati definiti utilizzando sia i dati propri, ottenuti con indagini espressamente realizzate per la microzonazione di terzo livello, sia da prove o indagini presenti in banca dati.

Sono state utilizzate:

- per gli orizzonti più superficiali, quando possibile, prove dirette, (scavi, DPSH, carotaggi)
- per gli orizzonti più profondi prove indirette di tipo sismico, utilizzando preferibilmente le misure dirette delle velocità delle onde di taglio s (MASW), secondariamente le misure delle

onde P (sismica a rifrazione) e le indagini HV (solo se ancorate a un profilo MASW) per gli orizzonti più profondi.

Le caratteristiche dei terreni (peso di volume) sono state ottenute per quanto possibile da prove di laboratorio (orizzonti più superficiali), che hanno permesso di verificare ed eventualmente tarare i dati ottenuti dalle DPSH e/o dalle indagini sismiche.

Per i parametri di decadimento dei terreni è stata utilizzata una propria banca dati costituita da numerose curve di decadimento presenti in letteratura (DGR 7374/2008 Regione Lombardia, Casadio M & Elmi C., 2006), per terreni con diverse matrici (argille, limi, sabbie, detriti) e IP (indice di plasticità).

La definizione del bedrock sismico è avvenuta:

- per i suoli di tipo A ($v_s > 800$ m/s) utilizzando misure dirette delle onde s (MASW) o indagini sismiche a rifrazione, nelle situazioni in cui il bedrock era direttamente misurabile utilizzando questo tipo di indagini (profondità minore di 30 m).

La trasformazione delle velocità misurate per le onde P nella sismica a rifrazione (V_p) in velocità delle onde s (V_s) è stata effettuata utilizzando la relazione:

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{1-\nu}{0.5-\nu}} \quad \text{dove:} \quad \begin{cases} V_p = \text{velocità onde P} \\ V_s = \text{velocità onde s} \\ \nu = \text{modulo di Poisson, ricavato dalle prove dinamiche DPSH} \end{cases}$$

- per i suoli di tipo B (v_s compresa tra 360 e 800 m/s) utilizzando sia le misure sopradescritte che le indagini HV. In queste aree la velocità delle onde di taglio misurata con le MASW non ha raggiunto la velocità di 800 m/s, ma si è fermata a 500-600 m/s. Calibrando le misurazioni H/V con le MASW e proseguendo in profondità con le velocità misurate per l'ultimo orizzonte (5-600 m/s), il picco HV che potrebbe indicare un contrasto di impedenza significativo e quindi la possibile presenza di un substrato rigido indicherebbe profondità superiori (a volte anche molto superiori) a 50 m dal p.c. (profondità massima considerata negli abachi). Dal momento che un bedrock molto profondo in genere può portare ad una deamplificazione del segnale sismico, per queste zone si è scelto come bedrock sismico quello più superficiale, caratterizzato da velocità più ridotte (suolo B) ma in cui avviene la trasmissione principale del segnale sismico ai fini della risposta sismica locale.

Per ogni zona in cui è stata calcolata la risposta sismica locale è stato definito il modello sismico e geologico dei terreni in profondità e sulla base di questo è stato calcolato lo spettro di risposta in superficie ottenuto dalla media delle varie simulazioni fatte utilizzando i diversi accelerogrammi di input, applicando i moti di riferimento al tetto del bedrock sismico.

Per ogni simulazione effettuata sono state calcolate:

- la PGA (Peak Ground Acceleration), il valore di picco dell'accelerazione orizzontale in superficie. In un spettro di risposta elastico, la PGA coincide con il valore dell'accelerazione spettrale $S_e(T)$ quando il periodo proprio di oscillazione dell'oscillatore elementare di riferimento è pari a $T=0$ poiché in questo caso l'oscillatore è infinitamente rigido e pertanto ha la stessa accelerazione del terreno;
- Il fattore di amplificazione PGA (FA PGA), ottenuto dal rapporto tra la PGA calcolata e l'accelerazione di riferimento per l'area microzonata a_{refg}
- i fattori di amplificazione delle Intensità di Housner ($SI/SI0$) negli intervalli 0.1-0.5 secondi e 0.5-1.0 secondi. L'intensità di Housner (o intensità dello spettro di risposta) è correlata al danno potenziale atteso per effetto del terremoto in esame, dal momento che la maggior parte delle strutture hanno un periodo fondamentale di vibrazione nell'intervallo compreso tra 0.1 e 2.5 secondi.

7.2 Verifiche di stabilità

Nelle aree instabili oggetto del presente approfondimento al terzo livello (aree ubicate in frana attiva o quiescente) sono state effettuate verifiche per la valutazione del rischio di instabilità.

Le verifiche sono state focalizzate principalmente in corrispondenza delle zone perimetrate. La valutazione è stata comunque condotta, per quanto possibile, su tutto il pendio su cui insistono le zone classificate come instabili, per verificare il grado di instabilità complessivo e la presenza di possibili zone che, se riattivate, potrebbero innescare movimenti franosi in altre porzioni dei versanti.

7.2.1 Software utilizzato

Il software utilizzato per le verifiche di stabilità è Slope 2017, della Geostru. Il Software consente di effettuare verifiche utilizzando diverse metodologie di calcolo, in condizioni drenate, non drenate e drenate utilizzando valori residui. Il programma consente sia la ricerca automatica delle superfici di rottura, utilizzando maglie di centri ed individuando le superfici con il fattore di sicurezza più basso, sia la ricerca manuale, utilizzando superfici di forma circolare o qualsiasi.

Il software comprende un modulo (Qsim) che consente di effettuare l'analisi della stabilità dei pendii in condizioni dinamiche con il metodo di Newmark.

Secondo tale metodo il pendio viene schematizzato come un blocco rigido che scorre su un piano inclinato; il movimento si innesca quando l'accelerazione orizzontale supera il valore critico k_c calcolato tramite analisi pseudo-statica, al contrario, quando l'accelerazione del terreno torna al di sotto del valore critico il moto prosegue con accelerazione nulla.

Qsim consente di ricavare l'andamento degli spostamenti e delle velocità durante la fase sismica e lo spostamento massimo permanente.

7.2.2 Metodologia utilizzata

Per le aree instabili microzonate le verifiche sono state effettuate lungo una sezione (riportata in cartografia) per quanto possibile perpendicolare al pendio e condotta attraverso le aree oggetto di indagine.

Per la ricerca e definizione della possibile superficie di rottura:

- se questa risultava chiaramente individuata in base ai risultati delle indagini geotecniche o sismiche, in fase di tracciamento e calcolo si è tenuto conto di queste indicazioni;
- nel caso questa non fosse nota si è provveduto dapprima a ricercarla automaticamente, nelle zone del versante con maggiore pendenza. Successivamente si è provveduto a raffinare la ricerca, tracciando ulteriori superfici di forma non necessariamente circolare nelle vicinanze della zona individuata in automatico, procedendo fino a trovare quella con il fattore di sicurezza più basso. Le superfici ricavate in questo modo sono sempre state caratterizzate da un fattore di sicurezza inferiore rispetto a quelle calcolate in automatico.

Dal momento che le superfici di rottura così trovate hanno forme qualsiasi (non circolari), per le verifiche è stato utilizzato il metodo di Janbu (1967).

Il metodo di Janbu è uno dei metodi dell'equilibrio limite in cui, lungo una superficie di scorrimento di forma qualsiasi, vengono calcolate le tensioni da taglio e confrontate con la resistenza disponibile. Dal momento che il versante non è generalmente composto da materiali omogenei, il pendio viene suddiviso in conci e viene calcolato l'equilibrio di ogni concio. Dal confronto tra le tensioni totali e le resistenze totali (per tutti i conci) viene calcolato il fattore di sicurezza del pendio.

Le verifiche dinamiche sono state condotte con il metodo di Newmark. Per effettuare queste verifiche sono stati utilizzati gli accelerogrammi che hanno fornito i valori più elevati di PGA nel calcolo della risposta sismica locale. Il programma calcola un'accelerazione critica, superata la quale si hanno movimenti nel versante con spostamenti permanenti. Se è presente un'intersezione tra l'accelerogramma scalato e l'accelerazione critica, vengono calcolati gli spostamenti in corrispondenza di tutti i tratti di intersezione, e lo spostamento totale risultante.

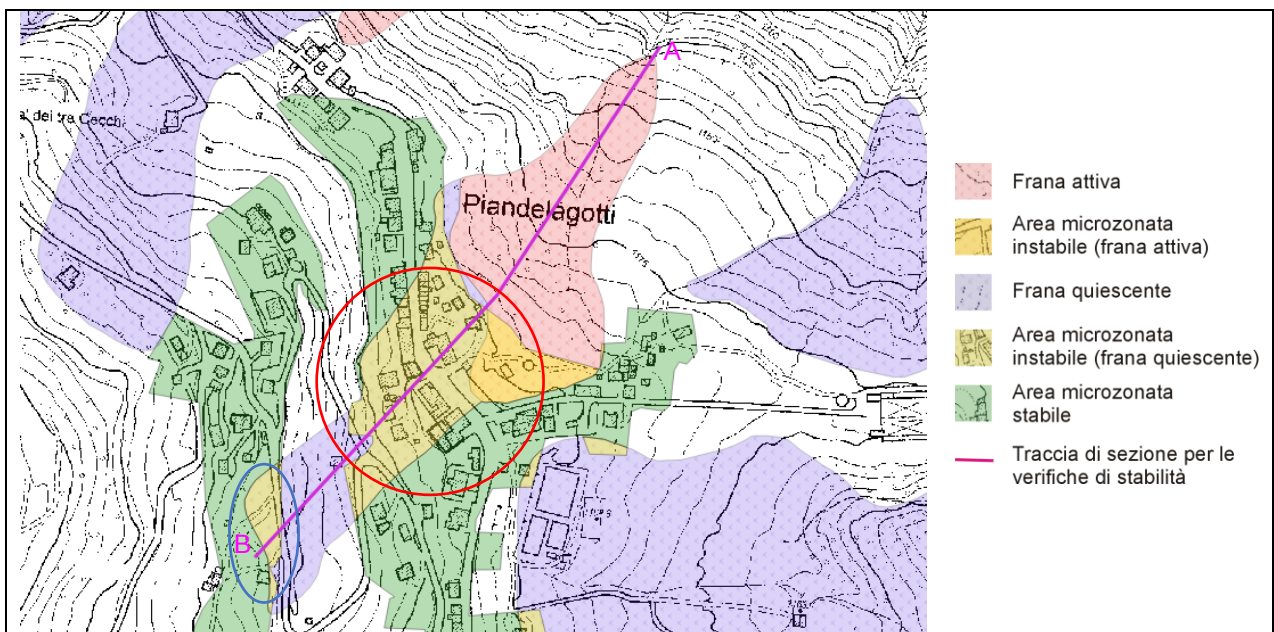
I parametri geotecnici utilizzati per le verifiche di stabilità sono stati ricavati:

- dalle prove di laboratorio appositamente effettuate;
- dalle prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH (appositamente effettuate e presenti nella banca dati);
- dalle indagini geofisiche (MASW) per gli spessori e alcune caratteristiche degli orizzonti più profondi, non raggiunti dalle prove dirette.

7.3 Piandelagotti

7.3.1 Piandelagotti centro

Dal punto di vista della RSL, l'area è stata divisa in due settori. Quello a monte, costituito da una piccola porzione microzonata ubicata all'interno di una frana quiescente (evidenziata in blu nella planimetria in basso) e quello a valle, in cui all'interno dell'area microzonata ubicata in zona instabile sono presenti sia una porzione di frana quiescente che una di frana attiva (cerchio rosso).

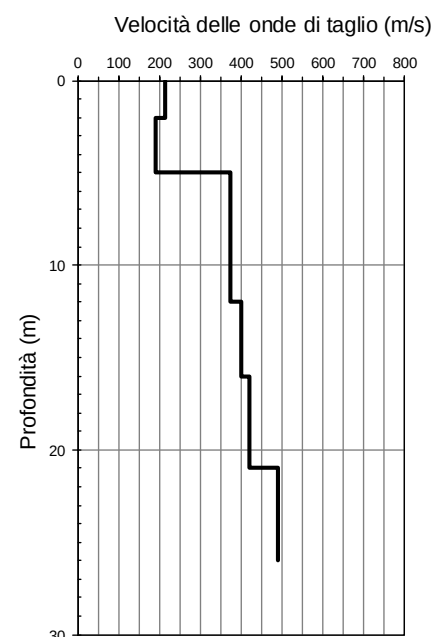


Settore a monte (ellisse blu)

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Vs (m/sec)
silt sabbioso	2	18,1	215
silt IP 15 30	3	17,2	190
silt sabbioso	3	19,0	375
silt sabbioso	4	20,4	375
argilla sabbiosa	4	20,6	400
argilla IP 15	5	20,6	420
argilla IP 30	5	21,1	490
bedrock		22,6	590

Il modello è stato costruito utilizzando prevalentemente le prove sismiche presenti nell'area (MASW e HV).
In base al modello così costruito il bedrock è costituito da un suolo

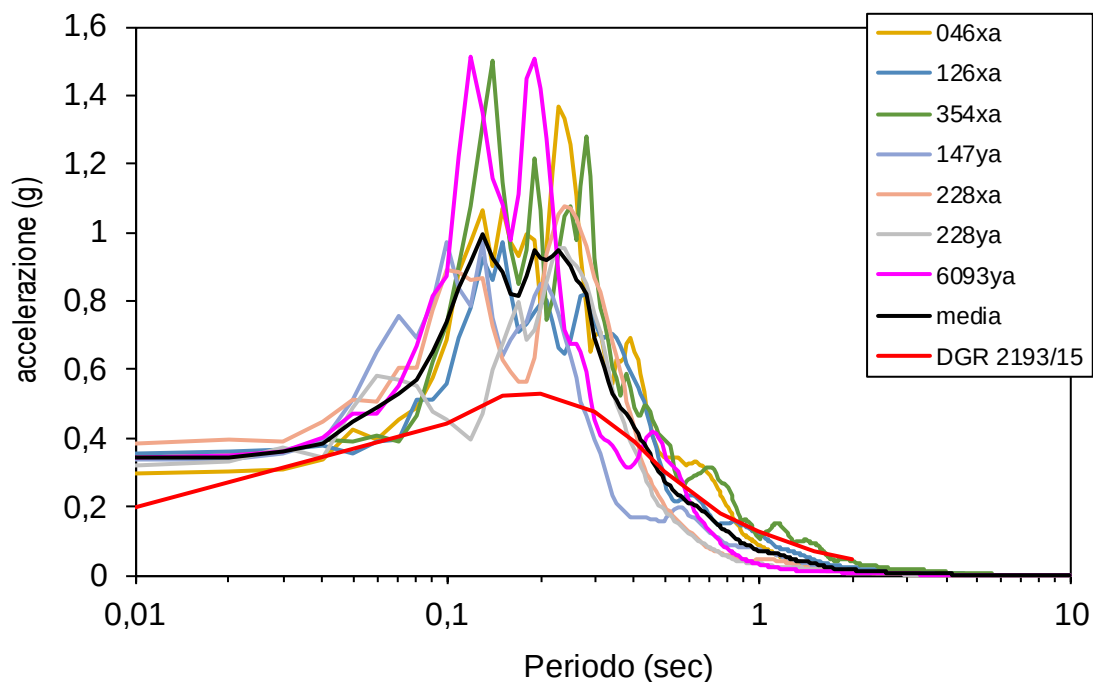


non rigido ($v_s < 800$ m/s) posto a 26 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.

	000046xa	000126xa	000354xa	000147ya	006093ya	000228xa	000228ya	Valore medio
P,G,A, (g)	0,297	0,357	0,347	0,336	0,346	0,383	0,323	0,341
F.A. P,G,A,	1,49	1,79	1,74	1,68	1,73	1,92	1,62	1,71
FA S_i/S_{i0} ($0,1s < T_0 \leq 0,5s$)	1,73	1,65	1,74	1,77	1,75	1,79	1,84	1,75
FA S_i/S_{i0} ($0,5s < T_0 \leq 1,0s$)	1,24	1,17	1,17	1,17	1,4	1,41	1,48	1,24

Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000228xa, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo B.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.



Settore a valle (cerchio rosso)

Nel parco sottostante la piazza del paese, ubicato all'interno dell'area microzonata e compreso all'interno di una frana attiva, sono state appositamente effettuate prove sismiche (MASW, HVSR) e una prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH con codice 036016P111DS111, Allegato 1). In aggiunta, all'interno di una trincea di scavo (036016P109DS109), utilizzando una fustella è stato prelevato un campione di terreno su cui eseguire una serie di prove di laboratorio (campione P1, Allegato 2). I certificati di prova sono riportati in allegato, i risultati della prova di laboratorio e i valori ricavati dalla DPSH vengono riportati sinteticamente nel seguito.

Prova di laboratorio campione P1

Campione	P1	
profondità m	1.20-1.55	
Limi %	64.57	
Sabbie %	19.01	
Ghiaie %	16.42	
Limite Liquido wL %	37	
Limite Plastico wP %	21	
Indice di Plasticità (wL - wP) IP %	16	
Peso di volume medio (3 provini) kg/m ³	1848	
Prova di compressione non confinata ($\approx$ cu) kg/cm ²	0,265	
Coesione efficace c' kg/cm ²	0,065	Valore di picco
	0,057	Valore residuo
Angolo di attrito interno Φ°	25.38 °	Valore di picco
	17.27 °	Valore residuo



Realizzazione della trincea di scavo per il prelievo del campione P1

Prova penetrometrica dinamica DPSH 036016P111DS111

La prova è stata condotta all'interno di orizzonti detritici che presentano una duplice natura, sia coesiva che incoerente. Le relazioni utilizzate per ottenere i dati sono riportate nel seguito.

Per alcuni parametri (coesione non drenata e angolo di attrito interno) i risultati della prova di laboratorio hanno privilegiato la scelta della relazione di calcolo che permetteva di ottenere i valori più simili.

Per i terreni coesivi:

- la coesione non drenata (C_u) è stata ricavata utilizzando la correlazione di Terzaghi e Peck
- modulo edometrico (Eed): Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner
- Modulo di Young: Apollonia
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Meyerhof

Per i terreni incoerenti:

- La densità relativa (%): Skempton 1986
- L'angolo di resistenza al taglio ($^\circ$): Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956
- Modulo di Young: Schmertmann (1978)
- modulo edometrico (Eed): Menzenbach e Malcev
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Terzaghi-Peck 1948-1967
- Modulo di Poisson: (A.G.I.)
- Modulo di deformazione a tagli dinamico Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)



**Realizzazione della prova
penetrometrica dinamica
DPSH 036016P111DS111**

DATI GENERALI	Profondità base orizzonte (m)	N° di colpi medio	Tensione efficace (Kg/cm^2)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Comp. Geotecnico
/	1	5	0,12	1,46	7,3	Coesivo/incoerente
Orizzonte 1	4,8	1,42	0,62	1,48	2,1	Coesivo/incoerente
Orizzonte 2	6	6	1,06	1,5	9,02	Coesivo/incoerente
Orizzonte 3	7,4	10,86	1,24	1,51	16,4	Coesivo/incoerente

TERRENI COESIVI	Profondità base orizzonte (m)	C_u media (Kg/cm^2)	Modulo Edometrico Eed (Kg/cm^2)	Modulo di Young (Kg/cm^2)	Peso unità di volume (t/m^3)	Peso unità di volume saturo (t/m^3)	Classificazione A.G.I. (1977)
/	1	0,91	76,25	73,00	1,87	1,90	MODERAT. CONSISTENTE
Orizzonte 1	4,8	0,26	23,21	21,00	1,57	1,85	POCO CONSISTENTE
Orizzonte 2	6	1,13	93,79	90,20	1,94	2,13	CONSISTENTE
Orizzonte 3	7,4	2,05	169,06	164,00	2,08	2,29	MOLTO CONSISTENTE

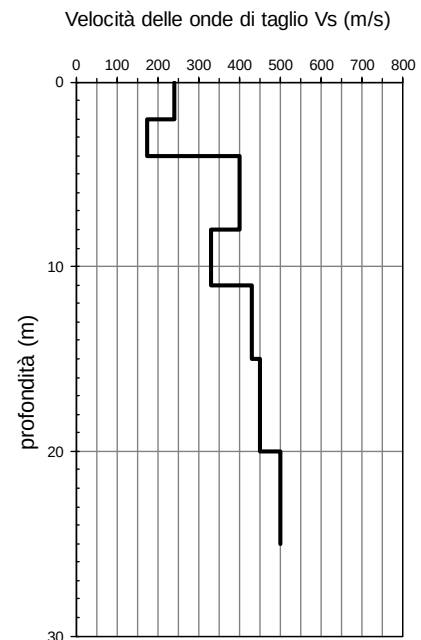
TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Modulo di Young (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico Eed (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm ²)
/	1	58,40	70,56	1,63	1,90	421,11
Orizzonte 1	4,8	16,80	47,37	1,41	1,87	196,69
Orizzonte 2	6	72,16	78,23	1,70	1,91	479,23
Orizzonte 3	7,4	125,60	108,02	1,90	1,95	672,36

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo di Poisson	Classificazione A.G.I. (1977)
/	1	26,71	29,09	0,34	POCO ADDENSATO
Orizzonte 1	4,8	12,68	27,6	0,35	SCIOLTO
Orizzonte 2	6	30,79	29,58	0,34	POCO ADDENSATO
Orizzonte 3	7,4	44,27	31,49	0,32	MODERATAMENTE ADDENSATO

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Vs (m/sec)
silt sabbioso	2	18,1	240
silt IP 15 30	2	17,2	175
silt sabbioso	4	19,0	400
silt sabbioso	3	20,4	330
argilla sabbiosa	4	20,6	430
argilla IP 15	5	20,6	450
argilla IP 30	5	21,1	500
bedrock		22,6	600

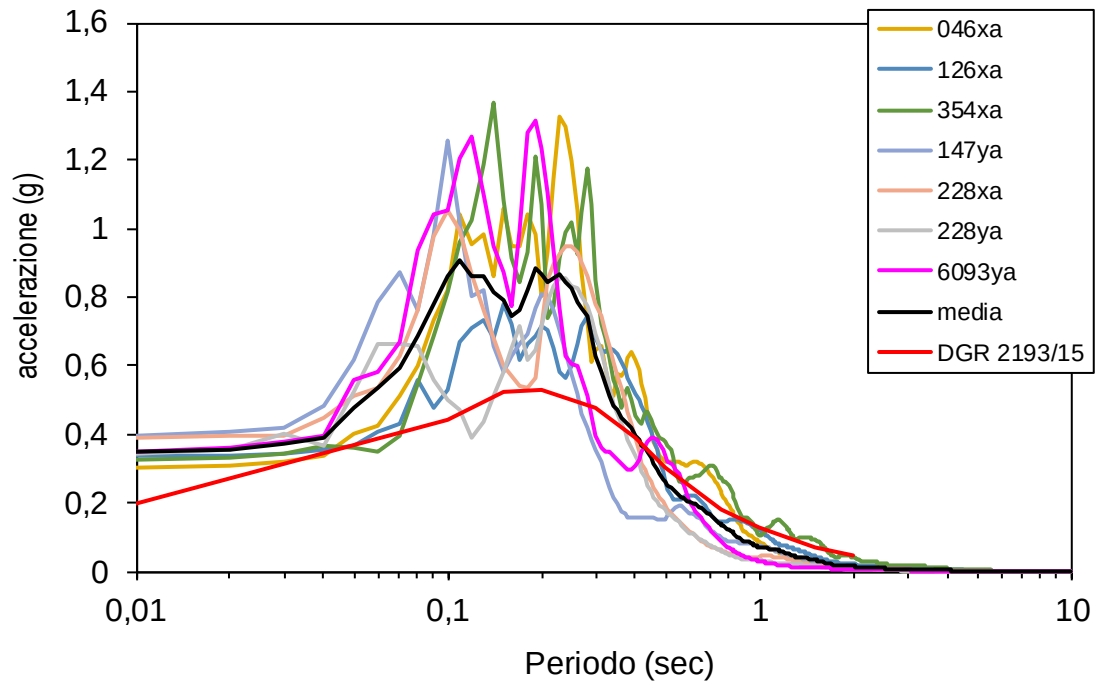
Il modello è stato costruito utilizzando prevalentemente le prove sismiche effettuate nell'area (MASW e HV), ma anche la prova penetrometrica e quella di laboratorio. Rispetto alla verifica precedente variano, sia pur di poco, le velocità e gli spessori di alcuni orizzonti. In base al modello così costruito il bedrock è costituito da un suolo non rigido ($v_s < 800$ m/s) posto a 25 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.



