

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009 n.27

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Tecnica illustrativa

Regione Toscana

COMUNE DI MONTERCHI



Regione Toscana	Soggetto realizzatore: Dott.Geol.Silvestrelli Paolo Dott.Geol.Ancillotti Riccardo Dott.Geol.Batti Lorenzo Dott.Geol.Secci Simone Dott.Geol.Sedda Lorenzo	Data: Maggio 2021
--------------------	---	--------------------------

Sommario

1. INTRODUZIONE	2
PREMESSA	2
RIFERIMENTI NORMATIVI	2
SCOPO E METODOLOGIA DEL LAVORO.....	3
INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO.....	4
ELENCO ELABORATI PRODOTTI.....	6
2. CONTESTO GEOLOGICO STRUTTURALE E SISMOTETTONICO	6
INQUADRAMENTO GEODINAMICO	6
INQUADRAMENTO SISMO-TETTONICO	7
ELEMENTI TETTONICI	12
<i>FAGLIA DI SAN BIAGIO-POCAIA</i>	12
<i>FAGLIA DI MERCATALE</i>	13
<i>FAGLIA DEL CENTENA</i>	16
<i>FAGLIE TRASVERSALI DI RIOLO E DEL T. CERFONE</i>	17
EVOLUZIONE TETTONICA.....	19
SISMOTETTONICA E CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	22
3. ASSETTO STRATIGRAFICO	36
4. ASSETTO GEOMORFOLOGICO	38
5. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE	40
6. CARTA DELLE INDAGINI E DATI DI BASE	43
7. CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI	44
8. CARTA GEOLOGICO TECNICA.....	44
9. SEZIONI.....	46
10. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA.....	46
11. MODELLAZIONI NUMERICHE ED ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE BIDIMENSIONALE.....	60
RAPPRESENTAZIONE SU CARTA	86
12. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA	88
13. INDICAZIONI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 PER LA FASE PROGETTUALE	88
CONSIDERAZIONI SUI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE	108
14. VERIFICHE DI STABILITA' NELLE ZONE INSTABILI	111
15. CONCLUSIONI	168
16. BIBLIOGRAFIA.....	170

1. INTRODUZIONE

PREMESSA

Il presente lavoro è stato svolto in ottemperanza a quanto richiesto dal Comune di Monterchi con l'affidamento di incarico Determinazione Area Tecnica e Tecnico-manutentiva n° 3 del 05/01/2019. Il raggruppamento temporaneo tra professionisti è stato registrato ad Arezzo il 19-09-2019 al n. 8893 Sez. 17.

RIFERIMENTI NORMATIVI

Lo studio e le indagini sono stati condotti secondo le specifiche tecniche contenute nei seguenti testi di riferimento normativo e tecnico:

- OPCM n° 171/2014, che disciplina i contributi economici per gli interventi di prevenzione del rischio sismico, previsti dall'Art. 11 della Legge n° 77 del 24.06.2009
- DGRT n° 144 del 23.02.2015, recepimento a livello regionale dell'OPCM n° 171/2014 con riferimento ai territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi di MS, le modalità di predisposizione delle specifiche tecniche per la realizzazione dei suddetti studi, le modalità di recepimento ed utilizzo dei risultati degli studi di Microzonazione Sismica in fase pianificatoria ed i criteri di selezione dei soggetti realizzatori degli studi di Microzonazione Sismica
- Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS) approvati il 13 Novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e s.m.i.
- Specifiche tecniche regionali: Allegato A alla DGRT n° 144/2015, Appendice 5
- Istruzioni Tecniche del Programma VEL (Valutazione Effetti Locali) della Regione Toscana, nonché alle indicazioni contenute nel Volume di Ingegneria Sismica 2/2011
- Indicazioni contenute nel Volume di Ingegneria Sismica 2/2011
- La Regione Toscana, per dare attuazione all'Ordinanza CDPC n. 344/16, disciplinante i contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico previsti dall'art.11 della legge n.77 del 24/06/2009, tra cui gli studi di Microzonazione Sismica, con la sottostante Delibera 468 ha disposto la realizzazione di una campagna di studi ed indagini con l'obiettivo di implementare l'approccio qualitativo del I Livello alla quantificazione della risposta sismica locale, propria dei Livelli II e III.
- Delibera GRT n. 468 del 02/maggio 2018
- Tutto lo studio è adeguato agli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2.

SCOPO E METODOLOGIA DEL LAVORO

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare la conoscenza sulle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie, restituendo informazioni utili per il governo del territorio. Nella pianificazione territoriale, in funzione delle varie scale e dei vari livelli di intervento, gli studi di Microzonazione Sismica sono condotti su quelle aree per le quali il quadro normativo consenta o preveda l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, la loro potenziale trasformazione a tali fini, o ne preveda l'uso ai fini di protezione civile. Gli studi di MS sono di fondamentale importanza nella pianificazione al fine di:

- ✓ orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti
- ✓ definire gli interventi ammissibili in una data area
- ✓ programmare le indagini e i livelli di approfondimento
- ✓ stabilire orientamenti e modalità di intervento nelle aree urbanizzate
- ✓ definire priorità di intervento

Lo studio di Microzonazione Sismica si differenzia in funzione del livello di approfondimento che si vuole raggiungere:

- il livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee (MOPS)
- il livello 2 introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee, utilizzando ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce una vera carta di Microzonazione Sismica
- il livello 3 restituisce una carta di MS con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

Il lavoro di MS di Livello 3 del Comune di Monterchi è stato svolto in più fasi tra loro connesse. Prioritaria è stata la scelta la raccolta e la verifica delle indagini esistenti, degli studi pregressi e della ricca letteratura scientifica dedicata all'Alta Valtiberina; successivamente è stata eseguita una specifica campagna di approfondimento che ha previsto l'esecuzione di nuove indagini geognostiche. L'ubicazione, la tipologia ed il numero delle indagini realizzate nell'ambito del presente Livello 3 hanno consentito specifici approfondimenti in zone ad elevata sensibilità sismica del territorio comunale, quali le frane e le zone prossimali alle faglie ritenute attive e capaci già nell'ambito della redazione dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1. Sono stati ottenuti set di parametri dinamici per ogni microzona, in modo che la parametrizzazione sismostratigrafica delle unità che caratterizzano le sezioni analizzate fosse basata su una quantità adeguata e ragionevolmente attendibile di dati. Tutte le indagini a disposizione, acquisite e quindi pre-esistenti, e di nuova realizzazione, sono state oggetto di interpretazione critica per la predisposizione della Carta di Microzonazione Sismica, riferita ai Fattori di Amplificazione.