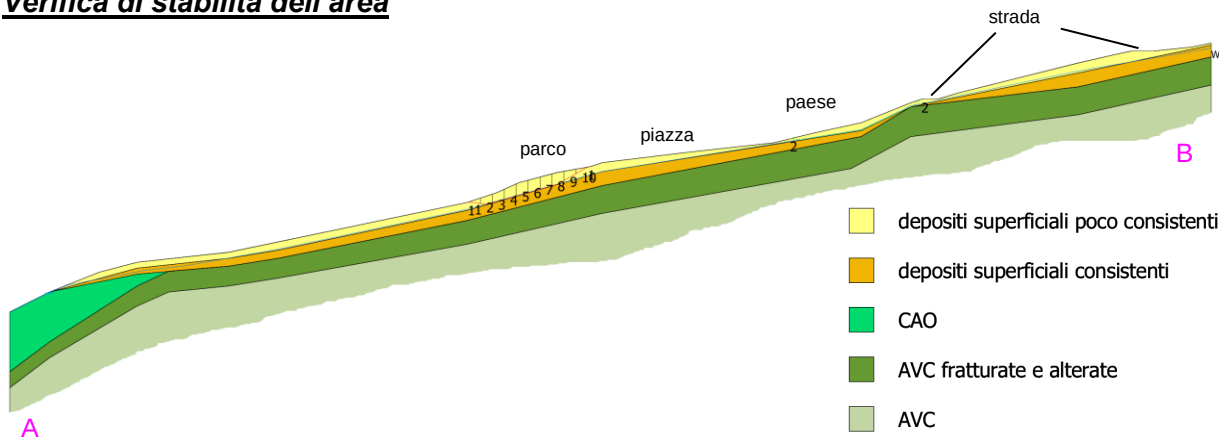
	000046xa	000126xa	000354xa	000147ya	006093ya	000228xa	000228ya	Valore medio
P,G,A, (g)	0,305	0,338	0,327	0,396	0,349	0,388	0,346	0,350
F.A. P,G,A,	1,53	1,69	1,64	1,99	1,75	1,95	1,74	1,76
FA SI/Slo (0,1s<To≤0,5s)	1,65	1,49	1,64	1,66	1,57	1,63	1,68	1,61
FA SI/Slo (0,5s<To≤1,0s)	1,19	1,13	1,14	1,14	1,3	1,32	1,39	1,19

Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000147ya, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo B.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.



Verifica di stabilità dell'area



Lunghezza sezione m	604	Pendenza media °	12,6	Quota minima m slm	1125
				Quota massima m slm	1260

La verifica di stabilità è stata effettuata lungo la traccia di sezione riportata in precedenza.

La sezione A-B risulta "specchiata" rispetto alla traccia di sezione (zona a valle a sinistra invece che a destra). Questo è dovuto al fatto che il software utilizzato ammette solo profili crescenti da sinistra a destra e non viceversa. Al di sotto dei corpi franosi, in base alla carta geologica (1:10.000 CARG-RER) viene ipotizzata la presenza delle Formazioni affioranti nelle immediate vicinanze, ovvero le Argilliti variegiate con calcari (AVC) e, a valle, il Flysch di Monte Caio (CAO), con un contatto per sovrascorrimento sulla precedente formazione.

Le superfici di rottura individuate sono situate:

- appena a valle della piazza (superficie 1), nella zona corrispondente al parco ed ubicata all'interno di una frana attiva;
- nella zona a monte all'interno del paese, in corrispondenza dell'area a maggiore pendenza ubicata in frana quiescente. La leggera risalita del substrato in corrispondenza della superficie 2 è stata ipotizzata in base ai risultati di due trincee presenti in banca dati.

In base alle indicazioni della DPSH nella verifica è stata ipotizzata la presenza di una falda.

Sia nella prova penetrometrica che nella misurazione MASW è stata individuata la presenza di un orizzonte di terreno abbastanza superficiale con basse velocità delle onde di taglio e scarse capacità meccaniche, a profondità comprese tra 3 e 5 metri dal piano di campagna. Sulla base di queste indicazioni la profondità della superficie di rottura è stata ipotizzata a profondità comprese tra 4 e 5 metri dal piano di campagna.

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il metodo di Janbu. Le condizioni di verifica sono quelle di un'area instabile con presenza di una frana attiva, per cui la verifica è stata condotta sia in condizioni non drenate (sismiche) che in condizioni residue.

Risultati delle verifiche

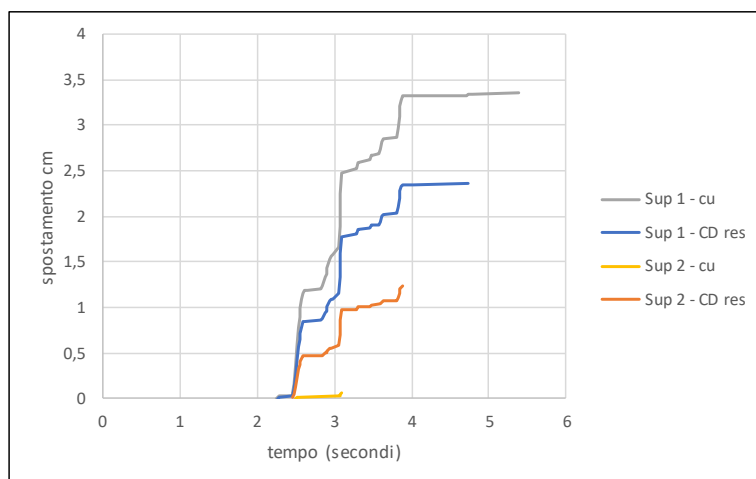
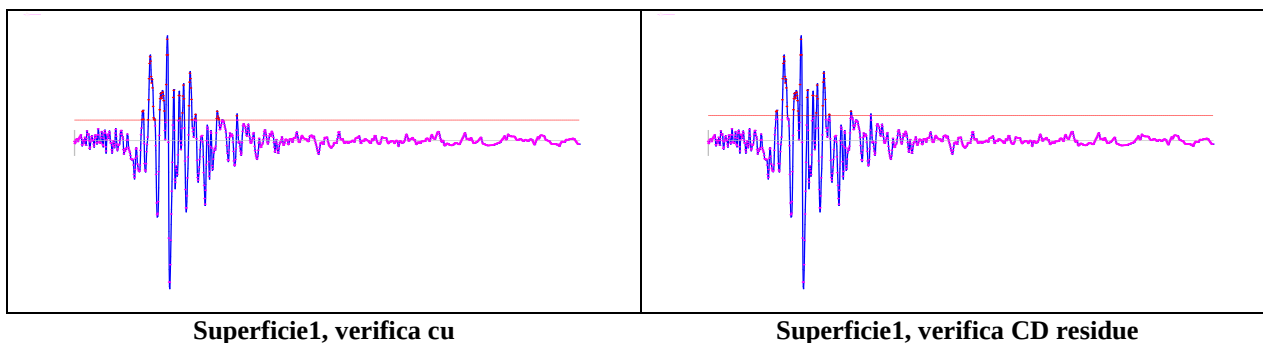
Superficie di calcolo	Fattore di Sicurezza FS	
	cu (condizioni sismiche)	CD (condizioni residue)
Superficie 1	1,16	1.26
Superficie 2	2,12	1.45

L'instabilità riportata per l'area risulta confermata da queste verifiche. Nella zona a monte (superficie 2) i risultati delle verifiche sono più che sufficienti, nella zona più a valle, caratterizzata dalla presenza di una frana attiva, i fattori di sicurezza sono superiori all'unità ma risultano comunque bassi, soprattutto in condizioni sismiche (inferiori a 1,2, normalmente considerato come soglia per la stabilità).

Calcolo degli spostamenti

Il calcolo degli spostamenti è stato effettuato per le due superfici, sia in condizioni cu (non drenate) sia in condizioni CD residue.

Per la verifica è stato utilizzato l'accelerogramma 000147ya, che nelle verifiche della RSL ha provocato le accelerazioni di maggiore intensità ($a_{max} = 0.396g$). Vengono riportati i diagrammi per la superficie1, in cui sono stati calcolati i maggiori spostamenti permanenti. In rosso l'accelerazione critica (per l'innesco del movimento e quindi degli spostamenti).



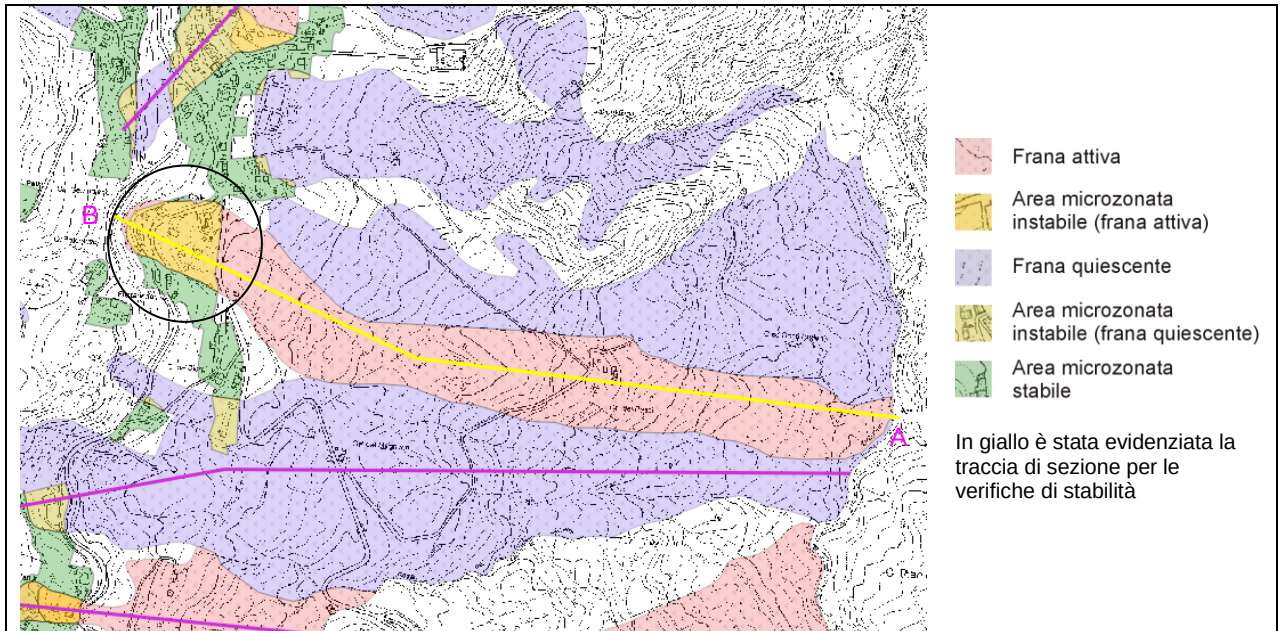
Rappresentazione dell'andamento degli spostamenti nel tempo (grafico a sinistra).

In basso: calcolo complessivo degli spostamenti, espressi in cm.

condizioni	Spostamento superficie1 frana attiva cm	Spostamento Superficie2 quiescente cm
CD res	2,4	1,2
Cu	3,4	0,06

Gli spostamenti calcolati sono presenti (viene raggiunta e superata l'accelerazione critica) ma non risultano particolarmente rilevanti.

7.3.2 Piandelagotti località Il Colle



L'area instabile microzonata è situata all'interno di una frana attiva, di notevole estensione.

A lato della strada immediatamente a sud dell'area instabile microzonata è stata appositamente effettuata una prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH con codice 036016P112DS112). I certificati di prova sono riportati in allegato, i valori ricavati dalla DPSH vengono riportati sinteticamente nel seguito.

Prova penetrometrica dinamica DPSH 036016P112DS112

La prova è stata condotta all'interno di orizzonti detritici che presentano una duplice natura, sia coesiva che incoerente. Le relazioni utilizzate per ottenere i dati sono riportate nel seguito.

Per alcuni parametri (coesione non drenata e angolo di attrito interno) i risultati della prova di laboratorio hanno privilegiato la scelta della relazione di calcolo che permetteva di ottenere i valori più simili.

Per i terreni coesivi:

- la coesione non drenata (C_u) è stata ricavata utilizzando la correlazione di Terzaghi e Peck
- modulo edometrico (E_{ed}): Trofimov (1974), Mitchell e Gardner
- Modulo di Young: Apollonia
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Meyerhof

Per i terreni incoerenti:

- La densità relativa (%): Skempton 1986
- L'angolo di resistenza al taglio ($^\circ$): Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956
- Modulo di Young: Schmertmann (1978)
- modulo edometrico (E_{ed}): Menzenbach e Malcev
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Terzaghi-Peck 1948-1967
- Modulo di Poisson: (A.G.I.)
- Modulo di deformazione a tagli dinamico Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)



**Realizzazione della prova
penetrometrica dinamica
DPSH 036016P112DS112**

DATI GENERALI	Profondità base orizzonte (m)	N° di colpi medio	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Comp. Geotecnico
/	1,4	11,43	0,17	1,46	16,69	Coesivo/incoerente
Orizzonte 1	3,6	2,27	0,56	1,48	3,36	Coesivo/incoerente
Orizzonte 2	5	5	0,95	1,5	7,49	Coesivo/incoerente
Orizzonte 3	6,4	10,43	1,27	1,5	15,69	Coesivo/incoerente

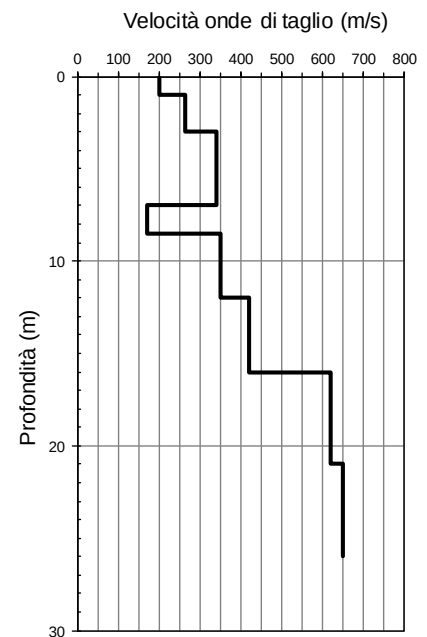
TERRENI COESIVI	Profondità base orizzonte (m)	Cu media (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico Eed (Kg/cm ²)	Modulo di Young (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Classificazione A.G.I. (1977)
/	1,4	1,13	172,02	166,90	2,08	2,29	MOLTO CONSISTENTE
Orizzonte 1	3,6	0,21	36,06	33,60	1,66	1,86	POCO CONSISTENTE
Orizzonte 2	5	0,47	78,19	74,90	1,88	1,90	MODERAT. CONSISTENTE
Orizzonte 3	6,4	1,06	161,82	156,90	2,07	2,28	MOLTO CONSISTENTE

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Modulo di Young (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico Eed (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Modulo di deformazione a taglio G (Kg/cm ²)
/	1,4	133,52	112,44	1,92	1,96	697,96
Orizzonte 1	3,6	26,88	52,99	1,47	1,88	262,12
Orizzonte 2	5	59,92	71,41	1,64	1,90	427,78
Orizzonte 3	6,4	125,52	107,98	1,90	1,95	672,10

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo di Poisson	Classificazione A.G.I. (1977)
/	1,4	45,98	31,77	0,32	MODERATAMENTE ADDENSATO
Orizzonte 1	3,6	16,33	27,96	0,35	SCIOLTO
Orizzonte 2	5	27,17	29,14	0,34	POCO ADDENSATO
Orizzonte 3	6,4	44,25	31,48	0,32	MODERATAMENTE ADDENSATO

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Vs (m/sec)
silt sabbioso	1	16,3	200
silt sabbioso	2	16,3	265
Limo sabbioso	4	18,4	340
silt IP 15 30	1,5	16,2	170
argilla sabbiosa	3,5	20,6	350
argilla sabbiosa	4	21,6	420
argilla IP 15	5	22,0	620
argilla IP 30	5	22,3	650
bedrock		22,6	700



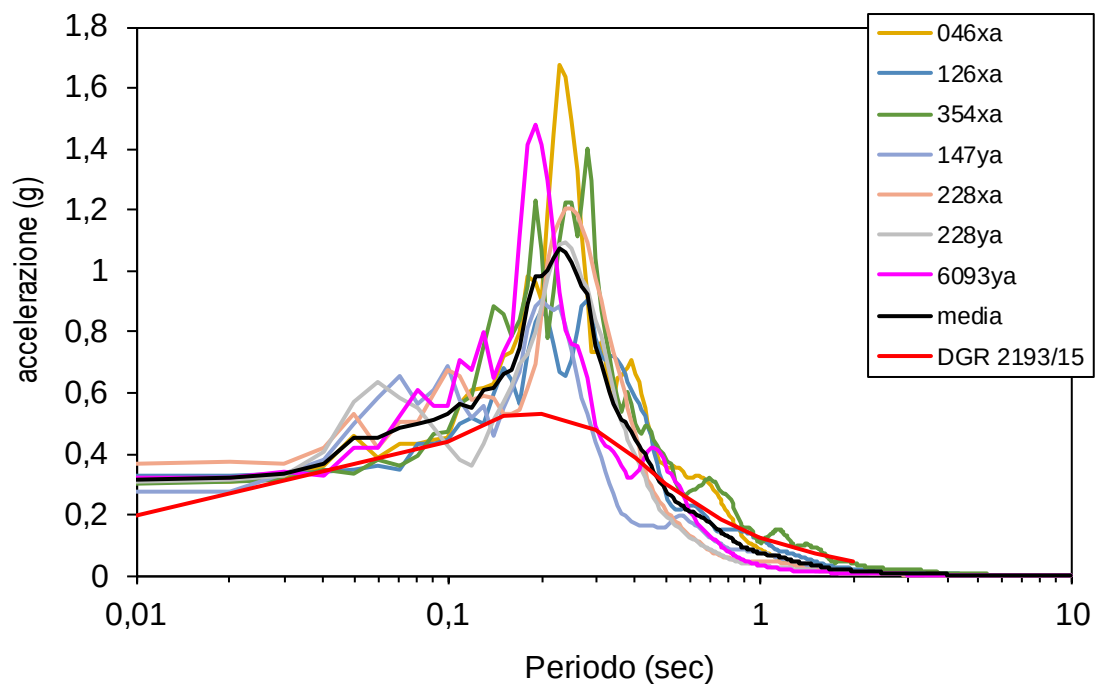
Il modello è stato costruito utilizzando prevalentemente le prove sismiche presenti nell'area (MASW, HV e sismica a rifrazione), ma anche la DPSH appositamente eseguita e le altre prove presenti in banca dati.

In base al modello così costruito i terreni sono il bedrock è costituito da un suolo non rigido ($v_s < 800$ m/s) posto a 26 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.

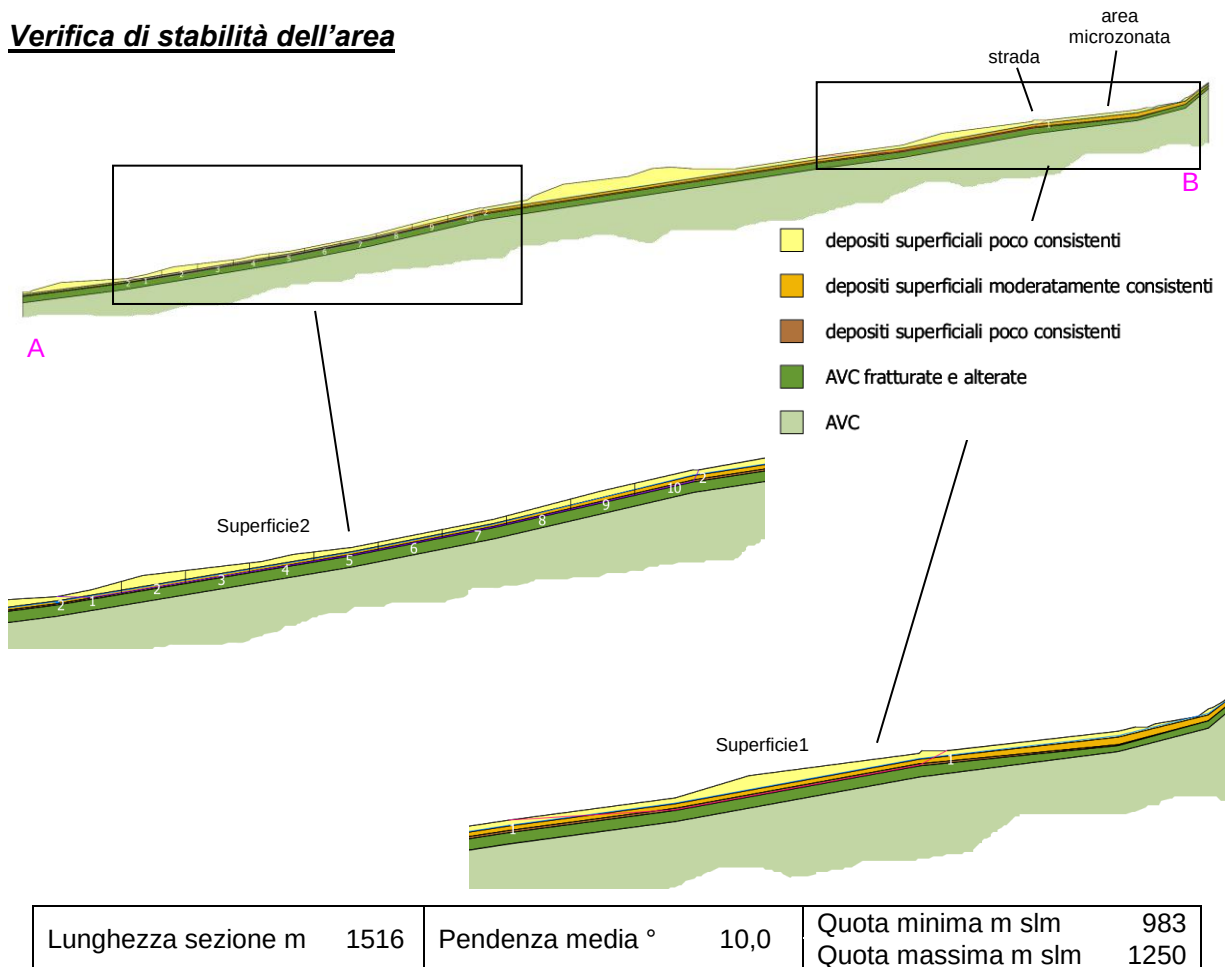
	000046xa	000126xa	000354xa	000147ya	006093ya	000228xa	000228ya	Valore medio
P,G,A, (g)	0,307	0,328	0,305	0,273	0,318	0,37	0,309	0,316
F.A. P,G,A,	1,53	1,64	1,53	1,37	1,59	1,85	1,55	1,58
FA SI/SI ₀ (0,1s<T ₀ ≤0,5s)	1,8	1,65	1,75	1,79	1,7	1,9	1,98	1,78
FA SI/SI ₀ (0,5s<T ₀ ≤1,0s)	1,25	1,15	1,16	1,15	1,39	1,45	1,53	1,24

Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000228ya, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo B.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.



Verifica di stabilità dell'area



La verifica di stabilità è stata effettuata lungo la traccia di sezione riportata in precedenza.

La sezione A-B risulta "specchiata" rispetto alla traccia di sezione (zona a valle a sinistra invece che a destra). Questo è dovuto al fatto che il software utilizzato ammette solo profili crescenti da sinistra a destra e non viceversa. Al di sotto dei corpi franosi, in base alla carta geologica (1:10.000 CARG-RER) viene ipotizzata la presenza della Formazione affiorante nelle immediate vicinanze, ovvero le Argilliti variegiate con calcari (AVC).

Nelle zone poste a quote più elevate dell'area microzonata in passato sono stati effettuati interventi di risistemazione con messa in opera di una serie di drenaggi. A lato della strada (confine zona microzonata) sono stati messi in opera 2 inclinometri. Durante l'esecuzione della prova DPSH, effettuata in un periodo con scarse precipitazioni atmosferiche (luglio 2017), nel pozzetto in cui confluiscono i drenaggi, situato a valle della strada all'interno del corpo di frana, non venivano recapitate acque. Durante l'esecuzione della prova DPSH non è stata rinvenuta la presenza di una falda (foro di sondaggio chiuso, ultime aste del penetrometro umide ma non bagnate).

Dal momento che, in base alle evidenze (presenza di drenaggi) una falda deve essere presente nei periodi più piovosi, le verifiche sono state condotte sia nelle condizioni misurate (assenza di falda) sia ipotizzando una falda alla profondità di circa 3.5 m dal piano di campagna (profondità di captazione dei drenaggi a monte)

Sia nella prova penetrometrica che nella misurazione MASW è stata individuata la presenza di un orizzonte di terreno abbastanza superficiale con basse velocità delle onde di taglio e scarse capacità meccaniche. Nella MASW realizzata a valle della strada questo orizzonte è presente alla profondità di

7-8 metri (036016L16MASW16), più a monte le profondità si riducono.

Le superfici di rottura utilizzate sono situate:

- Nel settore di pendio più a monte (all'interno dell'area microzonata) a partire dal piazzale, zona in cui vi è una maggior pendenza e con la presenza di lesioni da movimento nella superficie asfaltata (superficie1);
- a valle rispetto all'area microzonata, in corrispondenza della zona con la più elevata pendenza del versante, per valutare le condizioni di stabilità complessive (superficie2).

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il metodo di Janbu. Le condizioni di verifica sono quelle di un'area instabile con presenza di una frana attiva, per cui la verifica è stata condotta sia in condizioni non drenate (sismiche) che in condizioni residue.

Risultati delle verifiche

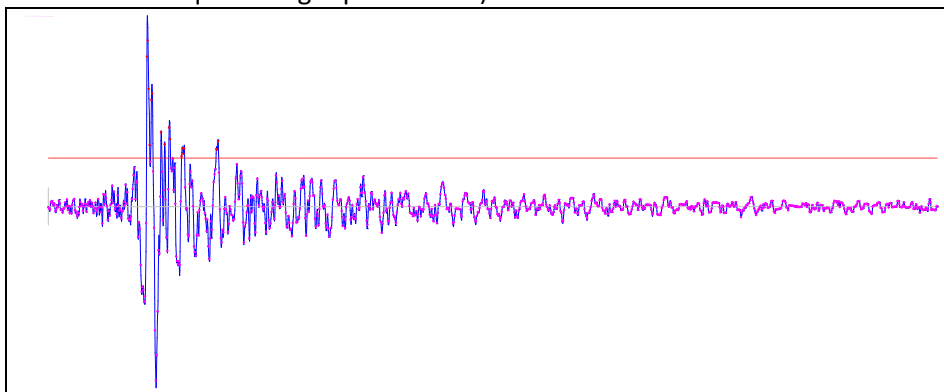
Superficie di calcolo	Fattore di Sicurezza FS	
	cu (condizioni sismiche)	CD (condizioni residue)
Superficie 1	1.02	1.52
Sup. 1 (con falda)		1.21
Superficie 2	1.22	1.43
Sup. 2 (con falda)		1.21

L'instabilità riportata per l'area risulta confermata dalla verifica di stabilità. Nella zona a monte, microzonata (superficie 1) i risultati delle verifiche in condizioni sismiche sono prossimi al limite di equilibrio (FS appena superiore a 1), in condizioni residue con le condizioni misurate al momento delle prove (assenza di falda) i valori risultano ampiamente sufficienti.

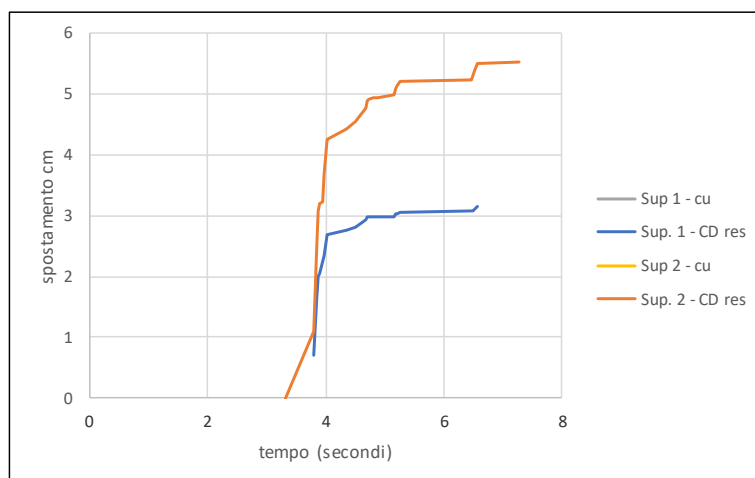
Tuttavia ipotizzando la presenza di una falda, anche nelle verifiche in condizioni residue il fattore di sicurezza si abbassa notevolmente, arrivando a valori prossimi a 1,2 valore normalmente considerato come "soglia" per le condizioni di stabilità dell'area.

Calcolo degli spostamenti

Il calcolo degli spostamenti è stato effettuato per le due superfici, sia in condizioni cu (non drenate) sia in condizioni CD residue. Per la verifica è stato utilizzato l'accelerogramma 00228xa, che nelle verifiche della RSL ha provocato le accelerazioni di maggiore intensità ($a_{max} = 0.376g$). Vengono riportati i diagrammi per la superficie1, microzonata. In rosso l'accelerazione critica (per l'innesco del movimento e quindi degli spostamenti).



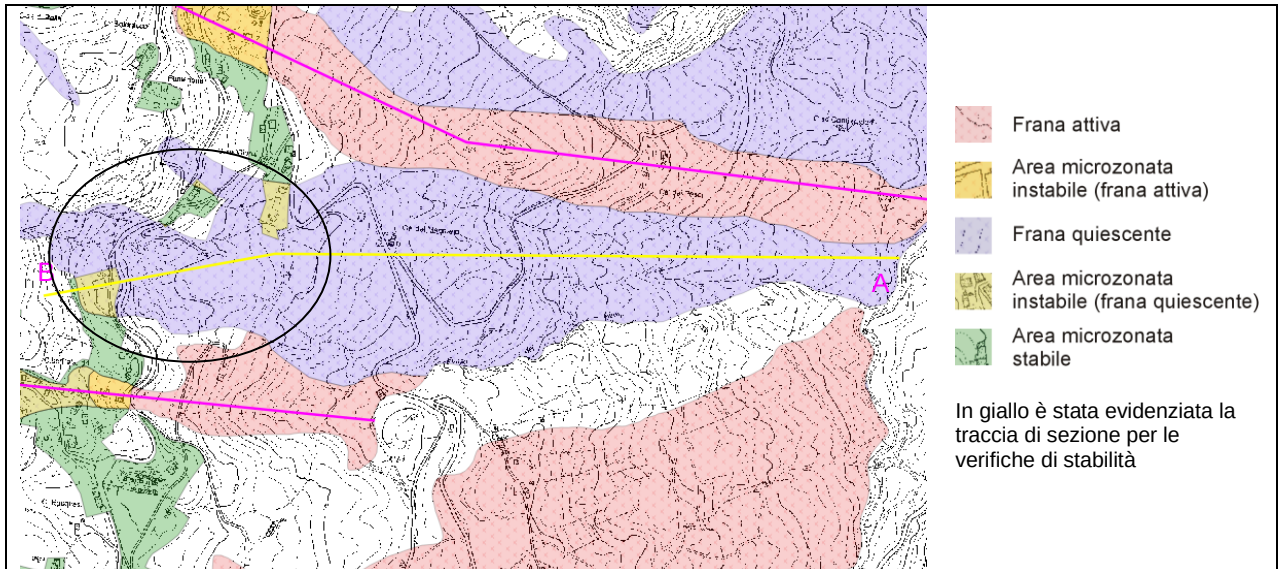
Superficie1, verifica
CD residue



condizioni	Spostamento superficie1 frana attiva cm	Spostamento Superficie2 frana attiva cm
CD res	3.2	5.5
Cu	0	0

Gli spostamenti sono presenti (viene raggiunta e superata l'accelerazione critica) in condizioni residue, ma non risultano particolarmente rilevanti.

7.3.3 Piandelagotti località Cà de Giorgi



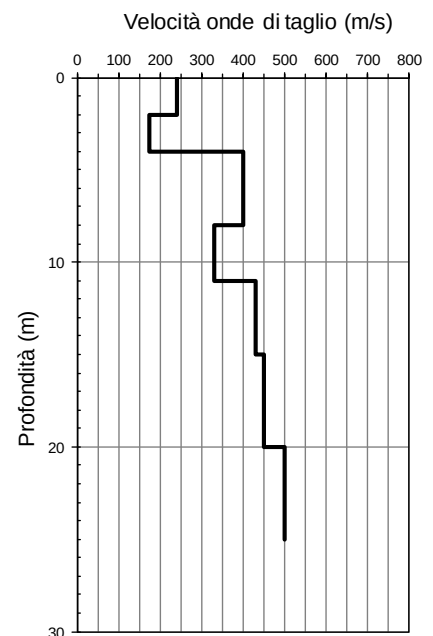
In quest'area sono presenti 3 settori microzonati, all'interno di una frana quiescente di notevoli dimensioni.

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Vs (m/sec)
silt IP 15 30	1,5	17,6	159
silt sabbioso	2,3	18,6	221
limi sabbiosi	5,4	20,6	347
argilla sabbiosa	7,6	21,1	453
bedrock		22,6	686

Il modello è stato costruito utilizzando prevalentemente le prove sismiche, proprie e di letteratura presenti nell'area (MASW e HV) e la prova penetrometrica presente in banca dati.

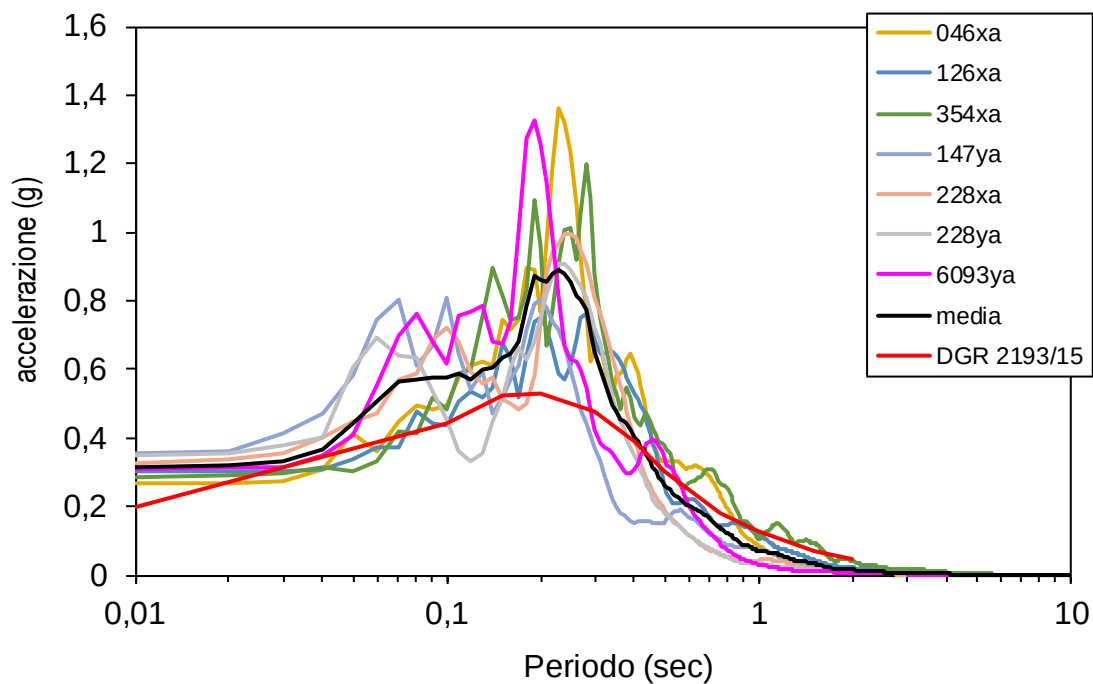
In base al modello così costruito i terreni sono il bedrock è costituito da un suolo non rigido ($v_s < 800$ m/s) posto a 16.8 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.



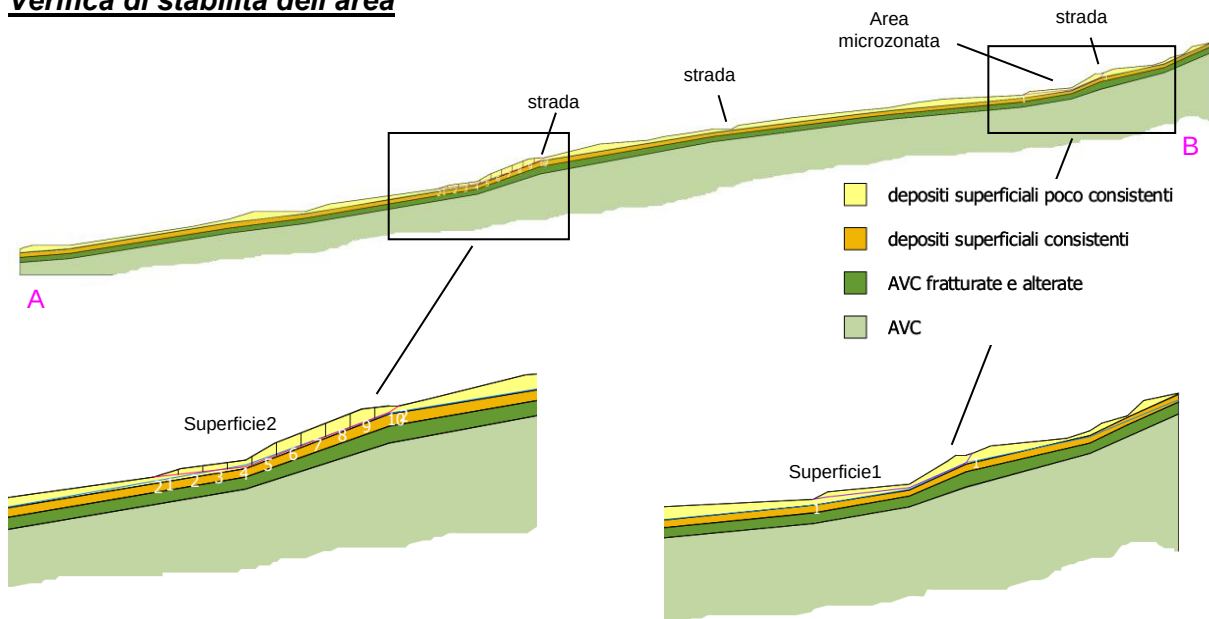
	000046xa	000126xa	000354xa	000147ya	006093ya	000228xa	000228ya	Valore medio
P,G,A, (g)	0,267	0,301	0,288	0,355	0,31	0,327	0,35	0,314
F.A. P,G,A,	1,33	1,51	1,44	1,77	1,55	1,63	1,75	1,57
FA SI/SI ₀ (0,1s<T ₀ ≤0,5s)	1,59	1,48	1,56	1,59	1,54	1,63	1,72	1,58
FA SI/SI ₀ (0,5s<T ₀ ≤1,0s)	1,2	1,13	1,14	1,13	1,32	1,31	1,42	1,19

Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000147ya, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo B.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.



Verifica di stabilità dell'area



Lunghezza sezione m	1590	Pendenza media °	9,8	Quota minima m slm	995
				Quota massima m slm	1270

La verifica di stabilità è stata effettuata lungo la traccia di sezione riportata in precedenza.

La sezione A-B risulta "specchiata" rispetto alla traccia di sezione (zona a valle a sinistra invece che a destra). Questo è dovuto al fatto che il software utilizzato ammette solo profili crescenti da sinistra a destra e non viceversa. Al di sotto dei corpi franosi, in base alla carta geologica (1:10.000 CARG-RER) viene ipotizzata la presenza della Formazione affiorante nelle immediate vicinanze, ovvero le Argilliti variegata con calcari (AVC).

La profondità della falda è stata inserita in base alla prova DPSH presenti in banca dati (036016P75DS75).

In base alle prove sismiche non vengono evidenziate inversioni (che possono indicare superfici di rottura attive) e le vs risultano progressivamente crescenti con la profondità. L'orizzonte che presenta le più basse capacità di resistenza meccanica è il primo, quello più superficiale, con profondità comprese tra 3 e 5 metri dal piano di campagna.

Le superfici di rottura utilizzate sono situate:

- Nel settore di pendio più a monte (all'interno dell'area microzonata, zona in cui vi è una maggior pendenza (superficie1);
- a valle rispetto all'area microzonata, in corrispondenza della zona con la più elevata pendenza del versante, per valutare le condizioni di stabilità complessive (superficie2).

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il metodo di Janbu. Le condizioni di verifica sono quelle di un'area instabile con presenza di una frana quiescente, per cui la verifica è stata condotta sia in condizioni consolidate e drenate (considerando la frana stabilizzata), sia in condizioni drenate (sismiche) che in condizioni residue.

Risultati delle verifiche

Superficie di calcolo	Fattore di Sicurezza FS		
	CD	cu (condizioni sismiche)	CD (condizioni residue)
Superficie 1	2.09	2.39	1.41
Superficie 2	1.79	1.15	1.07

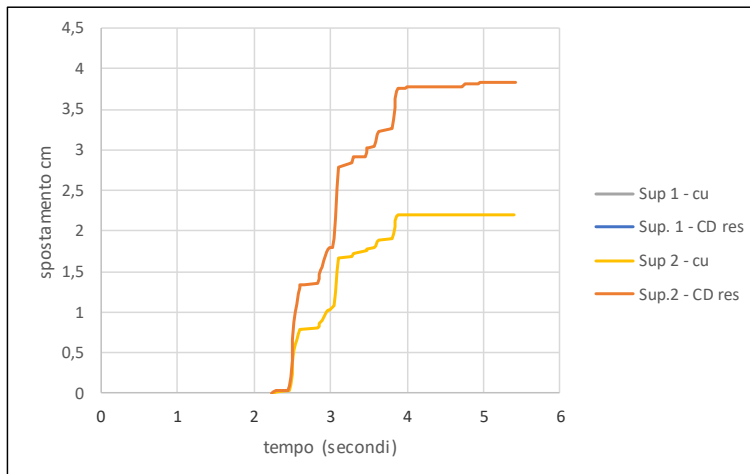
Per l'area microzonata (superficie 1) le verifiche hanno ottenuto coefficienti di sicurezza che indicano sostanziali condizioni di stabilità.

Per l'area a valle, ben al di fuori dei confini dell'area microzonata (a valle della strada tra Cà del Magnano e Cà dei Pesci) con i parametri geotecnici utilizzati (ricavati dalla zona più a monte) le condizioni di stabilità non risulterebbero sufficienti né in condizioni sismiche né in condizioni residue ($FS < 1.2$)

Calcolo degli spostamenti

Il calcolo degli spostamenti è stato effettuato per le due superfici, sia in condizioni cu (non drenate) sia in condizioni CD residue. Per la verifica è stato utilizzato l'accelerogramma 00147ya, che nell'analisi della RSL ha evidenziato le accelerazioni di maggiore intensità ($a_{max} = 0.355g$).

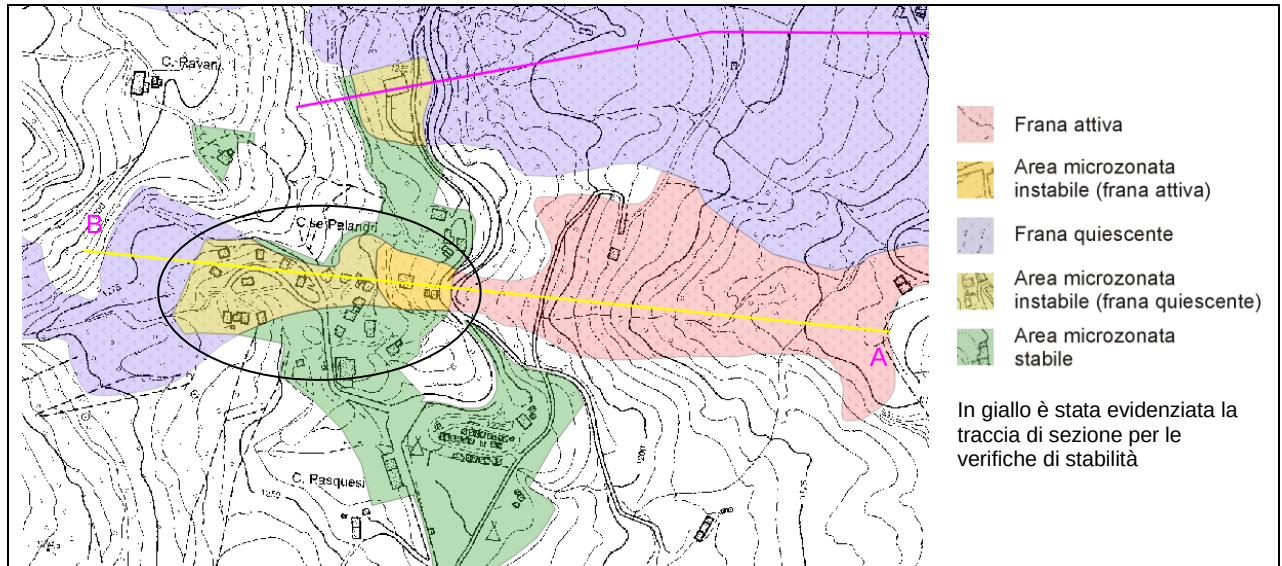
Per la superficie1, microzonata, le accelerazioni sono risultate inferiori a quella critica, per cui non sono stati calcolati spostamenti.



condizioni	Spostamento superficie1 quiescente cm	Spostamento Superficie2 quiescente cm
CD res	0	3.8
Cu	0	2.2

Gli spostamenti sono presenti (viene raggiunta e superata l'accelerazione critica) solo per la superficie 2, a valle dell'area microzonata, ma non risultano particolarmente rilevanti.

7.3.4 Piandelagotti località Case Palandri



Parte dell'area instabile microzonata (settore a monte) è all'interno di una frana quiescente, parte (settore a valle) viene cartografato all'interno di una frana attiva.