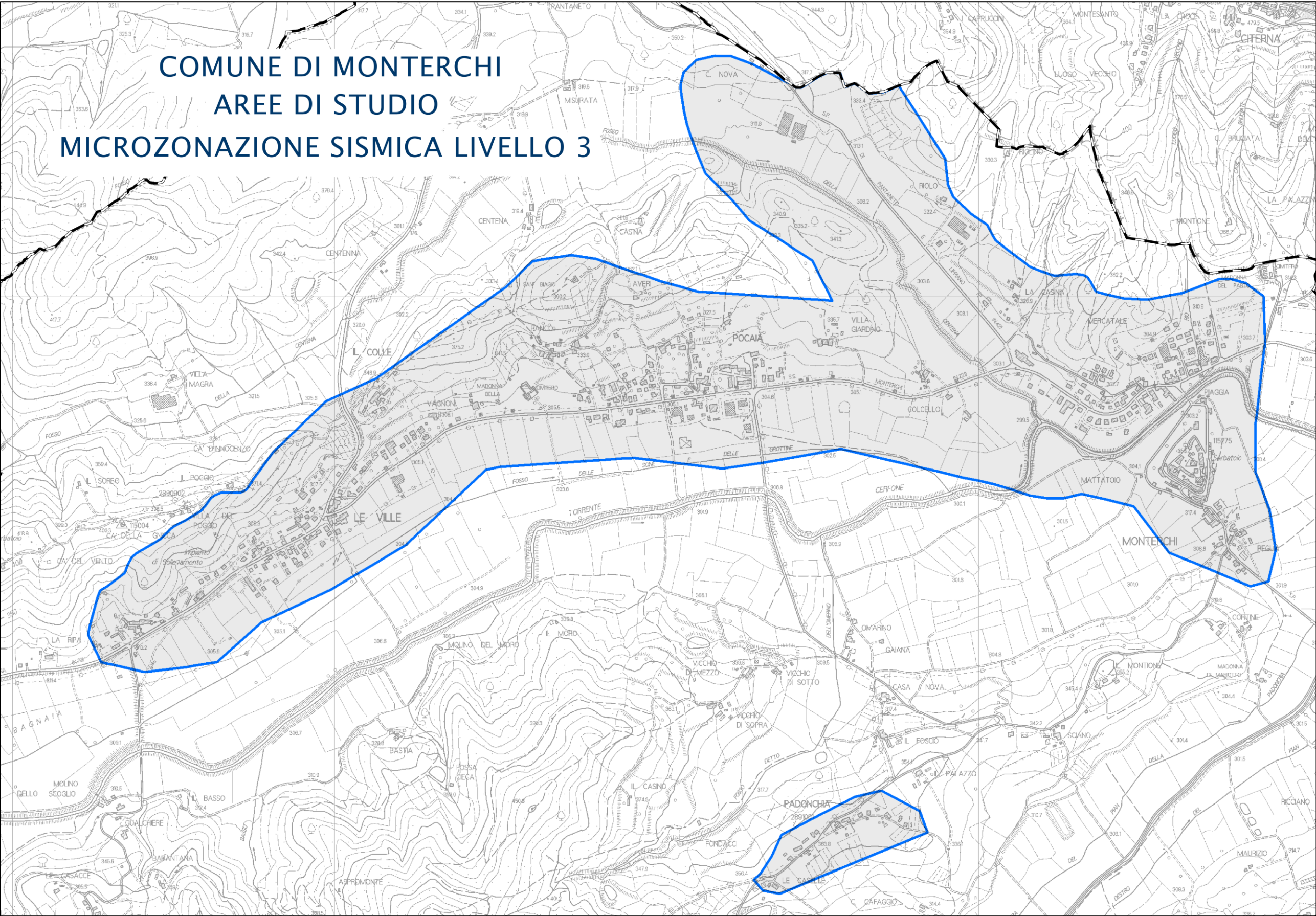
INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

La scelta dei siti da sottoporre a microzonazione sismica di livello 3 è stata condotta in termini di rischio, associando la pericolosità del territorio in termini di suscettibilità all'amplificazione sismica con le destinazioni d'uso dello stesso. La scelta, concordata con l'amministrazione comunale e con il Servizio Sismico della Regione Toscana, ha tenuto in debita considerazione le destinazioni e le previsioni urbanistiche del territorio comunale, ritenendo significativo approfondire gli studi di microzonazione in tutte le aree indagate nel livello 1.

Di tutte le aree indagate nell'ambito del Livello 1 è stato ritenuto opportuno ed adeguato effettuare l'analisi numerica di terzo livello poiché il modello sismostratigrafico monodimensionale rischia di sottostimare l'azione sismica: le analisi di risposta sismica bidimensionale sono state pertanto svolte in corrispondenza del capoluogo e delle frazioni di Pocaia, Le Ville e Padonchia.

Le aree di indagine ricadono nel Foglio 289 "Monterchi" sezione III della Carta Topografica d'Italia I.G.M.I., alla scala 1:25.000.

Nella C.T.R. (Regione Toscana) scala 1:10.000 le aree di indagine ricadono all'interno delle sezioni 289090-289100.



ELENCO ELABORATI PRODOTTI

Le dimensioni invero piuttosto contenute delle aree oggetto di Microzonazione Sismica di Livello 3 hanno consentito la creazione di un'unica tavola per ognuna delle carte che rappresentassero in maniera leggibile i vari tematismi alla scala 1:5.000.