Nell'area indicata come frana attiva, all'interno di una trincea di scavo (036016P110DS110), con una fustella è stato prelevato un campione di terreno su cui eseguire una serie di prove di laboratorio (campione P2, Allegato 2). Nella stessa area è stata appositamente effettuata una prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH con codice 036016P113DS113). I certificati di prova sono riportati in allegato, i risultati della prova di laboratorio e i valori ricavati dalla DPSH vengono riportati sinteticamente nel seguito.

Prova di laboratorio campione P2

Campione	P2	
profondità m	1.0-1.2	
Limi %	14.94	
Sabbie %	30.82	
Ghiaie %	69.18	
Limite Liquido wL %	n.d.	
Limite Plastico wP %	n.d.	
Indice di Plasticità (wL - wP) IP %	n.d.	
Peso di volume medio (3 provini) kg/m ³	1848	
Prova di compressione non confinata ($\approx$ cu) kg/cm ²	n.d.	
Coesione efficace c' kg/cm ²	0,299	Valori di picco
	0,006	Valori residui
Angolo di attrito interno Φ°	36.96 °	Valori di picco
	23.11 °	Valori residui

Prova penetrometrica dinamica DPSH 036016P113DS113

La prova è stata condotta all'interno di orizzonti detritici che presentano una duplice natura, sia coesiva che incoerente. Le relazioni utilizzate per ottenere i dati sono riportate nel seguito.

Per alcuni parametri (coesione non drenata e angolo di attrito interno) i risultati della prova di laboratorio hanno privilegiato la scelta della relazione di calcolo che permetteva di ottenere i valori più simili.

Per i terreni coesivi:

- la coesione non drenata (C_u) è stata ricavata utilizzando la correlazione di Terzaghi e Peck
- modulo edometrico (E_{ed}): Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner
- Modulo di Young: Apollonia
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Meyerhof

Per i terreni incoerenti:

- La densità relativa (%): Skempton 1986
- L'angolo di resistenza al taglio ($^\circ$): Meyerhof (1965) - Sabbie con > 5 % limo
- Modulo di Young: Schmertmann (1978)
- modulo edometrico (E_{ed}): Menzenbach e Malcev
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Terzaghi-Peck 1948-1967
- Modulo di Poisson: (A.G.I.)
- Modulo di deformazione a tagli dinamico Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)

DATI GENERALI	Profondità base orizzonte (m)	N° di colpi medio	Tensione efficace (Kg/cm^2)	Coeff. di correlaz. con N_{spt}	N_{spt}	Comp. Geotecnico
/	1	19,6	0,12	1,46	28,62	Incoerente-coesivo
Orizzonte 1	5,2	4,52	0,66	1,49	6,73	Incoerente-coesivo
Orizzonte 2	5,6	37,5	1,12	1,5	56,4	Incoerente-coesivo

TERRENI COESIVI	Profondità base orizzonte (m)	C_u media (Kg/cm^2)	Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm^2)	Modulo di Young (Kg/cm^2)	Peso unità di volume (t/m^3)	Peso unità di volume saturo (t/m^3)	Classificazione A.G.I. (1977)
/	1	1,93	293,70	286,20	2,14	2,33	MOLTO CONSISTENTE
Orizzonte 1	5,2	0,42	70,43	67,30	1,85	1,89	MODERAT. CONSISTENTE
Orizzonte 2	5,6	3,81	577,04	564,00	2,50	2,50	ESTREM. CONSISTENTE

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Modulo di Young (Kg/cm^2)	Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm^2)	Peso unità di volume (t/m^3)	Peso unità di volume saturo (t/m^3)	Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm^2)
/	1	228,96	165,65	2,12	2,03	970,37
Orizzonte 1	5,2	53,84	68,202	1,61	1,90	400,71
Orizzonte 2	5,6	451,20	289,54	2,27	2,16	1468,73

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio ($^\circ$)	Modulo di Poisson	Classificazione A.G.I. (1977)
/	1	62,07	35,14	0,3	MODERATAMENTE ADDENSATO
Orizzonte 1	5,2	25,3	27,22	0,34	POCO ADDENSATO
Orizzonte 2	5,6	86,21	36,54	0,24	MOLTO ADDENSATO



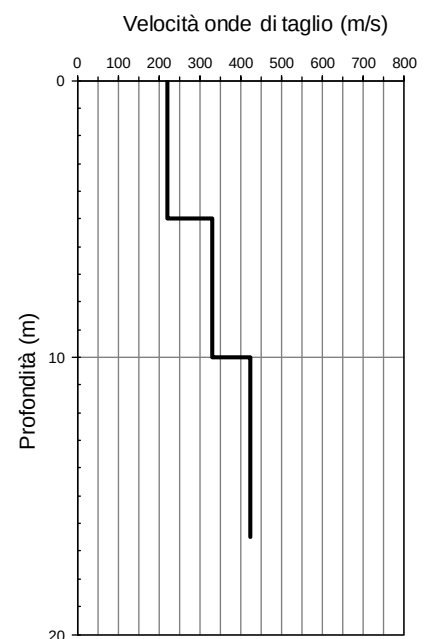
**Realizzazione della
prova penetrometrica
dinamica DPSH
036016P113DS113**

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Vs (m/sec)
sabbia ghiaiosa	5	18,5	220
silt sabbioso	5	19,2	330
silt sabbioso	6,5	20,5	425
bedrock		23,6	650

Il modello è stato costruito utilizzando prevalentemente le prove sismiche presenti nell'area (MASW, HV), ma anche la prova di laboratorio e la DPSH appositamente eseguite e le altre prove presenti in banca dati.

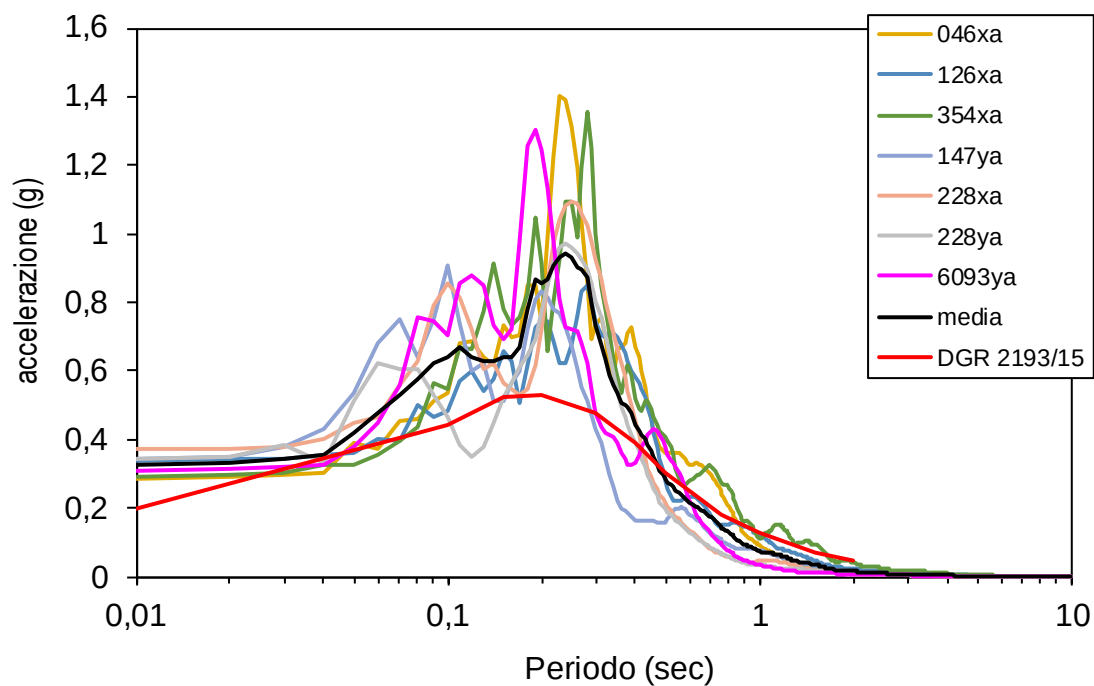
In base al modello così costruito il bedrock è costituito da un suolo non rigido ($v_s < 800$ m/s) posto a 16.5 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.



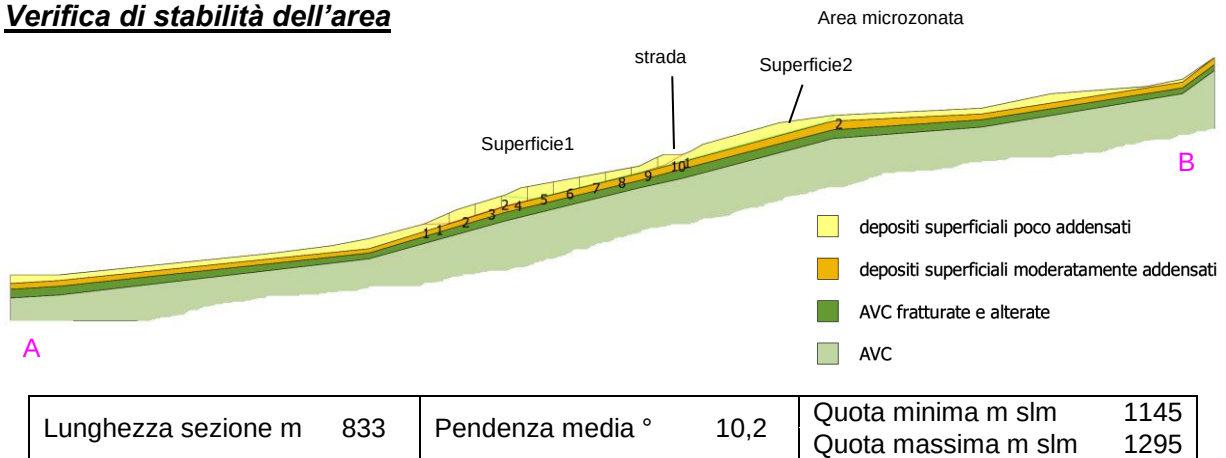
		000046xa	000126xa	000354xa	000147ya	006093ya	000228xa	000228ya	Valore medio
P,G,A, (g)		0,287	0,341	0,294	0,344	0,307	0,374	0,343	0,327
F.A. P,G,A,	1,43		1,7	1,46	1,71	1,53	1,86	1,71	1,63
FA SI/SI ₀ (0,1s<T ₀ ≤0,5s)	1,72		1,59	1,69	1,72	1,65	1,81	1,87	1,71
FA SI/SI ₀ (0,5s<T ₀ ≤1,0s)	1,26		1,17	1,18	1,17	1,39	1,43	1,53	1,25

Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000228xa, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo B.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.



Verifica di stabilità dell'area



La verifica di stabilità è stata effettuata lungo la traccia di sezione riportata in precedenza.

La sezione A-B risulta "specchiata" rispetto alla traccia di sezione (zona a valle a sinistra invece che a destra). Questo è dovuto al fatto che il software utilizzato ammette solo profili crescenti da sinistra a destra e non viceversa. Al di sotto dei corpi franosi, in base alla carta geologica (1:10.000 CARG-RER) viene ipotizzata la presenza della Formazione affiorante nelle immediate vicinanze, ovvero le Argilliti variegata con calcari (AVC).

Sia nel corso della prova DPSH effettuata (036016P113DS113) che in quelle presenti in banca dati non è stata rilevata la presenza di una falda.

In base alle prove sismiche non vengono evidenziate inversioni (che possono indicare superfici di rottura attive) e le v_s risultano progressivamente crescenti con la profondità. L'orizzonte che presenta le più basse capacità di resistenza meccanica è il primo, quello più superficiale, con profondità generalmente comprese tra 4 e 5 metri dal piano di campagna.

Le superfici di rottura utilizzate sono situate:

- Nel settore di pendio più a monte all'interno dell'area microzonata, zona in cui vi è una maggior pendenza (superficie2). La superficie ricade all'interno dell'area cartografata come frana attiva;
- A partire dal limite dell'area microzonata (strada) verso valle, in corrispondenza della zona con la più elevata pendenza del versante, per valutare le condizioni di stabilità complessive (superficie1).

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il metodo di Janbu. Le condizioni di verifica sono quelle di un'area instabile con presenza di una frana attiva, per cui la verifica è stata condotta sia in condizioni non drenate (sismiche) che in condizioni residue.

Risultati delle verifiche

Superficie di calcolo	Fattore di Sicurezza FS	
	cu (condizioni sismiche)	CD (condizioni residue)
Superficie 1	1,23	1.30
Superficie 2	1.28	1.47

Nella zona a monte (superficie 2, microzonata) i risultati delle verifiche sono accettabili, nella zona più

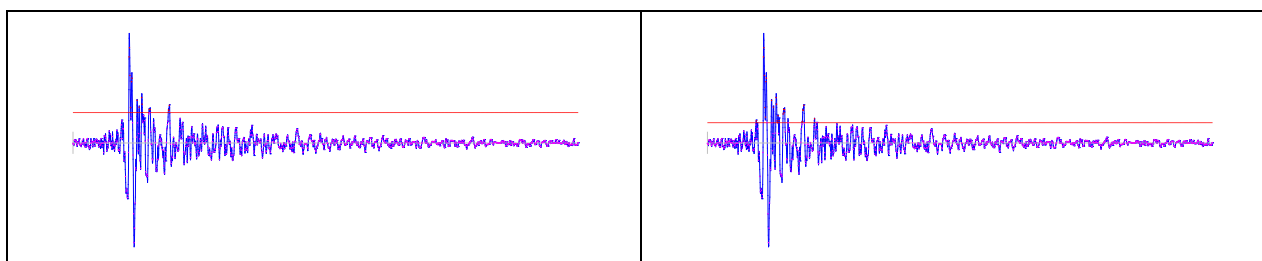
a valle i fattori di sicurezza sono superiori al valore soglia di 1.2, ma risultano molto vicini a questo valore.

Le verifiche sono state effettuate (come risulta dalle prove) in assenza di falda ed hanno fornito valori del fattore di sicurezza accettabili. In concomitanza di eventi meteorici intensi e prolungati, vista la natura detritica (e quindi permeabile) del sottosuolo, potrebbe essere presente una falda, che peggiorerebbe la situazione di stabilità complessiva.

Calcolo degli spostamenti

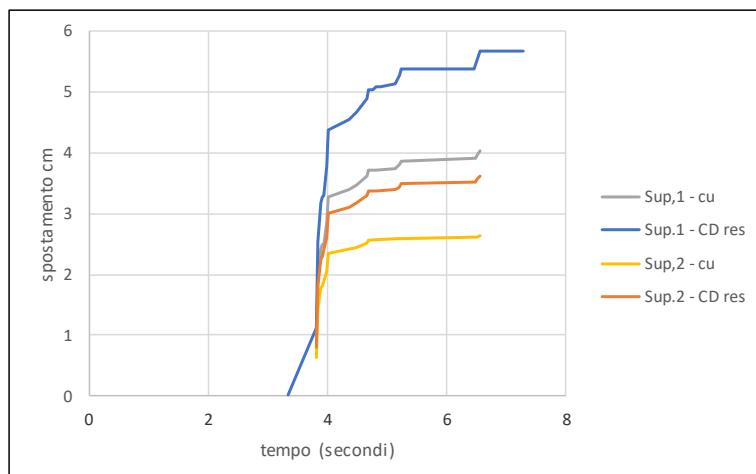
Il calcolo degli spostamenti è stato effettuato per le due superfici, sia in condizioni cu (non drenate) sia in condizioni CD residue.

Per la verifica è stato utilizzato l'accelerogramma 000228xa, che nell'analisi della RSL ha provocato le accelerazioni di maggiore intensità ($a_{max} = 0.374g$). Vengono riportati i diagrammi per la superficie2, microzonata. Lungo la superficie 1 (a valle) sono stati calcolati spostamenti analoghi, in alcuni casi leggermente superiori.



Superficie2, verifica cu

Superficie2, verifica CD residue



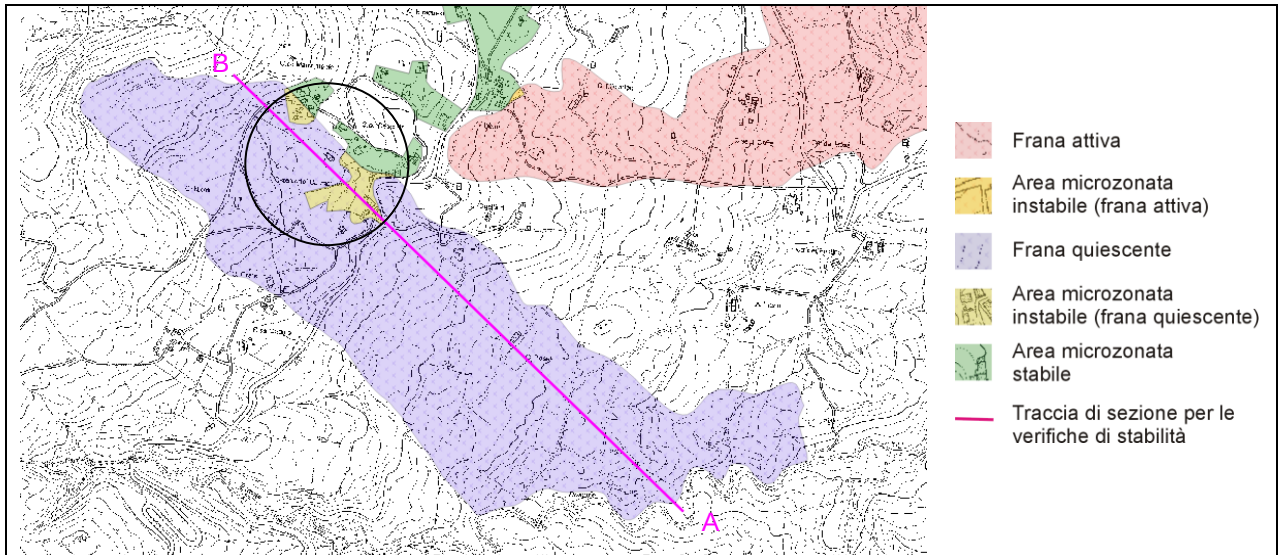
Rappresentazione dell'andamento degli spostamenti nel tempo (grafico a sinistra).

In basso: calcolo complessivo degli spostamenti, espressi in cm.
In giallo la superficie microzonata

condizioni	Spostamento superficie1 frana attiva cm	Spostamento Superficie2 frana attiva cm
CD res	5,7	3.6
Cu	4,0	2,6

Gli spostamenti calcolati sono presenti (viene raggiunta e superata l'accelerazione critica) ma non risultano particolarmente rilevanti.

7.3.5 Piandelagotti località Osteria del Cacciatore



L'area instabile microzonata è ubicata all'interno di una frana quiescente.

All'interno dell'area è stata appositamente effettuata una prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH con codice 036016P116DS116). I certificati di prova sono riportati in allegato, i risultati della prova di laboratorio e i valori ricavati dalla DPSH vengono riportati sinteticamente nel seguito.

Prova penetrometrica dinamica DPSH 036016P116DS116

La prova è stata condotta all'interno di orizzonti detritici che presentano una duplice natura, sia coesiva che incoerente. Le relazioni utilizzate per ottenere i dati sono riportate nel seguito.

Per alcuni parametri (coesione non drenata e angolo di attrito interno) i risultati della prova di laboratorio hanno privilegiato la scelta della relazione di calcolo che permetteva di ottenere i valori più simili.

Per i terreni coesivi:

- la coesione non drenata (C_u) è stata ricavata utilizzando la correlazione di Terzaghi e Peck
- modulo edometrico (E_{ed}): Trofimov (1974), Mitchell e Gardner
- Modulo di Young: Apollonia
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Meyerhof

Per i terreni incoerenti:

- La densità relativa (%): Skempton 1986
- L'angolo di resistenza al taglio ($^\circ$): Meyerhof (1956)
- Modulo di Young: Schmertmann (1978)
- modulo edometrico (E_{ed}): Menzenbach e Malcev
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Terzaghi-Peck 1948-1967
- Modulo di Poisson: (A.G.I.)
- Modulo di deformazione a tagli dinamico Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)

DATI GENERALI	Profondità base orizzonte (m)	N° di colpi medio	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Comp. Geotecnico
/	0,8	27	0,1	1,46	39,42	Incoerente-coesivo
Orizzonte 1	4	6,38	0,51	1,48	9,46	Incoerente-coesivo
Orizzonte 2	8,4	9,55	1,28	1,51	14,42	Incoerente-coesivo
Orizzonte 3	8,6	50	1,7	1,52	76	Incoerente

TERRENI COESIVI

TERRENI COESIVI	Profondità base orizzonte (m)	Cu media (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico Eed (Kg/cm ²)	Modulo di Young (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Classificazione A.G.I. (1977)
/	0,8	2,66	403,85	394,20	2,49	2,50	ESTREM. CONSISTENTE
Orizzonte 1	4	0,64	98,28	94,60	1,95	2,14	CONSISTENTE
Orizzonte 2	8,4	0,97	148,87	144,20	2,06	2,27	CONSISTENTE
Orizzonte 3	8,6						

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Modulo di Young (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico Eed (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm ²)
/	0,8	315,36	213,81	2,20	2,10	1180,03
Orizzonte 1	4	75,68	80,19	1,71	1,91	493,38
Orizzonte 2	8,4	115,36	102,31	1,86	1,95	638,32
Orizzonte 3	8,6					

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo di Poisson	Classificazione A.G.I. (1977)
/	0,8	71,9	31,26	0,28	ADDENSATO
Orizzonte 1	4	31,79	22,7	0,34	POCO ADDENSATO
Orizzonte 2	8,4	41,95	24,12	0,33	MODERATAMENTE ADDENSATO
Orizzonte 3	8,6				



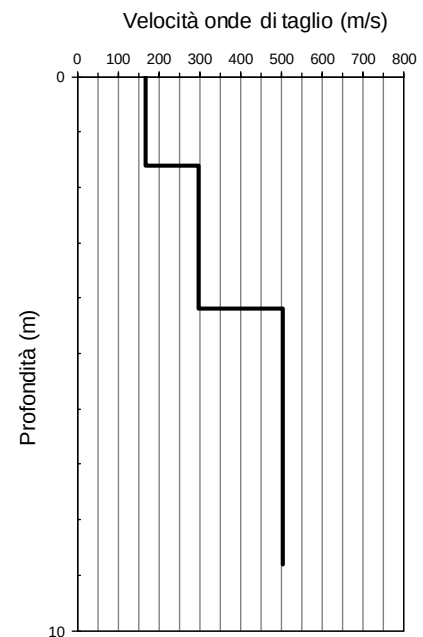
**Realizzazione della
prova penetrometrica
dinamica DPSH
036016P116DS116**

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Vs (m/sec)
Sabbia siltosa	1,6	19,1	167
silt sabbioso	2,6	19,1	298
Sabbia ghiaiosa	4,6	20,2	506
bedrock		22,3	800

Il modello è stato costruito utilizzando prevalentemente le prove sismiche presenti nell'area (sismica a rifrazione, HVSR), ma anche la DPSH appositamente eseguita e le altre prove presenti in banca dati.

In base al modello il bedrock è costituito da un suolo rigido ($v_s > 800$ m/s) posto a 8.8 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.

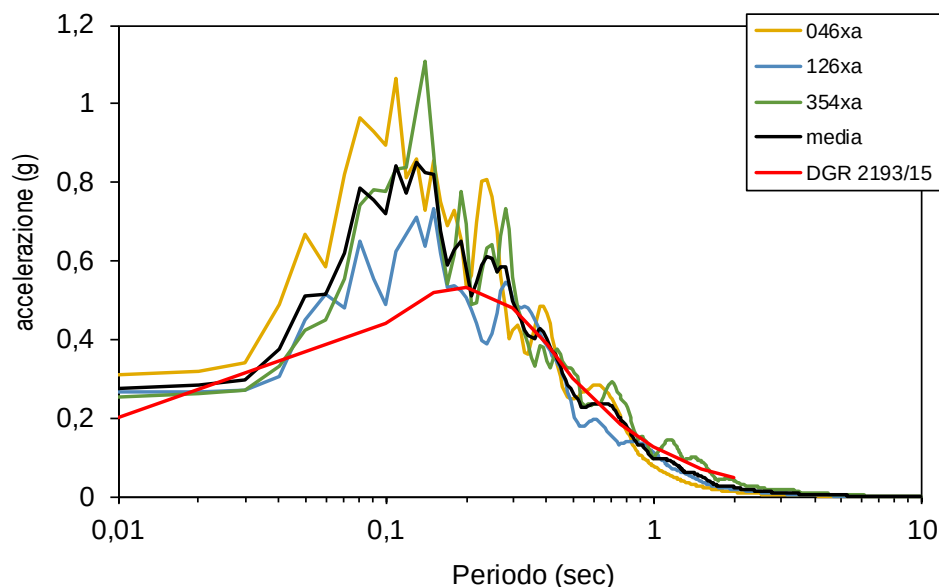


	000046xa	000126xa	000354xa	Valore medio
P,G,A, (g)	0,309	0,266	0,255	0,277
F.A. P,G,A,	1,53	1,32	1,26	1,37
FA SI/SI ₀ (0,1s<T ₀ ≤0,5s)	1,17	1,13	1,16	1,15
FA SI/SI ₀ (0,5s<T ₀ ≤1,0s)	1,03	1,02	1,02	1,02

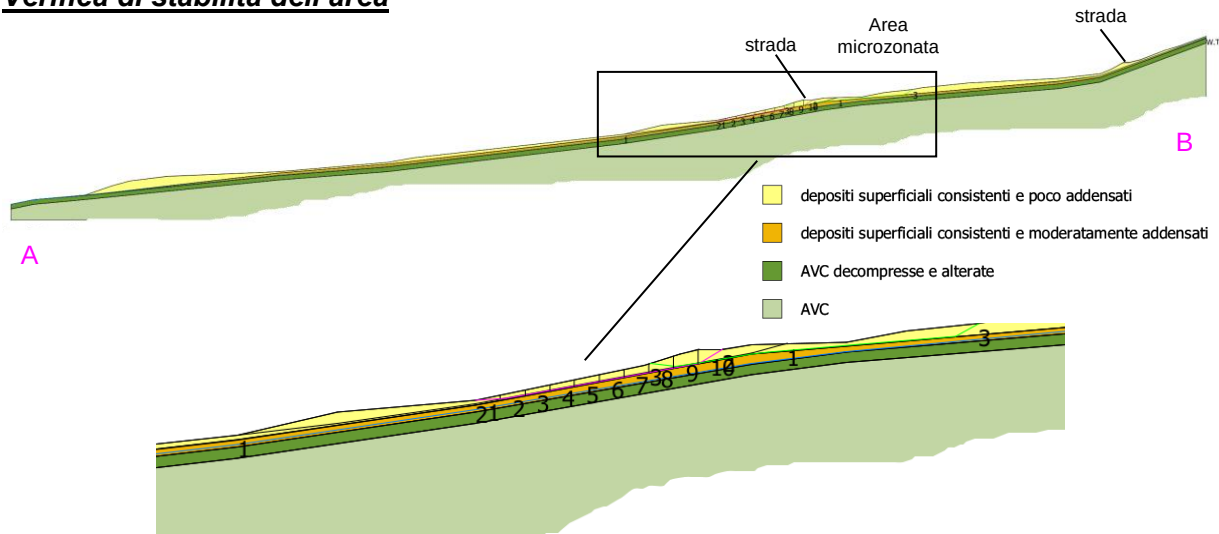
Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000046xa, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo A.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in

pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.



Verifica di stabilità dell'area



La verifica di stabilità è stata effettuata lungo la traccia di sezione riportata in precedenza.

La sezione A-B risulta "specchiata" rispetto alla traccia di sezione (zona a valle a sinistra invece che a destra). Questo è dovuto al fatto che il software utilizzato ammette solo profili crescenti da sinistra a destra e non viceversa. Al di sotto dei corpi franosi, in base alla carta geologica (1:10.000 CARG-RER) viene ipotizzata la presenza della Formazione affiorante nelle immediate vicinanze, ovvero le Argilliti variegata con calcari (AVC).

Nel corso della prova DPSH effettuata (036016P116DS116) la falda è stata rilevata a profondità elevate, in prossimità del fondo foro (8 m dal p.c.)

In base alle prove sismiche non vengono evidenziate inversioni e le velocità delle onde sismiche risultano progressivamente crescenti con la profondità.

L'orizzonte che presenta le più basse capacità di resistenza meccanica è il primo, quello più superficiale, con profondità generalmente comprese tra 2 e 4 metri dal piano di campagna.

Le superfici di rottura utilizzate sono situate:

- Nel settore di pendio più a monte all'interno dell'area microzonata, zona in cui vi è una maggior pendenza (superficie3);
- a partire dal limite dell'area microzonata (strada) verso valle, in corrispondenza della zona con la più elevata pendenza del versante, per valutare le condizioni di stabilità complessive (superfici 1 e 2).

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il metodo di Janbu. Le condizioni di verifica sono quelle di un'area instabile con presenza di una frana quiescente, per cui la verifica è stata condotta sia in condizioni consolidate e drenate (nell'ipotesi di considerare la frana come stabilizzata), sia in condizioni drenate (sismiche) che in condizioni residue.

Risultati delle verifiche

Superficie di calcolo	Fattore di Sicurezza FS		
	CD	cu (condizioni sismiche)	CD (condizioni residue)
Superficie 1	2.26	5.02	1.60
Superficie 2	1.90	4.42	1.35
Superficie 3	2.84	5.62	1.98

Sia per l'area microzonata (superficie 3) che per le due superfici a valle le verifiche hanno ottenuto coefficienti di sicurezza che indicano sostanziali condizioni di stabilità.

Il fattore di sicurezza più basso è stato calcolato per la superficie 2 (in rosso nella figura precedente), ubicata a valle della strada e molto superficiale.

Calcolo degli spostamenti

Il calcolo degli spostamenti è stato effettuato per le due superfici, sia in condizioni cu (non drenate) sia in condizioni CD residue.

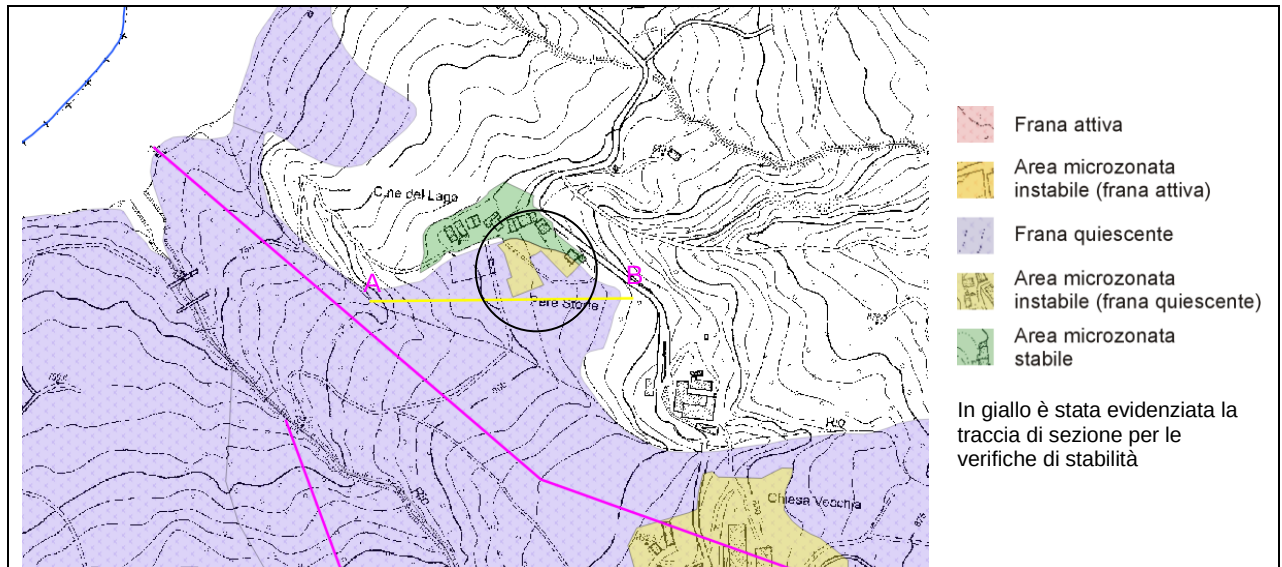
Per la verifica è stato utilizzato l'accelerogramma 000046xa, che nell'analisi della RSL ha provocato le accelerazioni di maggiore intensità ($a_{max} = 0.309g$).

Gli spostamenti non sono presenti per nessuna delle tre superfici individuate in precedenza, dal momento che non viene raggiunta e superata l'accelerazione critica.

condizioni	Spostamento superficie1 quiescente cm	Spostamento Superficie2 quiescente cm	Spostamento Superficie3 quiescente cm
CD res	0	0	0
Cu	0	0	0

7.4 Fontanaluccia

7.4.1 Fontanaluccia località Pere Storte



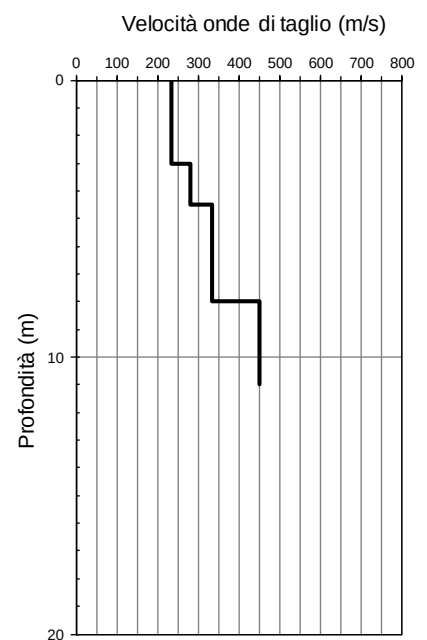
L'area instabile microzonata è ubicata all'interno di una frana quiescente di piccole dimensioni.

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Vs (m/sec)
silt sabbioso	3	18,5	235
silt sabbioso	1,5	19,0	280
silt sabbioso	3,5	19,5	335
sabbia argillosa	3	19,7	450
bedrock		23,0	800

Per realizzare il modello sono state interpolate le due MASW presenti in banca dati (036016L6MASW6 e 036016L7MASW7), integrando gli spessori degli orizzonti con le altre prove presenti in banca dati (HVSr e DPSH).

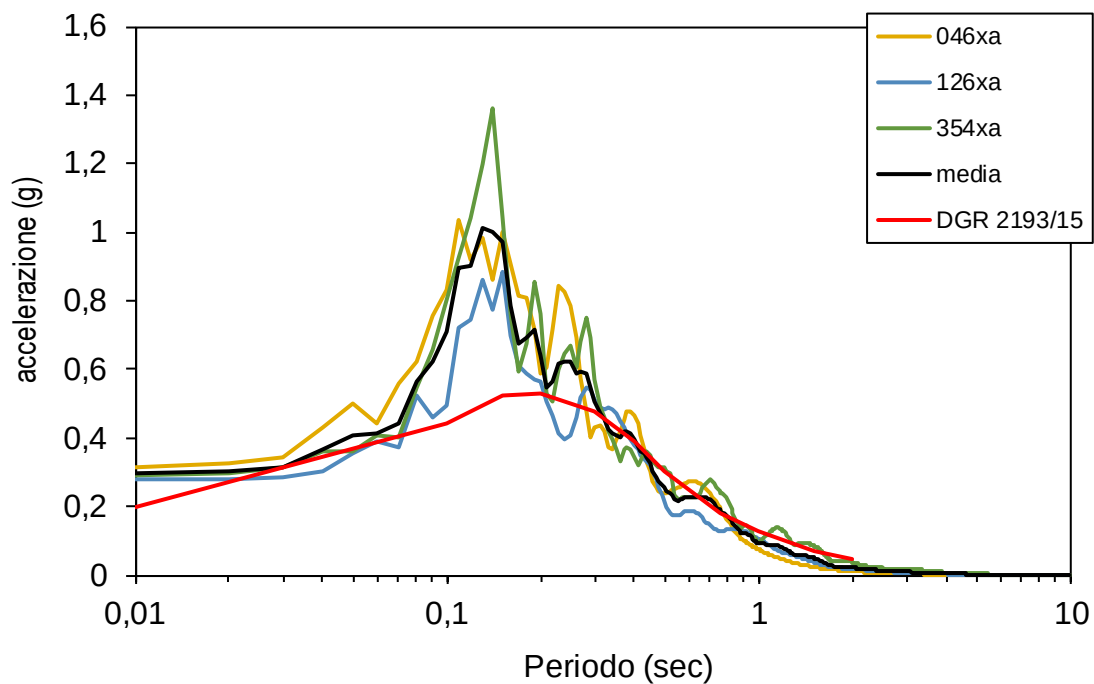
In base al modello il bedrock è costituito da un suolo rigido ($v_s > 800$ m/s) posto a 11 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.



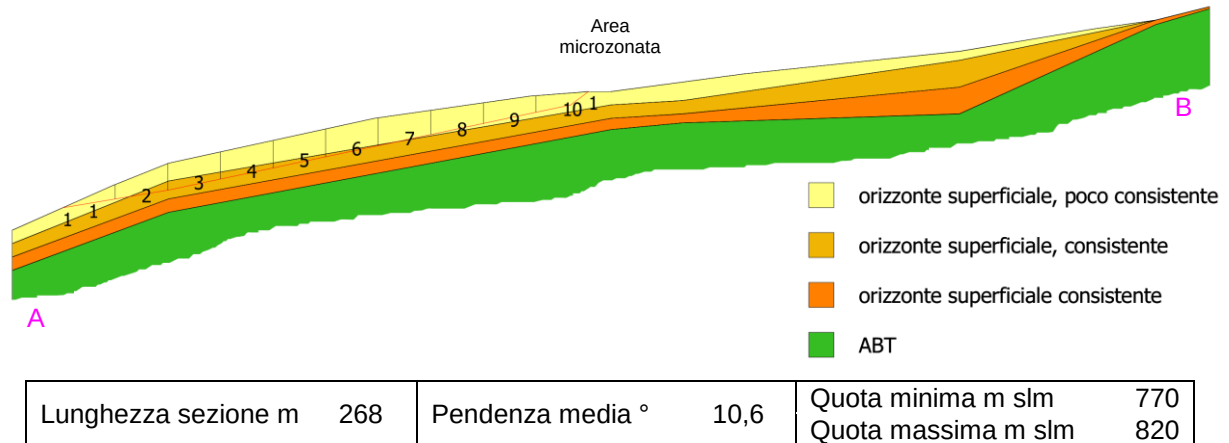
	000046xa	000126xa	000354xa	Valore medio
P,G,A, (g)	0,316	0,278	0,291	0,295
F.A. P,G,A,	1,66	1,46	1,52	1,55
FA SI/SI ₀ (0,1s<T ₀ ≤0,5s)	1,27	1,22	1,27	1,25
FA SI/SI ₀ (0,5s<T ₀ ≤1,0s)	1,04	1,03	1,03	1,04

Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000046xa, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo A.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.



Verifica di stabilità dell'area



La verifica di stabilità è stata effettuata lungo la traccia di sezione riportata in precedenza.

Al di sotto dei corpi franosi, in base alla carta geologica (1:10.000 CARG-RER) viene ipotizzata la presenza della Formazione affiorante nelle immediate vicinanze, ovvero il Flysch dell'Abetina Reale (ABT).

Nelle prove di letteratura, spinte sino a rifiuto strumentale, non è stata rilevata la presenza di una falda.

In base alle prove sismiche non vengono evidenziate inversioni e le velocità delle onde sismiche risultano progressivamente crescenti con la profondità.

L'orizzonte che presenta le più basse capacità di resistenza meccanica è il primo, quello più superficiale, con profondità generalmente comprese tra 2 e 4 metri dal piano di campagna.

La superficie di rottura utilizzata è situata nel settore di pendio a più elevata pendenza, tra la fine dell'area instabile microzonata e la scarpata dell'impiuvio.

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il metodo di Janbu. Le condizioni di verifica sono quelle di un'area instabile con presenza di una frana quiescente, per cui la verifica è stata condotta sia in condizioni consolidate e drenate (nell'ipotesi di considerare la frana come stabilizzata), sia in condizioni drenate (sismiche) che in condizioni residue.

Risultati delle verifiche

Superficie di calcolo	Fattore di Sicurezza FS		
	CD	cu (condizioni sismiche)	CD (condizioni residue)
Superficie 1	2.67	3.56	1.79

Il calcolo effettuato indica una condizione di sostanziale stabilità per l'area.

Le verifiche sono state effettuate (come risulta dalle prove in banca dati) in assenza di falda. In concomitanza di eventi meteorici intensi e prolungati, vista la natura detritica (e quindi permeabile) del sottosuolo, potrebbe essere presente una falda, che peggiorerebbe la situazione di stabilità complessiva.

Calcolo degli spostamenti

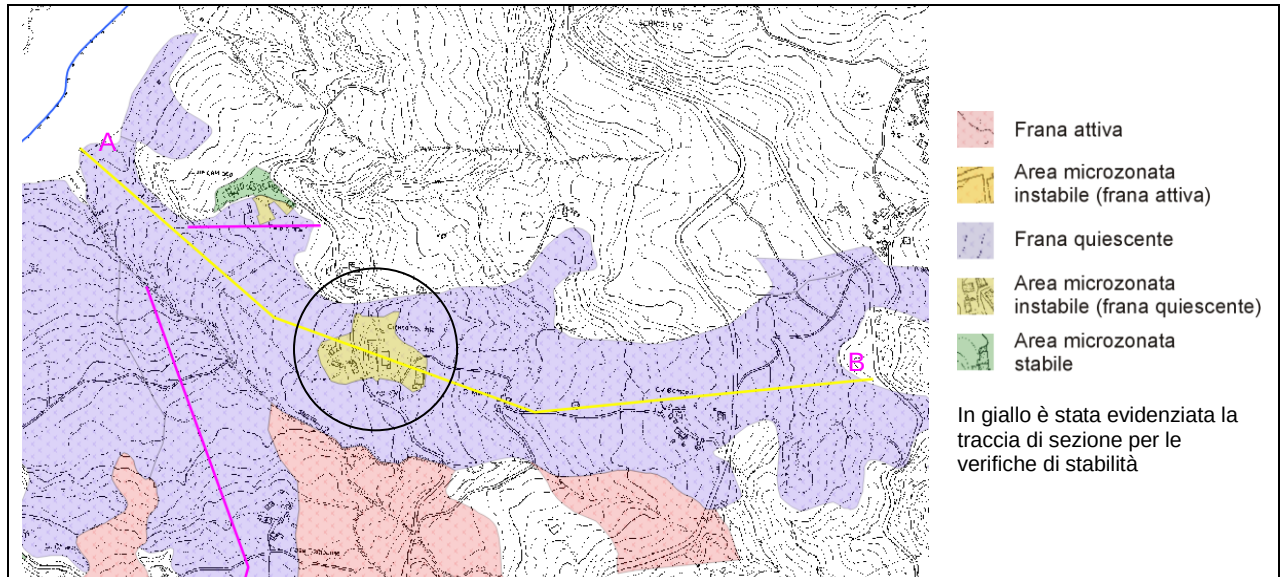
Il calcolo degli spostamenti è stato effettuato sia in condizioni cu (non drenate) sia in condizioni CD residue.

Per la verifica è stato utilizzato l'accelerogramma 000046xa, che nell'analisi della RSL ha provocato le accelerazioni di maggiore intensità ($a_{max} = 0.316g$).

E' stato calcolato uno spostamento minimo (inferiore al millimetro) solo in condizioni residue.

condizioni	Spostamento superficie1 quiescente cm
CD res	0.004
Cu	0

7.4.2 Fontanaluccia località Chiesa Vecchia



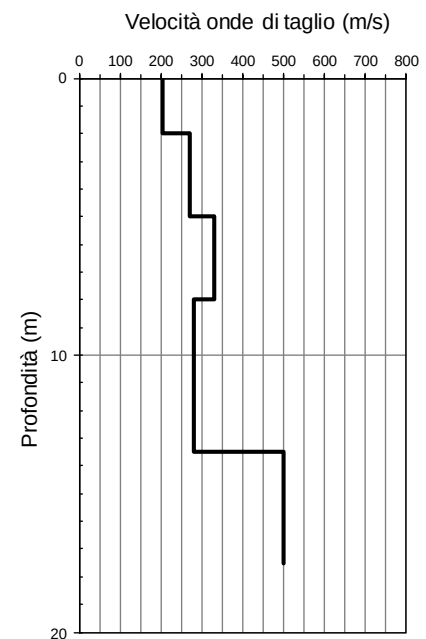
L'area microzonata è ubicata in zona instabile, all'interno di una frana quiescente.

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Vs (m/sec)
silt sabbioso	2	18,2	205
silt sabbioso	3	19,1	270
silt sabbioso	3	20,1	330
Sabbia argillosa	5,5	18,2	280
argilla sabbiosa	4	20,6	500
bedrock		21,6	550

Il modello è stato costruito utilizzando prevalentemente le prove sismiche presenti nell'area (MASW, HV).

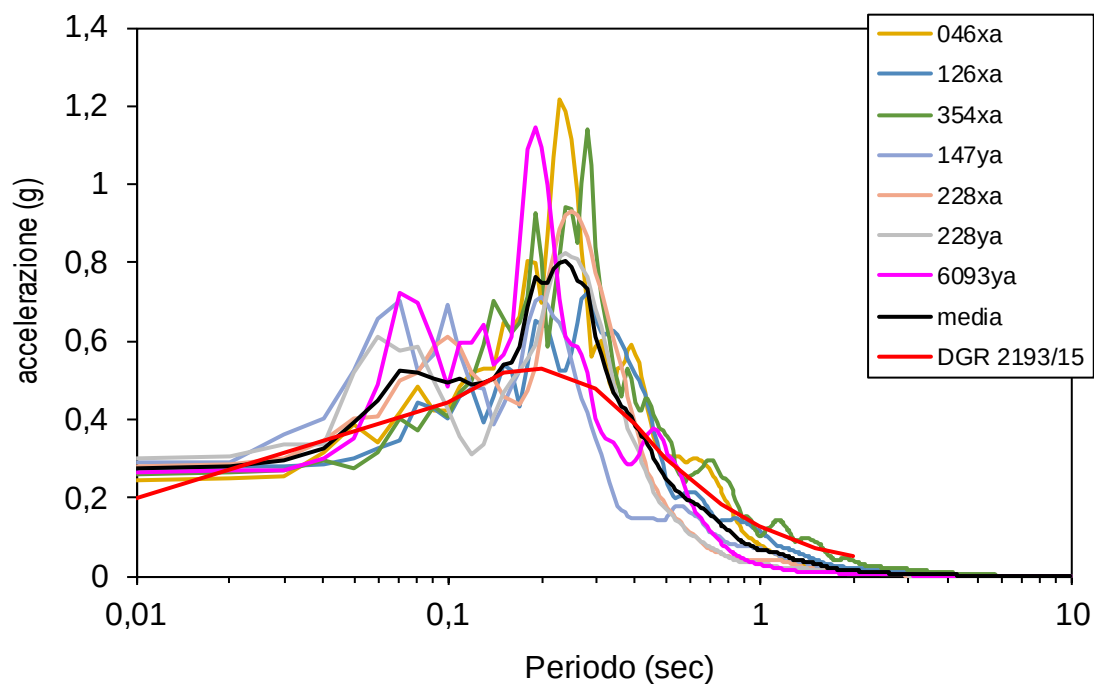
In base al modello il bedrock è costituito da un suolo non rigido ($v_s < 800$ m/s) posto a 17,5 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.