Gli elaborati cartografici prodotti nello studio di livello 3 sono i seguenti:

- Carta delle Mops
- Carta delle frequenze
- Carta dei dati di base
- Carta geologico-tecnica
- Carta di microzonazione sismica - Fattore di Amplificazione FH_a (0,1 - 0,5 Hz)
- Carta sezioni geotecniche

2. CONTESTO GEOLOGICO STRUTTURALE E SISMOTETTONICO

INQUADRAMENTO GEODINAMICO

L'Appennino Settentrionale è una catena a pieghe e sovrascorrimenti che si estende dalla regione del Monferrato a nord, fino al lineamento Olevano-Antrodoto a sud e le cui Unità tettoniche principali che lo costituiscono sono riferibili a due principali domini paleogeografici: 1) Il Dominio Ligure (Oceano Ligure-Piemontese o Tetide Alpina), da cui hanno origine le Unità Liguri, che sono costituite da lembi di crosta oceanica (ofioliti) e dalla loro copertura sedimentaria; e 2) Il Dominio Toscano ed Umbro da cui hanno origine le Unità Toscane ed Umbro-Marchigiane, che costituiscono la copertura sedimentaria del margine continentale assottigliato della microplacca Adriatica. L'evoluzione tettonica dell'Appennino Settentrionale va inquadrata nel regime di convergenza tra la placca Euroasiatica e la microplacca Adriatica. Essa si è sviluppata fin dal Cretaceo Superiore ed è tuttora in corso.

A partire dal Miocene, l'evoluzione dell'intera catena Appenninica è stata controllata dal movimento verso NNW della placca Africana (Blocco Pelagico) che ha indotto, secondo alcuni autori, l'estrusione laterale della catena stessa, contemporaneamente all'apertura del Mar Tirreno. In particolare, l'estensione Tirrenica, localizzata in corrispondenza della zona di sutura principale della catena appenninica, è stata generalmente spiegata ammettendo una subduzione W-vergente, che arretra verso E, e che coinvolge la microplacca Adriatica, producendo in tal modo un'estensione crostale. Recentemente, l'estensione continentale è stata associata principalmente a faglie estensionali est immergenti, ubicate nell'area Tirrenica settentrionale e nella zona assiale della catena. A questi modelli che riferiscono l'evoluzione recente dell'Appennino Settentrionale ad un regime principalmente estensionale da mettere in relazione all'area di retro-arco Tirrenica, se ne contrappongono altri che, sulla base di studi geologico-strutturali di superficie e di

interpretazione di sezioni sismiche crostali, interpretano l'evoluzione dell'Appennino Settentrionale secondo modelli deformativi più complessi e caratterizzati da fasi compressive fino al Pleistocene inferiore. Quest'ultima interpretazione è supportata da varie evidenze geofisiche di tettonica compressiva crostale. Quindi, l'evoluzione Neogenico-Quaternaria dell'Appennino Settentrionale, lungi da essere definitivamente compresa, è tuttora oggetto di discussione data la sua estrema complessità, e data la sua particolare collocazione geodinamica di catena laterale rispetto alla direzione principale di convergenza verso N fra la placca Africana ed Euroasiatica. Riassumendo, in Appennino Settentrionale si riscontra una coesistenza tra i fenomeni d'estensione crostale, associati all'apertura del Bacino Tirrenico, e di compressione crostale, associati al movimento verso N della placca Africana.

L'interpretazione della sezione crostale Crop-03 che attraversa l'Appennino Settentrionale, ha messo in luce nella struttura profonda della catena una tettonica per sovrascorrimento alla scala litosferica. Le vecchie strutture crostali W-vergenti sono tagliate da sovrascorrimenti E-vergenti che costituiscono le strutture deformative più recenti della catena. La discontinuità di Moho è interessata da un sovrascorrimento che determina una zona di raddoppio crostale in corrispondenza dello spartiacque regionale. Dalla sezione emerge un notevole disaccoppiamento tettonico tra il basamento e la sua copertura sedimentaria lungo il livello evaporitico, che costituisce la base della gran parte delle successioni sedimentarie Toscane ed Umbro-Marchigiane. I piani di sovrascorrimento vengono rifratti all'attraversamento delle coperture in numerosi piani secondari. In generale, il regime tettonico risulta compressivo, sebbene in prossimità della superficie si rilevino numerose faglie normali. In particolare lungo la zona di raddoppio crostale, in prossimità dello spartiacque appenninico, si sviluppa una faglia normale est-immergente a basso angolo (Faglia Alto-Tiberina) che sembra, insieme con le strutture sintetiche ed antitetiche ad alto angolo, controllare la deformazione sismogenetica in questa zona di catena (Delle Donne, 2004).

INQUADRAMENTO SISMO-TETTONICO

Il territorio comunale di Monterchi risulta esposto in maniera critica al rischio sismico, tanto che nel tempo il territorio ha subito sismi devastanti con epicentri sia all'interno del territorio comunale che all'esterno di esso.

Dal 1352 al 1917 sono stati contati 4 terremoti con intensità compresa fra 5.5 e 6.5 che hanno avuto epicentro nel raggio di 10 km dal capoluogo del comune indagato.

In particolare i 2 terremoti maggiormente catastrofici sono avvenuti nel 1352 e nel 1917 ed hanno avuto una magnitudo prossima e maggiore a 6.

**1352 12 25
MONTERCHI**

	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	Np	Imax (MCS)
CPTI11	43.469	12.127			6.44 ± 0.54		
macrosismico	43.469	12.127		9	6.44 ± 0.54	7	9

**1458 04 26
12:15 Val
Tiberina**

	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	Np	Imax (MCS)
CPTI11	43.463	12.236			5.78 ± 0.34		
macrosismico	43.463	12.236		8-9	5.78 ± 0.34	5	8-9

**1789 09 30
10:00 Valtiberina**

	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	Np	Imax (MCS)
CPTI11	43.510	12.217			5.84 ± 0.24		
macrosismico	43.510	12.217		9	5.84 ± 0.24	73	9

**1917 04 26
09:35:59 Valtiberina**

	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	Np	Imax (MCS)
CPTI11	43.467	12.129			5.89 ± 0.11		
macrosismico strumentale	43.467	12.129		09- 10	5.91 ± 0.12 5.73 ± 0.37	134	9-10

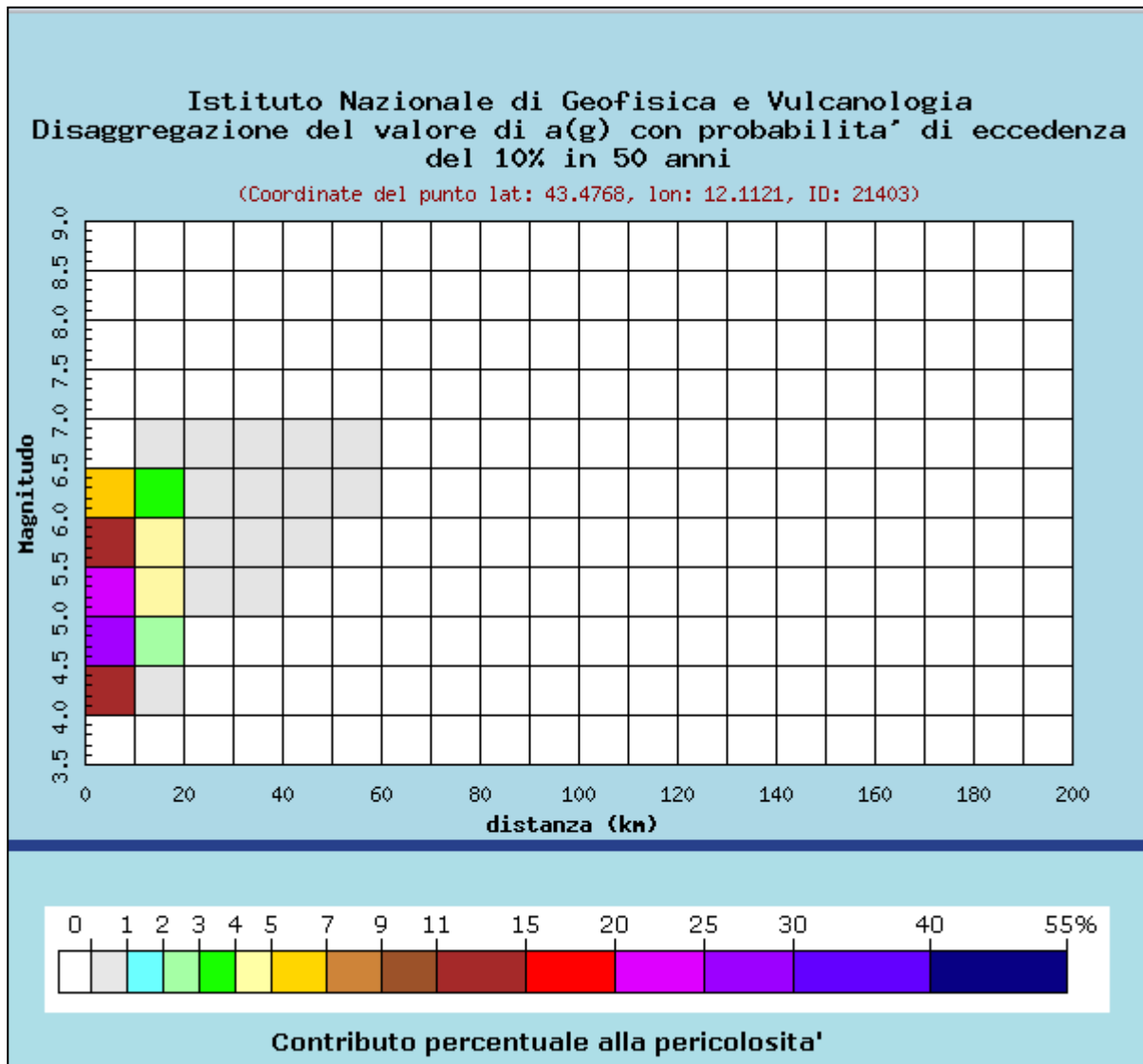


Figura 1 - Disaggregazione dei dati della pericolosit  sismica, come si pu  notare, la pericolosit  sismica   provocata da coppie Magnitudo-Distanza entro i 10 Km