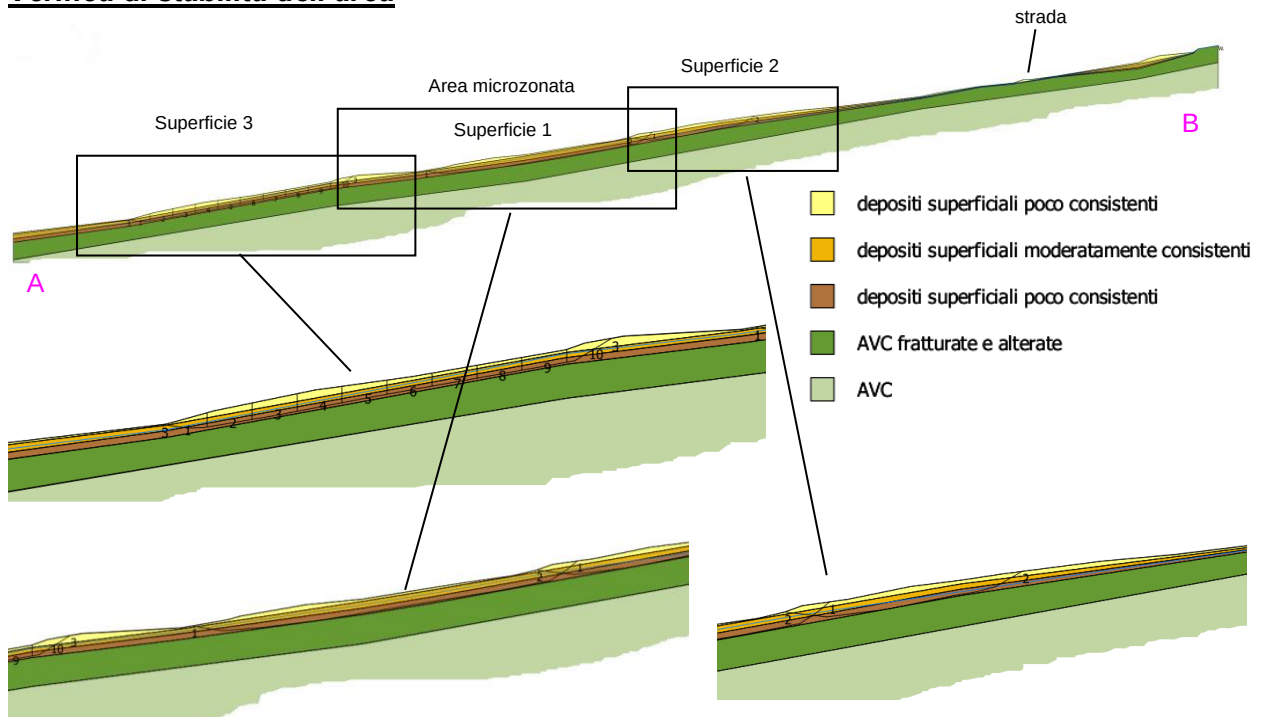
	000046xa	000126xa	000354xa	000147ya	006093ya	000228xa	000228ya	Valore medio
P,G,A, (g)	0,246	0,278	0,262	0,289	0,265	0,281	0,303	0,275
F.A. P,G,A,	1,29	1,46	1,37	1,52	1,39	1,47	1,59	1,44
FA SI/SI ₀ (0,1s<To≤0,5s)	1,51	1,46	1,53	1,52	1,47	1,61	1,68	1,53
FA SI/SI ₀ (0,5s<To≤1,0s)	1,17	1,14	1,14	1,13	1,31	1,31	1,4	1,19

Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000228ya, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo B.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.



Verifica di stabilità dell'area



Lunghezza sezione m	1775	Pendenza media °	8,8	Quota minima m slm	735
				Quota massima m slm	1010

La verifica di stabilità è stata effettuata lungo la traccia di sezione riportata in precedenza.

Al di sotto dei corpi franosi, in base alla carta geologica (1:10.000 CARG-RER) viene ipotizzata la presenza della Formazione affiorante nelle immediate vicinanze, ovvero le Argilliti variegiate con calcari (AVC).

In base alle prove sismiche all'interno dell'area microzonata è stata evidenziata una leggera inversione delle velocità delle onde sismiche a partire da 8 m dal piano di campagna.

Le superfici di rottura utilizzate sono state collocate a questa profondità:

- nel settore di pendio più a monte rispetto all'area microzonata (superficie 2);
- all'interno dell'area microzonata (superficie 1)
- a valle dell'area microzonata, in corrispondenza della zona con la più elevata pendenza del versante, per valutare le condizioni di stabilità complessive (superficie 3).

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il metodo di Janbu. Le condizioni di verifica sono quelle di un'area instabile con presenza di una frana quiescente, per cui la verifica è stata condotta sia in condizioni consolidate e drenate (nell'ipotesi di considerare la frana come stabilizzata), sia in condizioni drenate (sismiche) che in condizioni residue.

Risultati delle verifiche

Superficie di calcolo	Fattore di Sicurezza FS		
	CD	cu (condizioni sismiche)	CD (condizioni residue)
Superficie 1	2.15	2.09	1.42
Superficie 2	2.62	2.31	1.72
Superficie 3	2.11	2.17	1.39

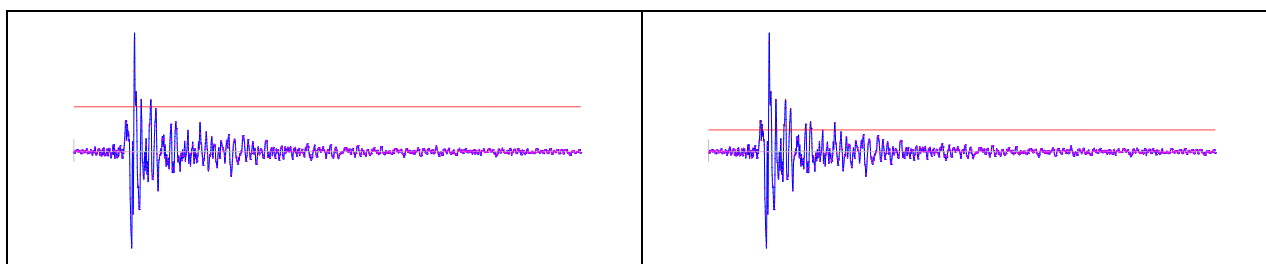
Sia per l'area microzonata (superficie 1) che per le altre due superfici le verifiche hanno ottenuto coefficienti di sicurezza che indicano sostanziali condizioni di stabilità.

Calcolo degli spostamenti

Il calcolo degli spostamenti è stato effettuato per le tre superfici, sia in condizioni cu (non drenate) sia in condizioni CD residue.

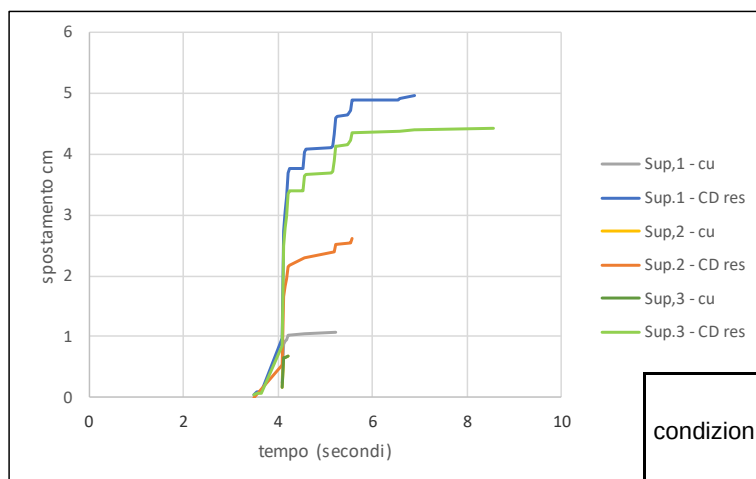
Per la verifica è stato utilizzato l'accelerogramma 000228ya, che nell'analisi della RSL ha provocato le accelerazioni di maggiore intensità ($a_{max} = 0.303g$).

Vengono riportati i diagrammi per la superficie1, microzonata. Lungo le altre superfici sono stati calcolati spostamenti analoghi.



Superficie2, verifica cu

Superficie2, verifica CD residue



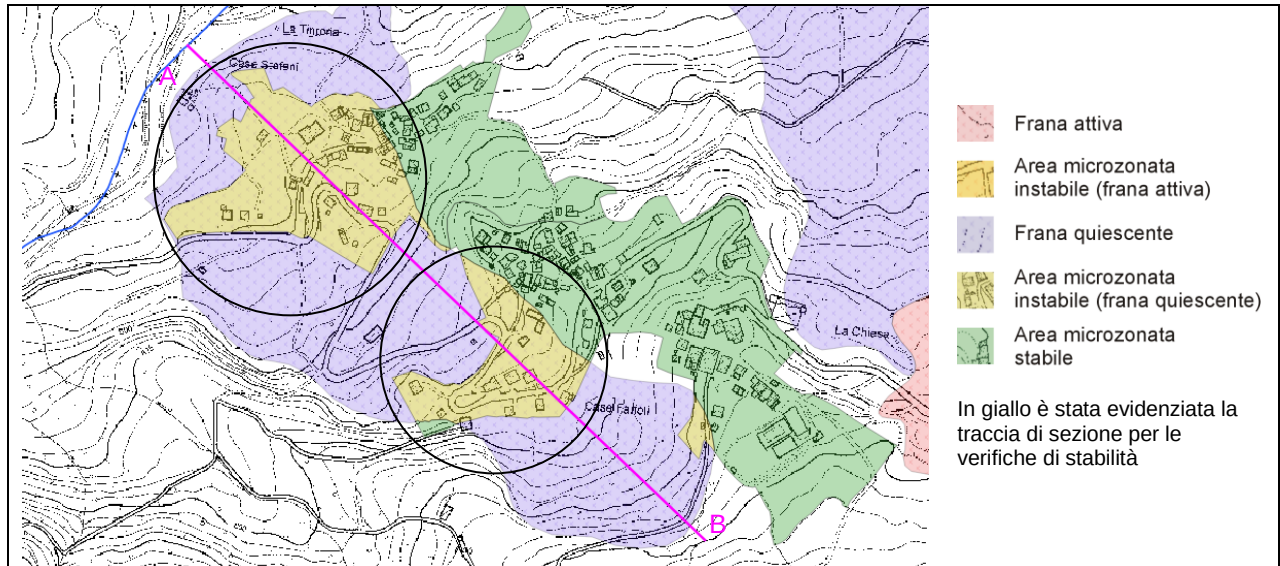
Rappresentazione dell'andamento degli spostamenti nel tempo (grafico a sinistra).

In basso: calcolo complessivo degli spostamenti, espressi in cm.
In giallo la superficie microzonata

condizioni	Spostamento superficie1 quiescente cm	Spostamento Superficie2 quiescente cm	Spostamento Superficie3 quiescente cm
CD res	5	2,6	4,4
Cu	1,1	0,69	0,69

Gli spostamenti calcolati sono presenti (viene raggiunta e superata l'accelerazione critica) ma non risultano particolarmente rilevanti.

7.4.3 Fontanaluccia località Case Farioli-Case Stefani



Due aree instabili microzonate sono situate all'interno della stessa frana quiescente. Le aree verranno successivamente denominate come Case Farioli (a monte) e Case Stefani (a valle).

Nella zona centrale del corpo di frana quiescente all'interno di una trincea di scavo (036016P108T108), utilizzando una fustella è stato prelevato un campione di terreno su cui eseguire una serie di prove di laboratorio (campione F2, Allegato 2). Nella stessa area è stata appositamente effettuata una prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH con codice 036016P114DS114). I certificati di prova sono riportati in allegato, i risultati della prova di laboratorio e i valori ricavati dalla DPSH vengono riportati sinteticamente nel seguito.

Prova di laboratorio F2

Campione	F2	
profondità m	0.95-1.25	
Limi %	52.5	
Sabbie %	24.21	
Ghiaie %	23.29	
Limite Liquido wL %	35	
Limite Plastico wP %	20	
Indice di Plasticità (wL - wP) IP %	15	
Peso di volume medio (3 provini) kg/m ³	1901	
Prova di compressione non confinata ($\approx$ cu) kg/cm ²	0,5	
Coesione efficace c' kg/cm ²	0,194	Valore di picco
	0,084	Valore residuo
Angolo di attrito interno Φ°	31.70 °	Valore di picco
	25.65 °	Valore residuo



**Realizzazione della
trincea di scavo per il
prelievo del campione
F2**

Prova penetrometrica dinamica DPSH 036016P114DS114

La prova è stata condotta all'interno di orizzonti detritici che presentano una duplice natura, sia coesiva che incoerente. Le relazioni utilizzate per ottenere i dati sono riportate nel seguito.

Per alcuni parametri (coesione non drenata e angolo di attrito interno) i risultati della prova di laboratorio hanno privilegiato la scelta della relazione di calcolo che permetteva di ottenere i valori più simili.

Per i terreni coesivi:

- la coesione non drenata (c_u) è stata ricavata utilizzando la correlazione di Sanglerat
- modulo edometrico (E_{ed}): Trofimov (1974), Mitchell e Gardner
- Modulo di Young: Apollonia
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Meyerhof

Per i terreni incoerenti:

- La densità relativa (%): Skempton 1986
- L'angolo di resistenza al taglio (ϕ): Meyerhof (1965)
- Modulo di Young: Schmertmann (1978)
- modulo edometrico (E_{ed}): Menzenbach e Malcev
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Terzaghi-Peck 1948-1967
- Modulo di Poisson: (A.G.I.)
- Modulo di deformazione a tagli dinamico Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)

DATI GENERALI	Profondità base orizzonte (m)	N° di colpi medio	Tensione efficace (Kg/cm^2)	Coeff. di correlaz. con N_{spt}	N_{spt}	Comp. Geotecnico
/	0,6	3,33	0,07	1,46	4,86	Incoerente - coesivo
Orizzonte 1	3,4	3,07	0,42	1,47	4,52	Incoerente - coesivo
Orizzonte 2	4,2	19,25	0,71	1,49	28,68	Incoerente - coesivo
Orizzonte 3	6,4	13,55	1,13	1,5	20,38	Incoerente - coesivo

TERRENI COESIVI	Profondità base orizzonte (m)	Cu media (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico Eed (Kg/cm ²)	Modulo di Young (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Classificazione A.G.I. (1977)
/	0,6	0,61	51,36	48,60	1,75	1,88	MODERAT. CONSISTENTE
Orizzonte 1	3,4	0,57	47,89	45,20	1,73	1,87	MODERAT. CONSISTENTE
Orizzonte 2	4,2	3,59	294,31	286,80	2,15	2,33	MOLTO CONSISTENTE
Orizzonte 3	6,4	2,55	209,66	203,80	2,10	2,10	MOLTO CONSISTENTE

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Modulo di Young (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico Eed (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Modulo di deformazione a taglio G (Kg/cm ²)
/	0,6	38,88	59,68	1,53	1,89	328,43
Orizzonte 1	3,4	36,16	58,16	1,52	1,88	314,20
Orizzonte 2	4,2	174,72	135,41	2,03	1,99	822,61
Orizzonte 3	6,4	163,04	128,89	2,00	1,98	788,56

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo di Poisson	Classificazione A.G.I. (1977)
/	0,6	20,46	31,61	0,34	POCO ADDENSATO
Orizzonte 1	3,4	19,54	31,47	0,34	POCO ADDENSATO
Orizzonte 2	4,2	53,86	37,61	0,31	MODERATAMENTE ADDENSATO
Orizzonte 3	6,4	51,79	37,18	0,31	MODERATAMENTE ADDENSATO



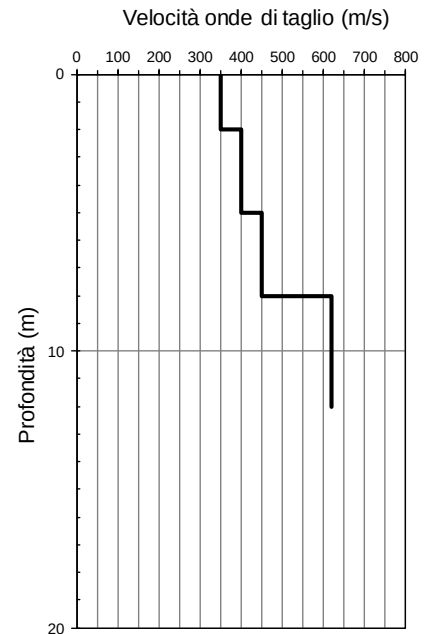
**Realizzazione della
prova penetrometrica
dinamica DPH
036016P114DS114**

Località Case Farioli

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Vs (m/sec)
silt sabbioso	2	18,7	350
silt sabbioso	3	21,0	400
Sabbia siltosa	3	20,6	450
argilla sabbiosa	4	20,6	620
bedrock		22,6	800

Il modello è stato costruito utilizzando prevalentemente le prove sismiche presenti nell'area (MASW, HV). Sono state utilizzate anche la prova di laboratorio, la DPSH appositamente eseguita e le altre prove presenti in banca dati. In base al modello così costruito i terreni sono il bedrock è costituito da un suolo rigido ($v_s > 800$ m/s) posto a 12 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.

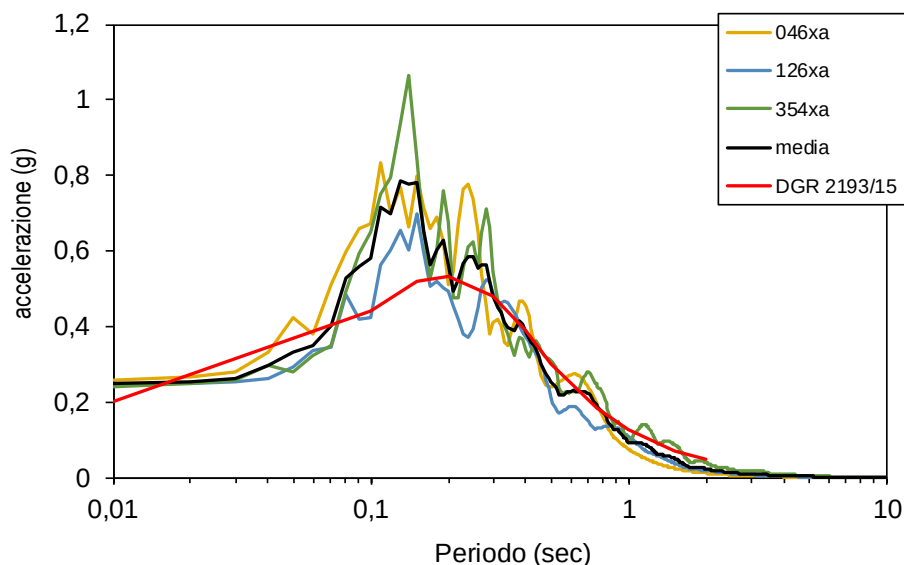


	000046xa	000126xa	000354xa	Valore medio
P,G,A, (g)	0,259	0,247	0,242	0,249
F.A. P,G,A,	1,34	1,27	1,25	1,29
FA SI/Sl ₀ (0,1s<T ₀ ≤0,5s)	1,15	1,13	1,17	1,15
FA SI/Sl ₀ (0,5s<T ₀ ≤1,0s)	1,03	1,02	1,02	1,02

Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000046xa, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo A.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo

spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.

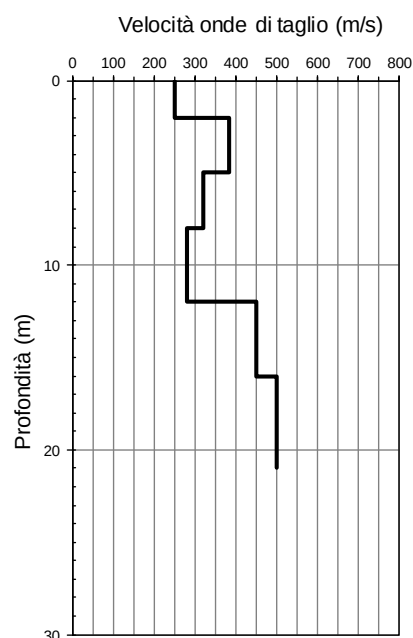


Località Case Stefani

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Vs (m/sec)
silt sabbioso	2	18,6	250
silt sabbioso	3	21,0	385
silt sabbioso	3	20,6	320
silt argilloso	4	18,6	280
argilla sabbiosa	4	20,6	450
argilla IP 15	5	20,6	500
bedrock		23,5	800

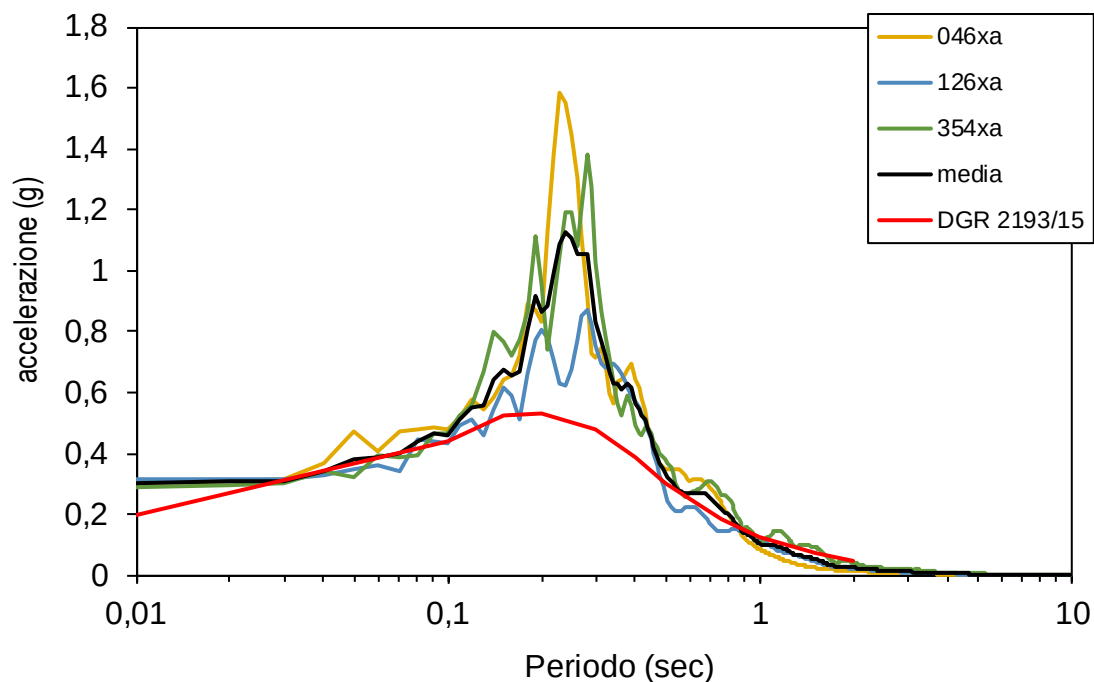
Il modello è stato costruito utilizzando prevalentemente le prove sismiche presenti nell'area (MASW, HV), ma anche la DPSH appositamente eseguita e le altre prove presenti in banca dati. In base al modello così costruito il bedrock è costituito da un suolo rigido ($v_s > 800$ m/s) posto a 21 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.