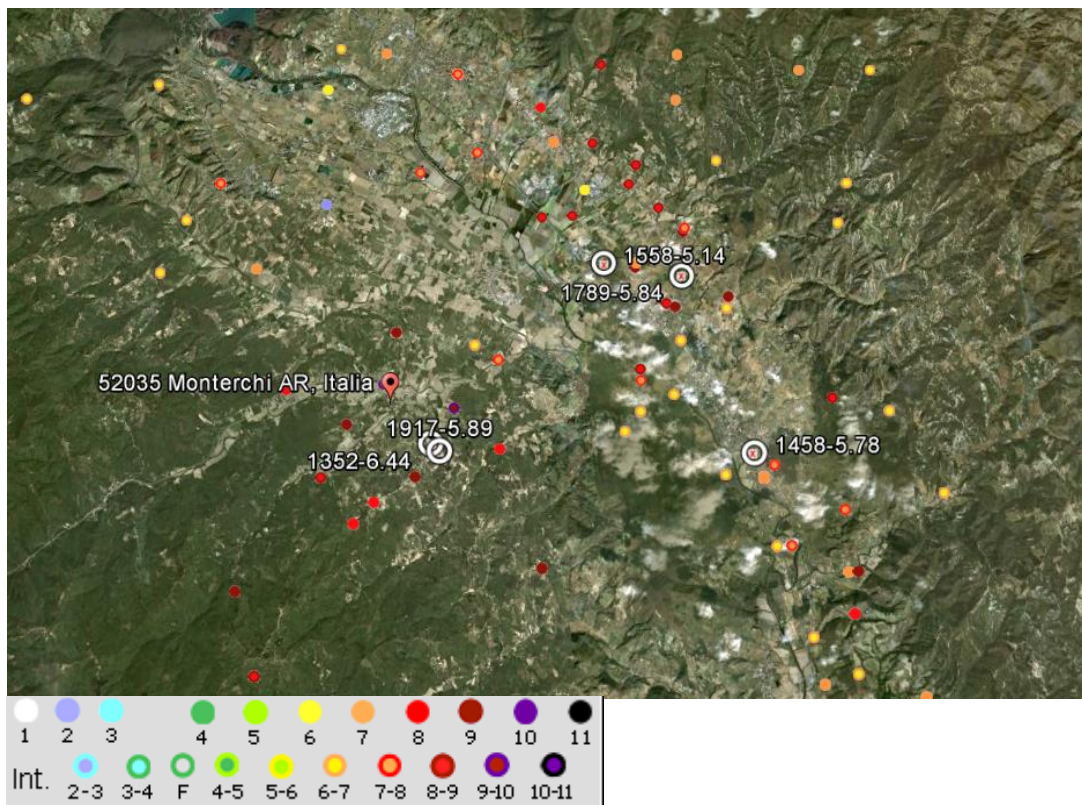


Figura 2 - Principali sismi avvenuti in Monterchi ed effetti (Mercalli)

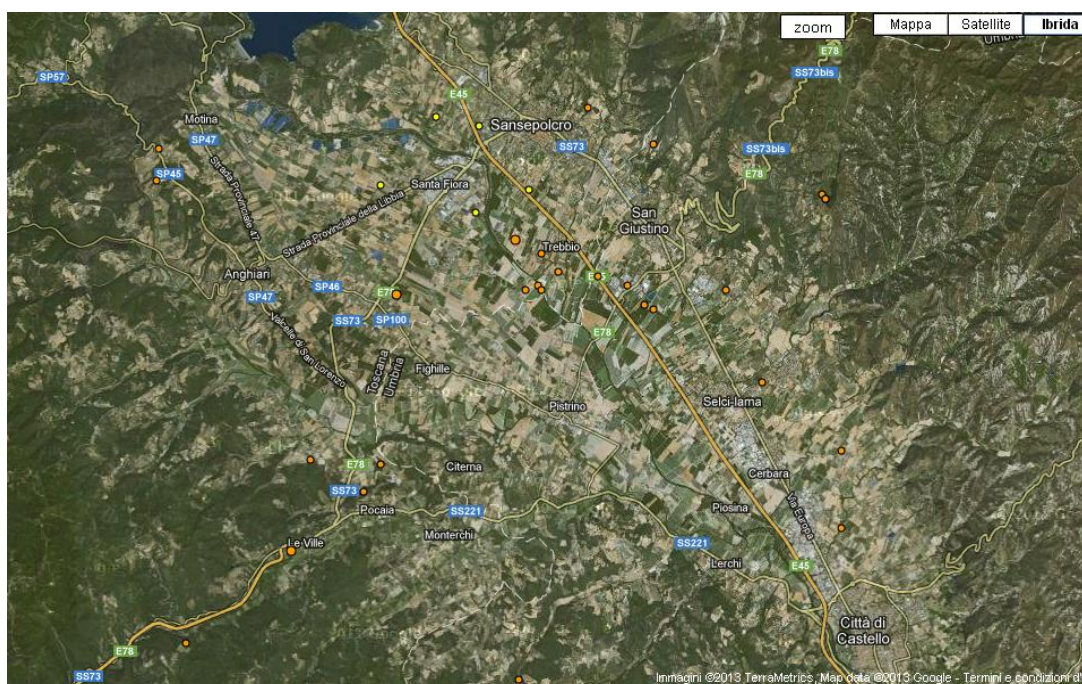


Figura 3 - Mappa degli epicentri registrati da sismica strumentale

Pur maggiormente prossima al margine occidentale del bacino alto tiberino, l'area oggetto di indagine è posta in posizione genericamente intermedia tra i bacini di Arezzo e dell'Alta Val Tiberina; l'evoluzione stratigrafica e tettonica è pertanto del tutto coerente con quella dei sopracitati bacini. L'evoluzione dei bacini di Arezzo e dell'Alta Val Tiberina è stata prevalentemente controllata nel primo caso da strutture ad andamento anti-appenninico mentre nel secondo dall'attivazione – a più riprese – di un sistema di faglie normali appenniniche. L'area in oggetto pertanto, nella sua configurazione morfologica e nella sua evoluzione stratigrafica e tettonica ha risentito, e risente tuttora, della presenza di questi due contesti tettonici: uno prevalentemente compressivo – legato all'attivazione delle faglie trascorrenti che segmentano questo settore di catena, ed uno quasi unicamente distensivo – legato all'attivazione, anche molto recente, delle faglie normali che bordano l'Alta Val Tiberina.

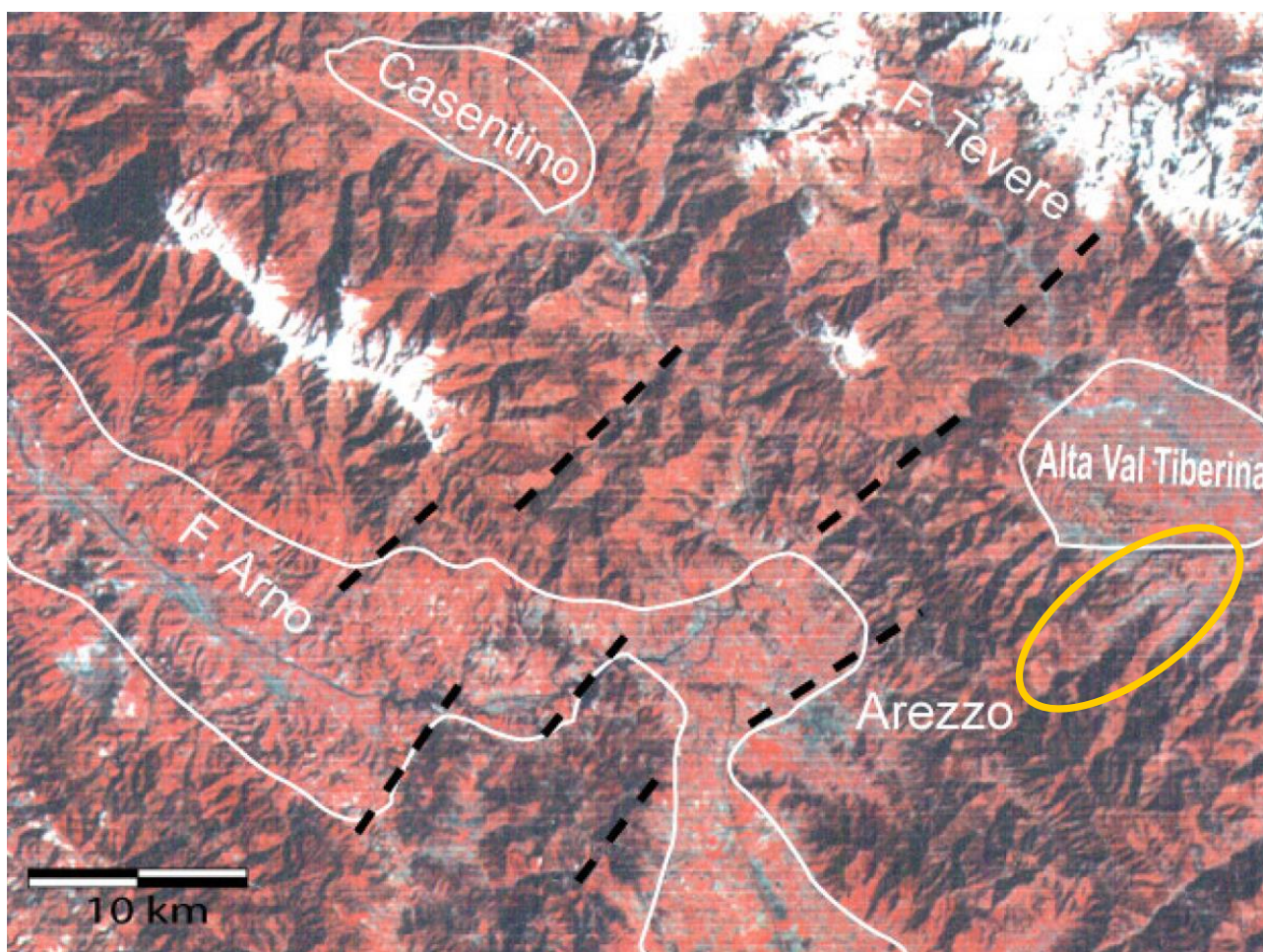


Figura 4 - Immagine LANDSAT-TM del settore compreso tra il bacino del Valdarno superiore ad ovest, e l'alta valle del Tevere ad est, e dal Casentino a nord, alla Val di Chiana a sud. Sistemi di faglie orientate in senso NE-SW (linea tratteggiata nera) interferiscono e delimitano i vari bacini Quaternari (linea continua bianca).

Dalla Tesi di Dottorato di Dario Delle Donne

ELEMENTI TETTONICI

Il rilevamento geologico e l'esame critico della campagna geognostica acquisita e di nuova realizzazione nell'ambito del presente studio, ha permesso il riconoscimento di rapporti tettonici tra le varie unità presenti. In particolare sono state riconosciute, direttamente o desunte dalle indagini, faglie normali a direzione sia appenninica – le principali – sia antiappenninica – quelle meno rilevanti. Trattandosi peraltro di strutture aventi carattere regionale con notevole continuità spaziale, ed essendo già oggetto di interesse accademico poiché verosimilmente sismogenetiche, lo studio per la corretta ubicazione di dette faglie nelle relative cartografie si è avvalso dei più recenti lavori pubblicati su riviste scientifiche.

Di seguito saranno descritte le singole strutture tettoniche riconosciute.

FAGLIA DI SAN BIAGIO-POCAIA

La faglia di San Biagio – Pocaia è una faglia normale disposta NW-SE ed est-immersa. Consente la giustapposizione tettonica dei terreni appartenenti al substrato pre-Quaternario e dei terreni conglomeratici corrispondenti ai depositi fluvio-lacustri pleistocenici. In corrispondenza della sella immediatamente a sud-ovest della sommità di Poggio San Biagio affiora chiaramente il contatto tettonico sopra descritto. La porzione di faglia certa è evidenziata dal contatto di cui sopra, mentre quella inferita è tracciabile seguendo, lungo il versante, il contatto tra conglomerati in posto e falda detritica, mentre nel settore di fondovalle il suo tracciato è ipotizzato congiungendo il tratto certo con la rottura di pendio, e conseguente formazione di una superficie di spianamento, verificato a sud dall'area di indagine, in Loc. Vicchio. Anche verso nord, comunque fuori dall'area strettamente oggetto di indagine, la faglia è riconoscibile per una netta rottura di pendio cui è associata una superficie di spianamento: è quella in Loc. Cerchiaie. Il rigetto complessivo associato alla faglia è desumibile dall'osservazione critica delle misure di rumore effettuate sulla dorsale di San Biagio; queste mostrano un contrasto di rigidità, associabile alla comparsa del substrato arenaceo rigido, a circa 50-60 m di profondità: il rigetto complessivo, al netto dell'erosione a carico dei terreni conglomeratici, è di almeno 60 m.

FAGLIA DI MERCATALE

La faglia di Mercatale, così come quella del F.so Centena – Vd. successivamente – fa parte del sistema di strutture normali – Faglia del Sovara e ramo occidentale della Faglia di Anghiari – e verosimilmente sismogenetiche, che hanno controllato l'innalzamento dei rilievi di Anghiari-Citerna. E' assai difficile attribuire la faglia di Mercatale al sistema dislocativo del T. Sovara o a quello riferibile alla faglia di Anghiari.