	000046xa	000126xa	000354xa	Valore medio
P,G,A, (g)	0,302	0,314	0,291	0,302
F.A. P,G,A,	1,56	1,62	1,5	1,56
FA SI/SI ₀ (0,1s<T ₀ ≤0,5s)	1,79	1,61	1,74	1,72
FA SI/SI ₀ (0,5s<T ₀ ≤1,0s)	1,25	1,15	1,17	1,19

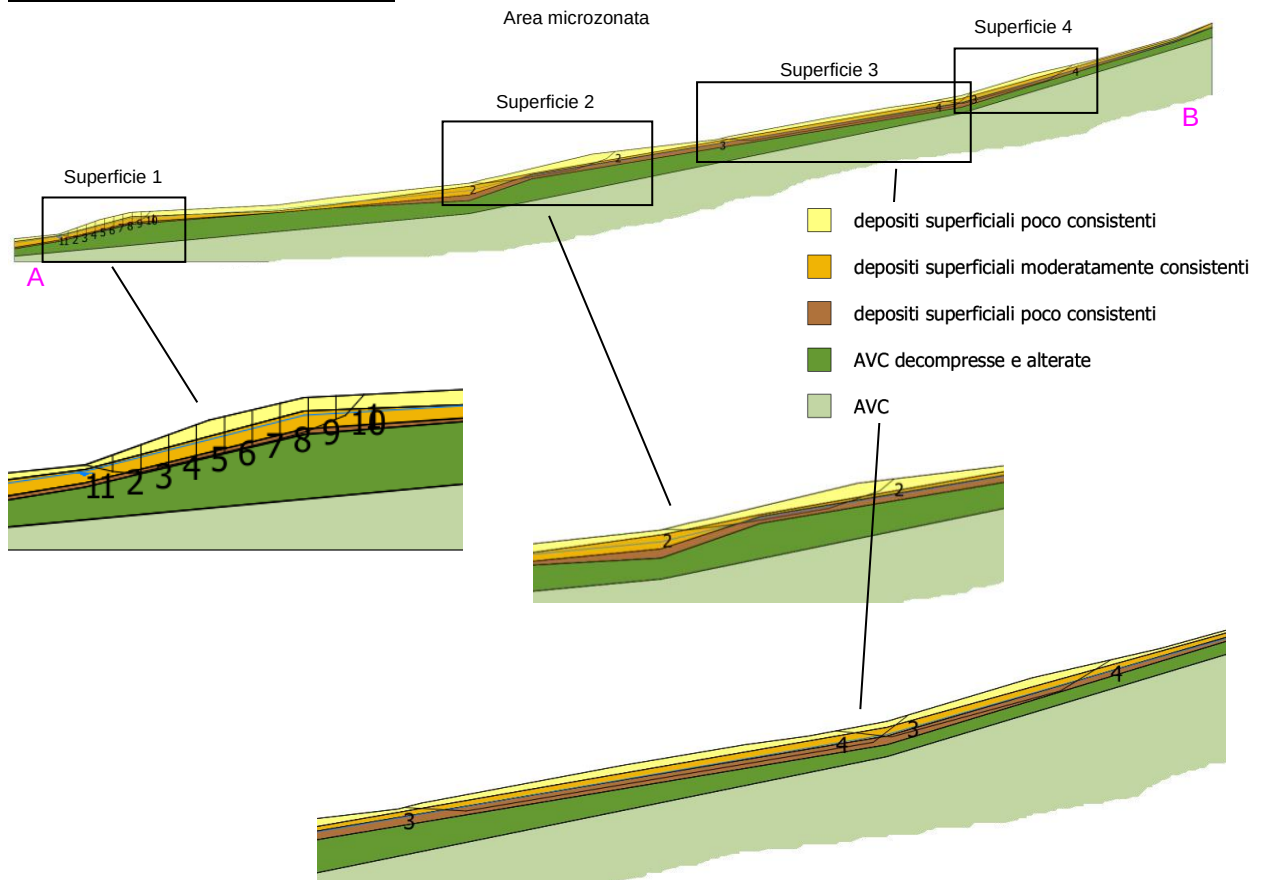
Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000126xa, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo A.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.



In linea generale, sulla base delle indagini effettuate lungo questo corpo di frana quiescente il bedrock sismico si approfondisce da monte verso valle (da 12 a 21 m dal p.c.) e contemporaneamente aumentano le accelerazioni in superficie. L'incremento maggiore avviene per il Fattore di Amplificazione delle intensità di Housner per i periodi più bassi FA_{SI/SI_0} ($0,1s < T_0 \leq 0,5s$) che passa da 1.15 (a monte) a 1.72 (a valle).

Verifica di stabilità dell'area



Lunghezza sezione m	825	Pendenza media °	10,2	Quota minima m slm	752
				Quota massima m slm	900

La verifica di stabilità è stata effettuata lungo la traccia di sezione riportata in precedenza.

Al di sotto dei corpi franosi, in base alla carta geologica (1:10.000 CARG-RER) viene ipotizzata la presenza della Formazione affiorante nelle immediate vicinanze, ovvero le Argilliti variegata con calcari (AVC).

In base alle prove sismiche è stata evidenziata una leggera inversione delle velocità delle onde sismiche. L'inversione è evidente nella MASW 036016L9MASW9 (Case Stefani, a valle) mentre non viene evidenziata nella MASW effettuata a monte (Case Farioli, MASW 036016L10MASW10).

Evidenza di questa inversione e decadimento delle caratteristiche meccaniche sono presenti anche nelle prove penetrometriche presenti in questa zona.

Questa caratteristica potrebbe anche essere dovuta alla sovrapposizione di due corpi di frana, uno più recente e superficiale ed un orizzonte detritico (o una paleofrana) più in profondità.

In ogni caso l'orizzonte in cui avviene un abbassamento delle caratteristiche meccaniche rappresenta un punto di debolezza, per cui le superfici di rottura sono state ipotizzate considerando principalmente questo orizzonte, posto a profondità (dal centro della frana in poi) di circa 8 metri dal piano di campagna.

In base alle prove penetrometriche effettuate, proprie e della banca dati, la profondità della falda risulta essere compresa tra 3 e 5 metri dal piano di campagna (settore centrale e a valle del corpo di frana).

Le superfici di rottura utilizzate sono state ipotizzate:

- nel settore di pendio più a valle (superficie 1), con una superficie impostata nella parte di pendio a maggiore pendenza e più a valle, all'interno dell'area microzonata (Case Stefani);
- in un'area con rottura di pendenza ed incremento della stessa (superficie 2) appena a monte ma parzialmente ricompresa all'interno dell'area microzonata (Case Stefani);
- in corrispondenza dell'area microzonata di Case Farioli (superficie 3);
- appena a monte rispetto all'area di Case Farioli (superficie 4).

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il metodo di Janbu. Le condizioni di verifica sono quelle di un'area instabile con presenza di una frana quiescente, per cui la verifica è stata condotta sia in condizioni consolidate e drenate (nell'ipotesi di considerare la frana come stabilizzata), sia in condizioni drenate (sismiche) che in condizioni residue.

Risultati delle verifiche

Superficie di calcolo	Fattore di Sicurezza FS		
	CD	cu (condizioni sismiche)	CD (condizioni residue)
Superficie 1	1.89	2.61	1.26
Superficie 2	2.66	3.35	1.76
Superficie 3	2.67	3.69	1.80
Superficie 4	2.08	2.61	1.37

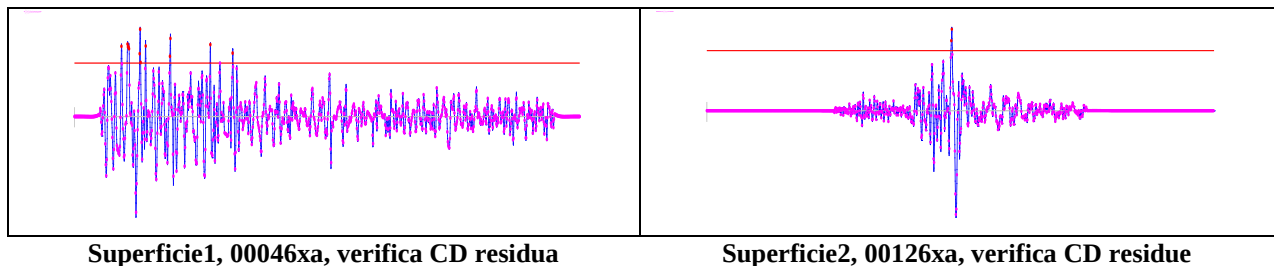
Le verifiche hanno ottenuto coefficienti di sicurezza che indicano sostanziali condizioni di stabilità. Il valore più basso (prossimo alla soglia di 1.2) è stato calcolato lungo la Superficie 1 (Case Stefani), nel settore a quota più bassa e maggiore pendenza (appena a monte del T. Dolo.)

Calcolo degli spostamenti

Il calcolo degli spostamenti è stato effettuato per le quattro superfici, sia in condizioni cu (non drenate) sia in condizioni CD residue.

Per la verifica sono stati utilizzati i due accelerogrammi 000046xa e 000126xa, che nell'analisi della RSL avevano provocato le accelerazioni di maggiore intensità (amax rispettivamente = 0.259g e = 0.314g).

Vengono riportati a titolo esemplificativo i diagrammi per la superficie1, microzonata e per la superficie 4. Lungo le altre superfici sono stati calcolati spostamenti inferiori.



condizioni	Spostamento superficie1 quiescente cm	Spostamento Superficie2 quiescente cm	Spostamento Superficie3 quiescente cm	Spostamento Superficie4 quiescente cm
CD res	0,14	0	0	0,02
Cu	0	0	0	0

calcolo complessivo degli spostamenti, espressi in cm, utilizzando l'accelerogramma 00046xa. In giallo le superfici comprese all'interno dell'area microzonata

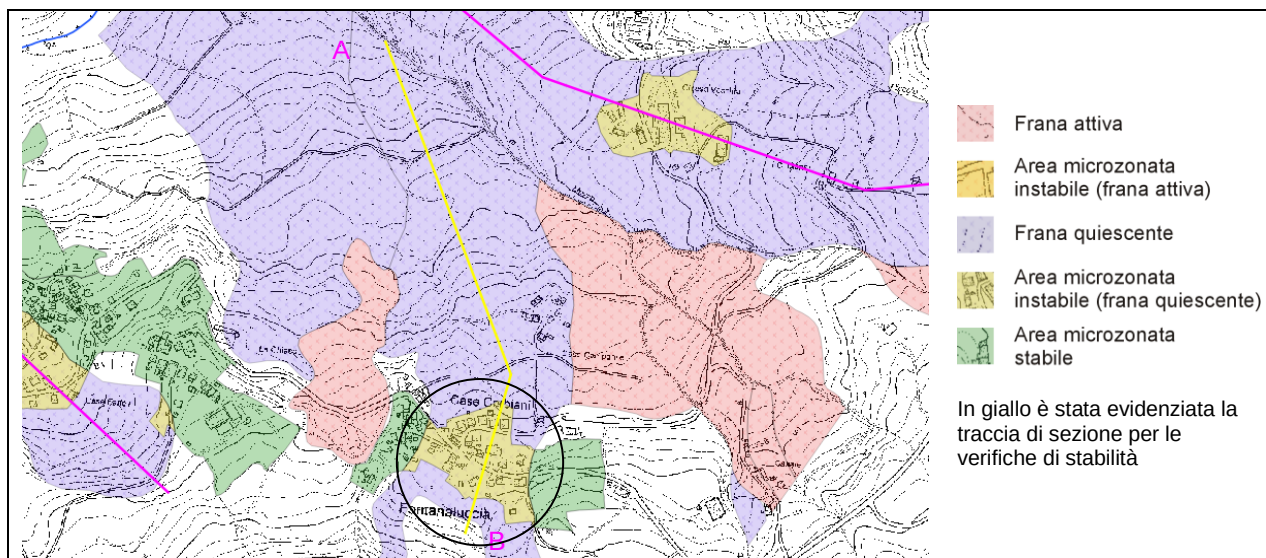
condizioni	Spostamento superficie1 quiescente cm	Spostamento Superficie2 quiescente cm	Spostamento Superficie3 quiescente cm	Spostamento Superficie4 quiescente cm
CD res	0,07	0	0,001	0,024
Cu	0	0	0	0

calcolo complessivo degli spostamenti, espressi in cm, utilizzando l'accelerogramma 00126xa. In giallo le superfici comprese all'interno dell'area microzonata

Gli spostamenti calcolati sono presenti per alcune superfici (viene raggiunta e superata l'accelerazione critica) ma risultano estremamente bassi. Non viene mai raggiunta l'accelerazione critica in condizioni sismiche, non drenate.

Vista l'entità degli spostamenti (tutti inferiori a 1 cm) non viene riportato il grafico con l'andamento dei movimenti nel tempo, durante la simulazione di un sisma.

7.4.4 Fontanaluccia località Case Cerbiani



L'area instabile microzonata è compresa all'interno di una frana quiescente.

In quest'area (cortile scuole elementari) all'interno di una trincea di scavo (036016P107T107), utilizzando una fustella è stato prelevato un campione di terreno su cui eseguire una serie di prove di laboratorio (campione F1, Allegato 2). Nella stessa area è stata appositamente effettuata una prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH con codice 036016P115DS115). I certificati di prova sono riportati in allegato, i risultati della prova di laboratorio e i valori ricavati dalla DPSH vengono riportati sinteticamente nel seguito.

Prova di laboratorio campione F1

Campione	F1
profondità m	0.70-0.97
Limi %	41.52
Sabbie %	18.41
Ghiaie %	40.07
Limite Liquido wL %	37
Limite Plastico wP %	20
Indice di Plasticità (wL - wP) IP %	17
Peso di volume medio (3 provini) kg/m ³	1847
Prova di compressione non confinata ($\approx$ cu) kg/cm ²	0,362
Coesione efficace c' kg/cm ²	0,286
	0,102
Angolo di attrito interno Φ°	35.34 °
	25.28 °

Valori di picco
Valori residui
Valori di picco
Valori residui



Sulla destra: Realizzazione della trincea di scavo per il prelievo del campione F1

Prova penetrometrica dinamica DPSH 036016P115DS115

La prova è stata condotta all'interno di orizzonti detritici che presentano una duplice natura, sia coesiva che incoerente. Le relazioni utilizzate per ottenere i dati sono riportate nel seguito.

Per alcuni parametri (coesione non drenata e angolo di attrito interno) i risultati della prova di laboratorio hanno privilegiato la scelta della relazione di calcolo che permetteva di ottenere i valori più simili.

Per i terreni coesivi:

- la coesione non drenata (C_u) è stata ricavata utilizzando la correlazione di Terzaghi e Peck
- modulo edometrico (E_{ed}): Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner
- Modulo di Young: Apollonia
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Meyerhof

Per i terreni incoerenti:

- La densità relativa (%): Skempton 1986
- L'angolo di resistenza al taglio ($^\circ$): Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956
- Modulo di Young: Schmertmann (1978)
- modulo edometrico (E_{ed}): Menzenbach e Malcev
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Terzaghi-Peck 1948-1967
- Modulo di Poisson: (A.G.I.)
- Modulo di deformazione a tagli dinamico Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)

DATI GENERALI	Profondità base orizzonte (m)	N° di colpi medio	Tensione efficace (Kg/cm^2)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Comp. Geotecnico
/	0,8	6,75	0,1	1,46	9,86	Incoerente-coesivo
Orizzonte 1	4	13,25	0,51	1,48	19,64	Incoerente-coesivo
Orizzonte 2	6,4	6,58	1,07	1,5	9,9	Incoerente-coesivo
Orizzonte 3	7,6	8,5	1,4	1,51	12,84	Incoerente-coesivo
Orizzonte 4	9,4	15	1,77	1,52	22,8	coesivo

TERRENI COESIVI	Profondità base orizzonte (m)	C_u media (Kg/cm^2)	Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm^2)	Modulo di Young (Kg/cm^2)	Peso unità di volume (t/m^3)	Peso unità di volume saturo (t/m^3)	Classificazione A.G.I. (1977)
/	0,8	0,67	102,36	98,60	1,96	2,16	CONSISTENTE
Orizzonte 1	4	1,33	202,11	196,40	2,10	2,31	MOLTO CONSISTENTE
Orizzonte 2	6,4	0,67	102,77	99,00	1,96	2,16	CONSISTENTE
Orizzonte 3	7,6	0,87	132,75	128,40	2,03	2,23	CONSISTENTE
Orizzonte 4	9,4	1,54	234,34	228,00	2,11	2,16	MOLTO CONSISTENTE

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Modulo di Young (Kg/cm^2)	Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm^2)	Peso unità di volume (t/m^3)	Peso unità di volume saturo (t/m^3)	Modulo di deformazione a taglio G (Kg/cm^2)
/	0,8	78,88	81,98	1,73	1,92	506,02
Orizzonte 1	4	157,12	125,59	1,99	1,98	770,94
Orizzonte 2	6,4	79,20	82,15	1,73	1,92	507,27
Orizzonte 3	7,6	102,72	95,27	1,82	1,94	594,63
Orizzonte 4	9,4					

TERRENI INCOERENTI	Profondità base orizzonte (m)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo di Poisson	Classificazione A.G.I. (1977)
/	0,8	32,68	29,82	0,33	POCO ADDENSATO
Orizzonte 1	4	50,69	32,61	0,32	MODERATAMENTE ADDENSATO
Orizzonte 2	6,4	32,77	29,83	0,33	POCO ADDENSATO
Orizzonte 3	7,6	38,93	30,67	0,33	MODERATAMENTE ADDENSATO
Orizzonte 4	9,4				

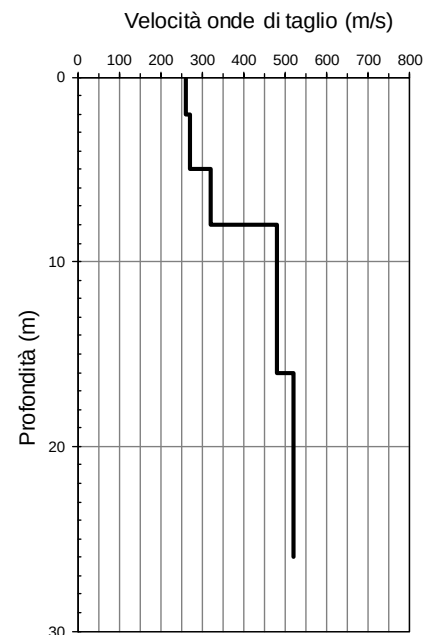


**Realizzazione della
prova penetrometrica
dinamica DPSH
036016P115DS115**

Il modello utilizzato per la RSL è il seguente:

tipo di suolo (moduli G-D)	Spessore (m)	Peso di volume (kN/m³)	Vs (m/sec)
silt sabbioso	2	18,1	260
sabbia siltosa	3	20,6	270
sabbia siltosa	3	19,1	320
argilla sabbiosa	8	19,6	480
argilla IP 30	10	19,6	520
bedrock		23,0	800

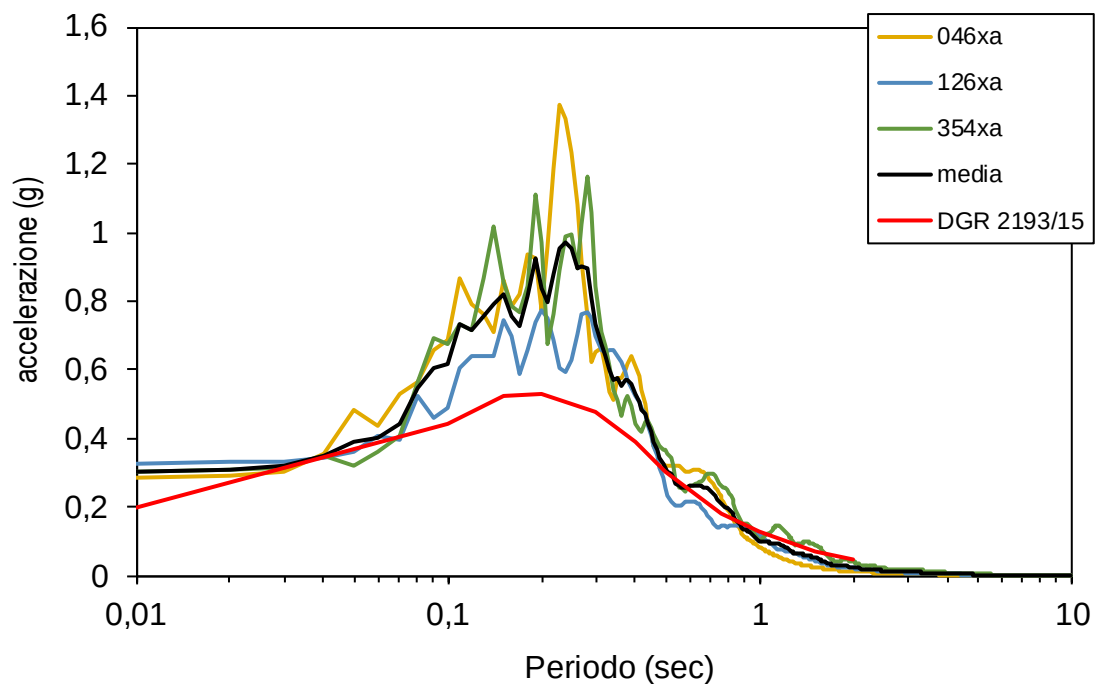
Il modello è stato costruito utilizzando prevalentemente le prove sismiche presenti nell'area (MASW, HV), ma anche la prova di laboratorio e la DPSH appositamente eseguita. In base al modello così costruito il bedrock è costituito da un suolo rigido ($v_s > 800$ m/s) posto a 26 m dal p.c. I risultati sono stati riportati nel seguito.



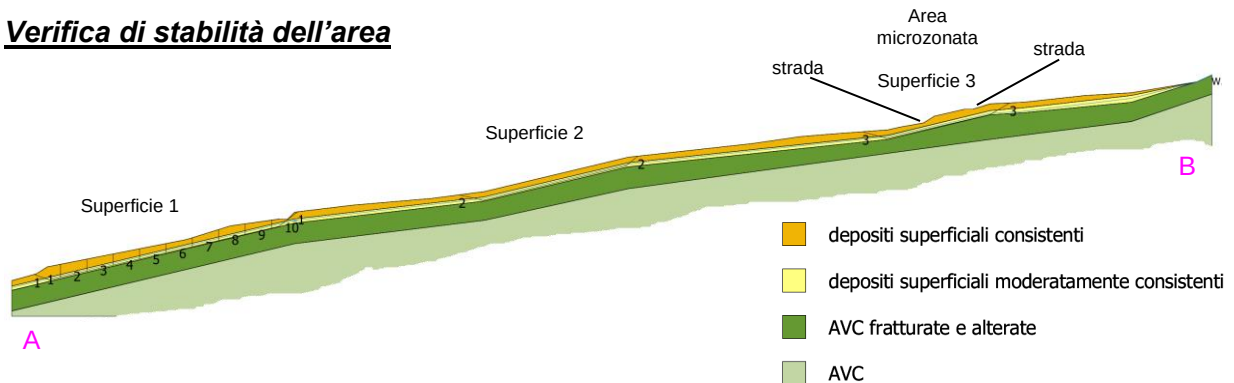
	000046xa	000126xa	000354xa	Valore medio
P,G,A, (g)	0,284	0,328	0,303	0,305
F.A. P,G,A,	1,48	1,70	1,58	1,59
FA SI/SI ₀ (0,1s<T ₀ ≤0,5s)	1,68	1,56	1,6	1,61
FA SI/SI ₀ (0,5s<T ₀ ≤1,0s)	1,21	1,14	1,14	1,16

Nella colonna a destra sono stati riportati i valori medi, il valore massimo di PGA è stato calcolato per l'accelerogramma 000126xa, relativo ad un bedrock su un suolo di tipo A.