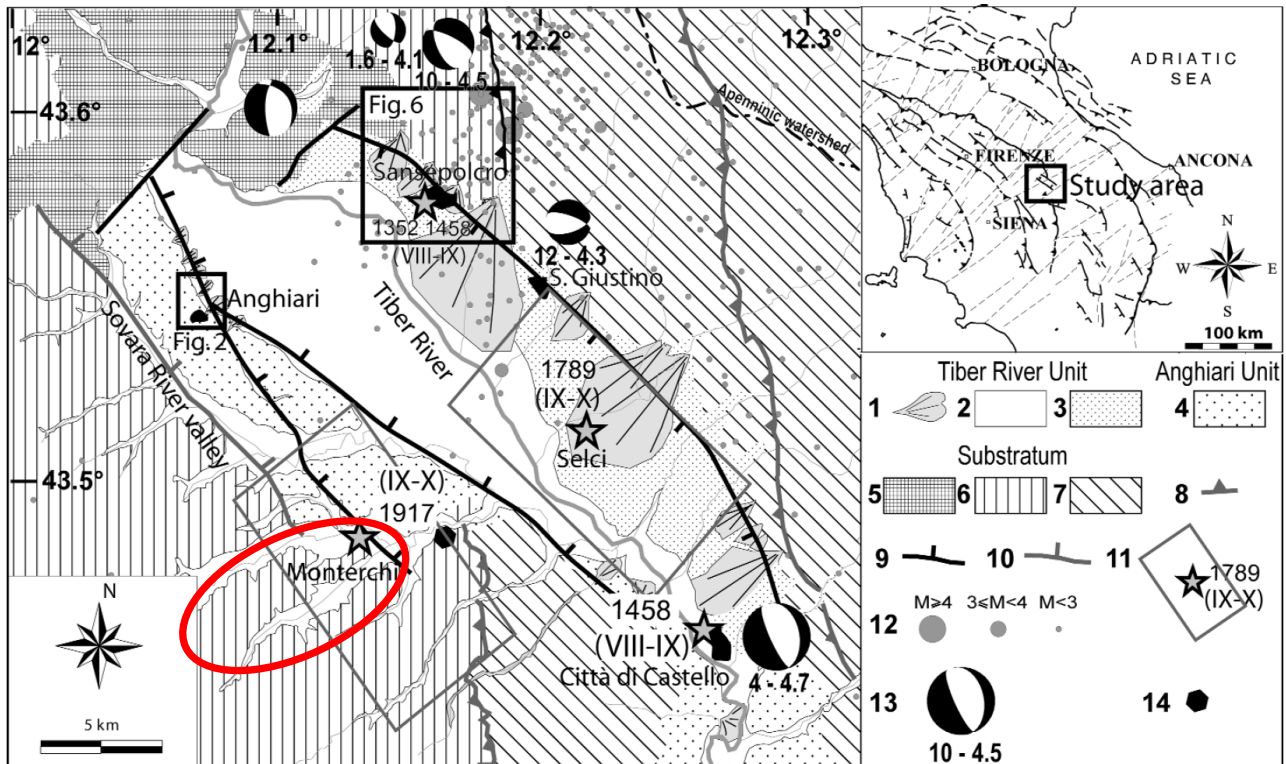


Fig. 1 - Seismotectonic map of the Upper Tiber Basin (Northern Apennines, Italy): 1) Holocene alluvial fans; 2) Holocene alluvial deposits; 3) Middle-Late Pleistocene terraced deposits; 4) Early-Middle Pleistocene deposits; 5) Ligurian Units; 6) Tuscan Units; 7) Umbro-Marchean Units; 8) Miocene thrust fronts; 9) Main Quaternary faults (barbs on the downthrown side); 10) Sovara Quaternary fault; 11) Macro seismic epicentre (star) with year of occurrence, maximum MCS intensity and related seismic source (from VALENSISE & PANTOSTI Eds., 2001); 12) Instrumental seismicity recorded during the years between 1985 and 2000 (from VALENSISE & PANTOSTI Eds., 2001); 13) Focal mechanisms, numbers on bottom indicate depth focus (km) and magnitude, respectively (VANNUCCI *et alii*, 2004); 14) Location of co-seismic fissures indicated by ODDONE (1918).

- Schema sismotettonico del Bacino Alto Tiberino (Appennino Settentrionale): 1) Conoidi alluvionali oloceniche; 2) Depositi alluvionali olocenici; 3) Depositi terrazzati medio-tardo Pleistocenici; 4) Depositi riferibili al Pleistocene Inferiore-Medio; 5) Unità Liguri; 6) Unità Toscane; 7) Unità Umbro Marchigiane; 8) Fronti d'accavallamento Miocenici; 9) Faglie Quaternarie principali (i trattini indicano il lato ribassato); 10) Faglia Quaternaria del T. Sovara; 11) Epicentro macrosismico (stella) con indicato l'anno, la massima intensità (MCS) raggiunta e l'ubicazione della sorgente sismica (da VALENSISE & PANTOSTI Eds., 2001); 12) Sismicità strumentale registrata dal 1985 al 2001 (da VALENSISE & PANTOSTI Eds., 2001); 13) Meccanismi focali, i numeri indicano rispettivamente la profondità focale (km) e la magnitudo (VANNUCCI *et alii*, 2004); 14) Ubicazione delle fessurazioni co-sismiche indicate da ODDONE (1918).

In considerazione del rigetto associato alla struttura in oggetto pare tuttavia più verosimile possa trattarsi della prosecuzione verso sud del ramo occidentale della Faglia di Anghiari.