Come previsto dalle linee guida, dalle singole elaborazioni è stato calcolato lo spettro medio di output, i cui valori (in pseudovelocità) sono allegati alla presente microzonazione. Gli spettri di output per le accelerazioni assolute e lo spettro medio risultante sono stati riportati nel grafico seguente.



Verifica di stabilità dell'area



Lunghezza sezione m	825	Pendenza media °	10,2	Quota minima m slm	752
				Quota massima m slm	900

La verifica di stabilità è stata effettuata lungo la traccia di sezione riportata in precedenza.

Al di sotto dei corpi franosi, in base alla carta geologica (1:10.000 CARG-RER) viene ipotizzata la presenza della Formazione affiorante nelle immediate vicinanze, ovvero le Argilliti variegata con calcari (AVC).

Nel corso della prova DPSH effettuata (036016P115DS115) la falda è stata rilevata a profondità abbastanza elevate (6.55 m dal p.c.)

In base alle prove sismiche (MASW 036016L11MASW11 e MASW 036016L12MASW12) nel sottosuolo è stata evidenziata una leggera inversione delle velocità delle onde di taglio (V_s).

Evidenza di questa inversione e decadimento delle caratteristiche meccaniche sono presenti anche nella prova penetrometrica appositamente effettuata (036016P115DS115) in questa zona.

Dal momento che l'orizzonte in cui avviene un abbassamento delle caratteristiche meccaniche rappresenta un punto di debolezza, le superfici di rottura sono state ipotizzate considerando principalmente questo orizzonte, posto a profondità variabili da 2 a 5 metri dal piano di campagna.

Le superfici di rottura ipotizzate sono situate:

- nel settore di pendio più a valle del pendio zona in cui vi è una maggior pendenza, per valutare le condizioni di stabilità complessive (superficie 1);
- nel settore intermedio del pendio zona in cui vi è una maggior pendenza, per valutare le condizioni di stabilità complessive (superficie 2);
- a monte del pendio all'interno dell'area microzonata, nella zona in cui vi è una maggior pendenza (superficie 3).

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il metodo di Janbu. Le condizioni di verifica sono quelle di un'area instabile con presenza di una frana quiescente, per cui la verifica è stata condotta sia in condizioni consolidate e drenate (nell'ipotesi di considerare la frana come stabilizzata), sia in condizioni drenate (sismiche) che in condizioni residue.

Risultati delle verifiche

Superficie di calcolo	Fattore di Sicurezza FS		
	CD	cu (condizioni sismiche)	CD (condizioni residue)
Superficie 1	3.51	2.13	1.85
Superficie 2	3.34	2.46	1.88
Superficie 3	3.42	2.30	1.86

Sia per l'area microzonata (superficie 3) che per le due superfici a valle le verifiche hanno ottenuto coefficienti di sicurezza che indicano sostanziali condizioni di stabilità.

Calcolo degli spostamenti

Il calcolo degli spostamenti è stato effettuato per le tre superfici, sia in condizioni cu (non drenate) sia in condizioni CD residue.

Per la verifica è stato utilizzato l'accelerogramma 000126xa, che nell'analisi della RSL ha provocato le accelerazioni di maggiore intensità ($a_{max} = 0.328g$).

Gli spostamenti non sono presenti per nessuna delle tre superfici individuate in precedenza, dal momento che non viene raggiunta e superata l'accelerazione critica.

condizioni	Spostamento superficie1 quiescente cm	Spostamento Superficie2 quiescente cm	Spostamento Superficie3 quiescente cm
CD res	0	0	0
Cu	0	0	0

8 Elaborati cartografici

Per l'elaborazione dei documenti cartografici, a partire dalla struttura dati reperibile sul sito web della Protezione Civile, è stato utilizzato il software libero Qgis, per il quale, all'interno della struttura dati citata, sono disponibili le librerie contenenti le vestiture per i tematismi cartografici conformi agli standard di rappresentazione e archiviazione.

Il *layout* delle tavole cartografiche è stato progettato in maniera da essere contenuto all'interno di un foglio A1 nel quale sono ospitate le due cornici tematiche con l'area di Fontanaluccia e l'area di Piandelagotti, oltre a una cartina muta di inquadramento che localizza le aree studiate all'interno del territorio del Comune di Frassinoro.

Sono state prodotte le seguenti cartografie:

- Carta delle indagini;
- Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS);
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Carta delle MOPS);
- Carta di microzonazione sismica (Carta di MS)

previste dagli standard nazionali, oltre alla Carta delle velocità e alla Carta delle frequenze, richieste dalla Regione Emilia-Romagna.

8.1 Carta delle indagini

Descrive la posizione e la distribuzione spaziale delle indagini geognostiche (meccaniche e geofisiche), anche travalicando i confini dei settori che sono stati soggetti a microzonazione, disponibili per i territori studiati. Per le motivazioni già espresse in precedenza, la distribuzione delle indagini non risulta omogenea, ma evidenzia zone di concentrazione e zone di rarefazione dovute alla presenza/assenza di interventi edilizi. Per ragioni di completezza, per Piandelagotti, sono state riportate tutte le indagini disponibili, anche quelle che erano già state inserite nella banca dati approntata in occasione dello studio di microzonazione sismica di II livello del 2012.

Nella carta s'individuano le posizioni siti con delle prove penetrometriche dinamiche, statiche (poche), degli scavi e pozzetti esplorativi (nonché quindi dei punti di campionamento per indagini di laboratorio), nonché dei pochi sondaggi a carotaggio disponibili. Vi sono inoltre localizzati siti dove sono state eseguite indagini geofisiche, principalmente MASW e HV, con alcuni profili di sismica a rifrazione.

8.2 Carta geologico-tecnica (CGT_MS)

Descrive le caratteristiche del substrato, qualora affiorante o subaffiorante, e la natura delle coperture stabili (coltri detritiche) e di quelle instabili o in equilibrio metastabile (forme franose)

L'elaborato mostra che:

- a Piandelagotti prevalgono le coperture detritiche e gli accumuli franosi, con il substrato generalmente a prevalente componente argillosa con inclusi (AVP, cfr più avanti), posto ad alcuni (fino a diversi) metri dal piano campagna e l'esistenza di un substrato lapideo poco profondo solo in alcuni settori limitati (pressoché al di fuori delle aree microzonate) posti a NE del paese;
- a Fontanaluccia una parte del paese sorge su una dorsale in roccia e la restante parte su corpi franosi e/o detritici superficiali. La dorsale è formata da terreni a prevalente componente argillitica (che costituiscono anche il substrato e di fatti la roccia di origine di gran parte degli accumuli franosi) con inclusi lapidei ascrivibile all'unità AVP (Successione argilloso-calcareo pre-campaniana) formata principalmente da argilliti brune o verdine più raramente varicolori intercalate a strati siltoso-calcarei

o di arenarie fini; da brecce argillitico-calcaree a prevalenti clasti di calcari tipo palombini; da argilliti grigio-piombo alternate a calcari silicei grigio-bluastri in strati sottili e medi). Presso la località Pere Storte (area microzonata posta circa 500 m a nord del centro abitato) s'individua un substrato formato da un flysch calcareo-marnoso (Flysch dell'Abetina Reale).

A proposito delle coperture detritiche occorre evidenziare che la necessità di ottemperare alle codifiche stabilite dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica non permette localmente di fornire delle descrizioni accurate dei terreni.

Le coltri detritiche superficiali, per lo più di natura eluviale-colluviale, sono infatti spesso descrivibili come frammenti rocciosi spigolosi in matrice limo-argillosa per le quali, tra le categorie previste dagli standard (figura 1.1.2-1 degli standard), le descrizioni che più si avvicinano sono quelle delle GC (Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla) o delle GM (Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo), quando il loro aspetto richiama più spesso quello delle diamictiti non litificate (*diamicton* sensu Flint et al., 1960) con clasti a spigoli vivi.

Per quanto riguarda le forme franose occorre precisare che mai si verifica la condizione per la quale una frana è completamente ricompresa all'interno di un'area microzonata, ma ne va ad interessare solo una parte. La carta geologico-tecnica è stata, per questioni di completezza, redatta su un areale molto più ampio, proprio per descrivere gli elementi d'instabilità nella loro interezza, come pure a livello di verifiche di stabilità non sono state considerate esclusivamente le parti degli elementi franosi all'interno delle aree urbanizzate, bensì tutto il corpo di frana, sebbene questo in molti casi si delinea ampiamente al di fuori.

Per quanto attiene l'abitato di Fontanaluccia, si registra la presenza di diversi corpi franosi, alcuni classificati quiescenti (sia nella carta geologica regionale che nella carta del dissesto del PTCP provinciale) altri classificati attivi, che in linea generale sono reciprocamente adiacenti e si riuniscono a formare un esteso sistema franoso che interessa buona parte del versante posto a nord del paese e che scende verso il fondovalle del Torrente Dolo. Di tale sistema franoso fanno parte la frana storica della zona del cimitero (oggetto di riattivazioni multiple negli ultimi decenni e di interventi di risistemazione, posta comunque al di fuori del territorio urbanizzato) e il corpo di frana quiescente dell'area delle scuole. Un'altra frana con sviluppo principalmente lungo il versante (lunghezza molto più grande della larghezza) si delinea nella parte sud est del paese (Case Farioli) dove interessa in parte l'area urbanizzata.

Più composita e settoriale risulta la condizione delle frane a Piandelagotti. Sono presenti diversi corpi franosi, generalmente caratterizzati da forma allungata lungo il versante, e spesso adiacenti l'uno all'altro a formare sistemi franosi coalescenti che ricoprono grandi estensioni di territorio fino a raggiungere il fondovalle del Torrente Dragone.

Degni di nota, perché interessano aree edificate, sono le frane (quiescente a monte e attiva a valle) che interessano il parco posto immediatamente a nord della chiesa del paese, la frana con area di coronamento posta presso la località "il Colle", il sistema delle frane di Ca' Magnano-Case Palandri e la frana all'Osteria del Cacciatore.

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Carta delle MOPS)

Per le aree oggetto delle microzonazione (zone urbanizzate e urbanizzabili individuate di concerto con l'Amministrazione comunale) la carta individua:

- le aree stabili suscettibili di amplificazione sismica in conseguenza del fatto che nel primo sottosuolo sono presenti terreni caratterizzati da valori di velocità delle Vs inferiori a 800 m/s, ma non soggetti a fenomeni di instabilità;
- le zone di attenzione per instabilità di versante, coincidenti con le forme franose che

interessano anche aree oggetto di microzonazione e che sono state menzionate nel paragrafo dedicato alla Carta geologico-tecnica;

Come già ampiamente trattato nel capitolo 5 della presente relazione, la codifica delle zone omogenee stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica riprende e integra quella adottata in occasione del precedente studio di microzonazione del 2012, per cui la numerazione delle zone, per Piandelagotti, non cambia (Zone 3 e 4), mentre per le zone in cui è stata suddiviso l'abitato di Fontanaluccia si è proseguito con i codici, introducendo le Zone 5, 6 e 7 (Capitolo 5, Figure 12 e 13) per la descrizione dei modelli geologici specifici per le zone 3 e 4 (a Piandelagotti) e 5, 6 e 7 (a Fontanaluccia) si rimanda al capitolo 5. Si evidenzia qui che i modelli geologici approntati per le aree stabili suscettibili di amplificazione sono stati estrapolati e attribuiti anche alle aree soggette a coperture gravitative, per cui nella carta delle MOPS le zone di attenzione per instabilità franosa sono indicate con i medesimi colori utilizzati per identificare le diverse zone stabili suscettibili di amplificazione, distinguendosi solamente per la presenza di un sovrassegno, come indicato dagli standard di archiviazione e rappresentazione cartografica.

Per un quadro sinottico descrittivo dei modelli geologici e dei rapporti geometrici tra le diverse unità si rimanda al capitolo 5 e agli allegati nn. 5 e 6 che riportano le sezioni geologiche interpretative e quelle utilizzate come modelli per le verifiche di stabilità di versante eseguite nell'ambito dell'analisi di III livello.

Completano le informazioni riportate in carta le ubicazioni e i valori, quando determinati, della frequenza di risonanza locale derivata dall'esecuzione di misure di rumore ambientale a stazione singola (HVSr).

8.4 Carta di microzonazione sismica (Carta di Ms)

La carta di II/III livello è stata realizzata in tre versioni considerando sia il fattore di amplificazione rispetto la PGA, sia rispetto all'intensità spettrale (di Housner), negli intervalli di frequenze 0.1-0.5 e 0.5-1.0 secondi, conformemente a quanto richiesto dalle delibere regionali (DAL 112/2007 e DGR 2193/2015).

Per la determinazione dei fattori di amplificazione stratigrafica si è fatto riferimento agli abachi (allegati alla delibera regionale 2193/2016) per i settori stabili soggetti ad amplificazione stratigrafica (MOPS: Zone 3, 4, 5, 6 e 7) ovvero per mezzo dell'analisi della risposta sismica locale, per gran parte delle aree sulle quali insistono depositi franosi, quiescenti o attivi.

Come già descritto in precedenza sono stati utilizzati gli abachi relativi all'Appennino con substrato rigido.

Per le aree instabili oggetto di approfondimenti di terzo livello (zone di suscettibilità) si è provveduto alla valutazione della risposta sismica locale e alla verifica di stabilità di versante in condizioni sismiche e residue (post sismiche), previa l'analisi dei dati pregressi e di quelli di nuovo rilevamento (prove penetrometriche DPSH, pozzetti esplorativi con raccolta di campioni indisturbati, analisi di laboratorio, indagini geofisiche MASW e HVSr).

La determinazione dei fattori di amplificazione è stata eseguita tramite il codice di calcolo Shake91 (utilizzando il software EERA), facendo uso di più spettri di riferimento. Come descritto al § 7, sono stati utilizzati i 3 accelerogrammi forniti dalla RER (DGR 2193/15, Allegato 4) per un bedrock rigido (tipo A) e 4 accelerogrammi naturali registrati su suolo B provenienti dallo European Strong-motion Database (ESD), utilizzati per le aree in cui non è presente un bedrock sismico di tipo A.

Le verifiche di stabilità sono state effettuate sulle tracce di sezione individuate in cartografia utilizzando il software Slope 2017 della Geostru. Per le verifiche di stabilità è stato utilizzato il metodo dell'equilibrio limite di Jambu (1967), per ricavare il parametro FRT (massimo movimento in

centimetri del versante) il metodo di Newmark.

8.5 Commenti finali e criticità

Il numero e l'estensione dei fenomeni franosi presenti in area ha avuto come conseguenza che il grado di approfondimento che si è potuto raggiungere è tale per il quale non è possibile definire le Zone di Rispetto (ZR), ma solo le Zone di Suscettibilità (ZS). Considerato anche la nota approssimazione insita, oltre che nei dati solitamente disponibili, anche negli stessi codici di calcolo e nella scelta di uno spettro di riferimento significativamente descrittivo degli eventi sismici che con più probabilità possono colpire una determinata area, si è proceduto alla analisi della Risposta Sismica Locale ipotizzando per lo meno 3 spettri di input (nei casi per i quali i dati permettevano di ipotizzare la presenza ad una profondità inferiore ai 30 m di rocce rigide caratterizzate da $V_s > 800$ m/s) ovvero 7 spettri di input laddove la presenza di rocce rigide a profondità inferiore ai 30 m non era ipotizzabile. L'analisi della risposta sismica locale (RSL) effettuata sui due centri di Piandelagotti e Fontanaluccia ha evidenziato sinteticamente che:

- nella quasi totalità delle aree considerate (8 su 9), al di sotto delle coltri superficiali (frane e depositi detritici) nel sottosuolo è presente la Formazione delle Argilliti Variegate con Calcarei (AVC);
- a Piandelagotti la maggior parte dei bedrock sismici (con l'eccezione di una sola area) sono costituiti dalle Argille Variegate con Calcarei (AVC) con velocità che non raggiungono gli 800 m/s;
- a Fontanaluccia (con l'eccezione di una sola area) i bedrock sismici sono quasi sempre costituiti da suoli rigidi, con $V_s > 800$ m/s. In quest'area la formazione delle AVC ha profondità comparabili a quelle di Piandelagotti, ma è inferiore lo spessore dell'orizzonte più superficiale di questa formazione, alterato e fratturato e con velocità delle onde di taglio decisamente più basse;
- nell'analisi della Risposta Sismica Locale, in tutte le aree microzionate con substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) i valori di picco più elevati delle PGA sono stati ottenuti con accelerogrammi (scalati) provenienti da bedrock di tipo B;
- A Fontanaluccia, in cui il substrato è costituito prevalentemente da un substrato rigido, i valori di amplificazione calcolati (FA PGA, FA SI) sono mediamente più bassi che non a Piandelagotti.

Per quanto riguarda la stabilità delle aree:

- I valori più bassi dei fattori di sicurezza calcolati nelle verifiche di stabilità sono stati calcolati a Piandelagotti, all'interno di aree in cui sono riportate frane attive;
- sia a Piandelagotti che a Fontanaluccia sono presenti diverse frane quiescenti con fattori di sicurezza che suggeriscono una sostanziale stabilità ($FS > 1.5$), sia in condizioni sismiche che in condizioni residue;
- La verifica degli spostamenti (parametro FRT, massimo movimento in cm del versante) ha evidenziato il raggiungimento e il superamento dell'accelerazione critica per diverse aree microzionate al terzo livello (non tutte), sia a Piandelagotti che a Fontanaluccia. Gli spostamenti calcolati sono nell'ordine di alcuni cm, e risultano non particolarmente rilevanti.

9 Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

Negli ultimi 10 anni, nel Comune di Frassinoro sono stati segnalati danni relativi a due eventi sismici avvenuti:

1. il 23.12.2008 (Parmense, MW 5.36, CPTI15 INGV)
2. il 21.06.2013 (zona di Fivizzano, Apuane, MW 5.2)

Nel primo (Garfagnana) è stato segnalato un aggravamento del ponte sul Dragone lungo la strada Cargedolo-Casa Abbadina. Il ponte è in pietra ed era già in precedenza in cattivo stato. A seguito del sisma era peggiorata la situazione ed aumentate le lesioni. A seguito dell'evento e delle segnalazioni sono stati fatti interventi di risistemazione su contributo regionale

A seguito del secondo evento (zona Muschioso) è stata emessa un'Ordinanza Comunale di chiusura delle chiese di Fontanaluccia e Romanoro. Quella di Fontanaluccia è stata riaperta subito, quella di Romanoro dopo un anno. Nella chiesa di Romanoro sono avvenute lesioni non strutturali, con distacco di parti di intonaco dal soffitto che sono state risistemate.

10 Bibliografia

- ALBARELLO D. & CASTELLARO S. (2011) – Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. *Ingegneria Sismica* n. 2/2011, 32-62.
- AA.VV (2011) Supplemento alla Rivista trimestrale *Ingegneria Sismica* (Anno XXVIII, n.2-2011).
- AA.VV. (1993) – Atlante dei centri abitati instabili della Provincia di Modena. Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi idrogeologiche. Programma Speciale SCAI (Studio Centri Abitati Instabili), pp. 68
- AA.VV. (2002a)-a cura di Bettelli G., Panini F. e Pizziolo M. - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 236-Pavullo nel Frignano. S.EL.CA, Firenze, 2002.
- AA.VV. (2002b)-a cura di Plesi G. - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 235-Pievepelago. S.EL.CA, Firenze, 2002.
- AA.VV. (2004) *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation*. SESAME European research project. WP12-deliverable D23.12.
- AA.VV. (2005) – *Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica – Linee guida*. Edizione Provvisoria marzo 2005, Patron editore, Bologna.
- BARDET J. P., ICHII, K. & LIN C. H. (2000) - EERA (*Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses*). University of Southern California (Department of Civil Engineering)
- BETTELLI G., BONAZZI U. & PANINI F. (1989) – *Schema introduttivo alla geologia delle liguridi dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe*. Mem. Soc. Geol. It. 39(1987), 91-126.
- BETTELLI G. & PANINI F. (1994) – *Nota illustrativa ad una sezione geologica attraverso l'Appennino modenese*. *Studi Geologici Camerti*, Volume Speciale 1992/2, Appendice CROP 1-1A, 65-74.
- BETTELLI G., PANINI F. & CAPITANI M. (2002) – Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano Sudorientale. Atti 3° seminario Cartografia Geologica, Bologna 26-27 febbraio 2002, 47-52.
- BRAMERINI F., Di PASQUALE G., NASO G. & SEVERINO M. (a cura di) (2008) - *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Presidenza del Consiglio dei Ministri. Dipartimento della Protezione Civile.
- CAPITANI M. & BERTACCHINI M. - (1997) – *Aspetti geologici*. In “2ª Relazione sullo stato dell'ambiente nella Provincia di Modena”, Amm. Prov. Di Modena, 29-34.
- CASADIO M. & ELM C., (2006) – Il Manuale del Geologo. Pitagora Ed.
- CHICCHI S. & PLESI G. (1992) - Il Complesso di M. Modino nell'alto Appennino emiliano (tra il Passo del Lagastrello e il M. Cimone) e i suoi rapporti con la Falda toscana, l'Unità di Canetolo e le Liguridi. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 46 (1991): 139-163.
- DANIELE G., MOCHI E. & PLESI G. (1996) - L'insieme ligure-emiliano dell'Appennino modenese: unità tettoniche e successioni stratigrafiche nella zona di Frassinoro. Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A, 102 (1995): 147-158.
- DANIELE G. & PLESI G. (2000) - The Ligurian Helminthoid flysch units of the Emilian Apennines: stratigraphic and petrographic features, paleogeographic restoration and structural evolution. *Geodinamica Acta*, 13: 1-21.

FLINT, R.F., J.E. SANDERS, AND J. RODGERS (1960) *Diamictite, a substitute term for symmictite* Geological Society of America Bulletin. 71(12):1809–1810

PLESI G., DANIELE G., BOTTI F. & PALANDRI S. (2002) *Carta strutturale dell'alto Appennino Tosco-emiliano (Scala 1:100.000) fra il Passo della Cisa e il Corno alle Scale*. Atti 3° seminario Cartografia Geologica, Bologna 26-27 febbraio 2002, 80-89.

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica>

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/geologia>

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/dissesto-idrogeologico>

<http://zonesismiche.mi.ingv.it>

<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>

<http://www.isesd.hi.is/ESD>

11 Allegati

- Allegato 1 – Report indagini dinamiche superpesanti (DPSH) eseguite a Fontanaluccia e a Piandelagotti;
 - Allegato 2 – Report stratigrafie dei sondaggi con escavatore meccanico, eseguiti a Fontanaluccia e a Piandelagotti, e certificati delle prove di laboratorio;
 - Allegato 3 – Report indagini MASW eseguite a Fontanaluccia e a Piandelagotti;
 - Allegato 4 – Report misure microtremori a stazione singola eseguite a Fontanaluccia e a Piandelagotti;
 - Allegato 5 – Sezioni Geologiche a Piandelagotti
 - Allegato 6 – Sezioni Geologiche a Fontanaluccia
-