Il sondaggio S1 – n° 35 nella Carta delle Indagini - eseguito nell'ambito del Progetto VEL, in corrispondenza delle scuole elementari e medie di Monterchi, evidenzia la presenza, almeno per i 60 m della sua profondità, della litofacies limoso-sabbiosa della successione fluvio-lacustre pleistocenica. Detto materiale deve la presenza, in rapporti di giustapposizione, della facies conglomeratica – quella stratigraficamente superiore – proprio alla faglia in oggetto. Anche le tomografie elettriche, eseguite tra Mercatale e Pantaneto, ben evidenziano la presenza della suddetta struttura dislocativa: porta infatti a contatto terreni conduttivi, come quelli sul letto della faglia, con quelli assai più resistivi sul tetto.

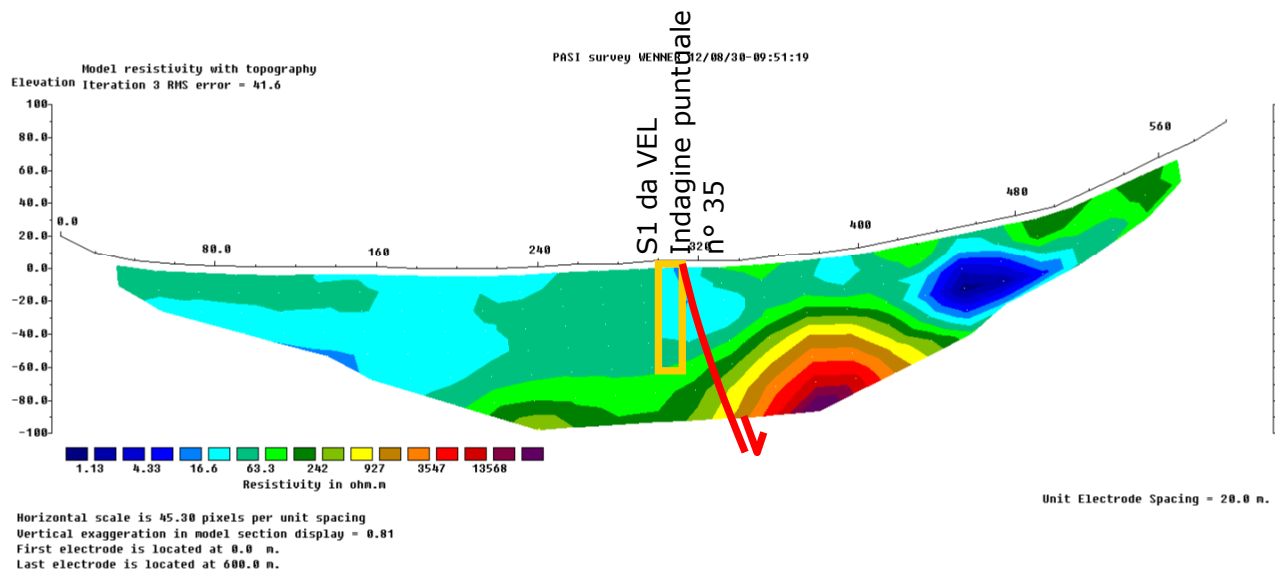


Figura 5 – Tomografia elettrica eseguita nell'ambito del Livello 1 di Microzonazione Sismica

La determinazione della posizione della faglia in oggetto trova conferma anche con quanto emerso nell'ambito dell'esecuzione degli stendimenti di sismica a rifrazione in onde P ed Sh - St8 ed St9 (rispettivamente i n° 9 ed 8 nella Carta delle Indagini) - eseguiti all'interno del Progetto VEL:

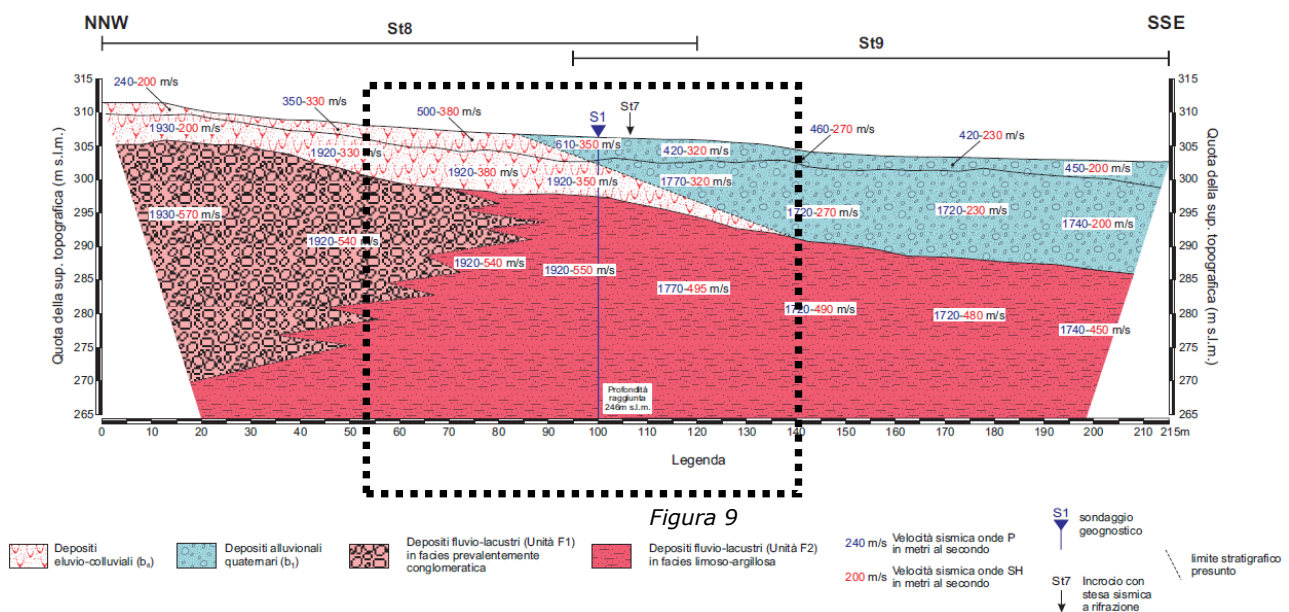


Figura 6 – St8-St9 del Progetto VEL

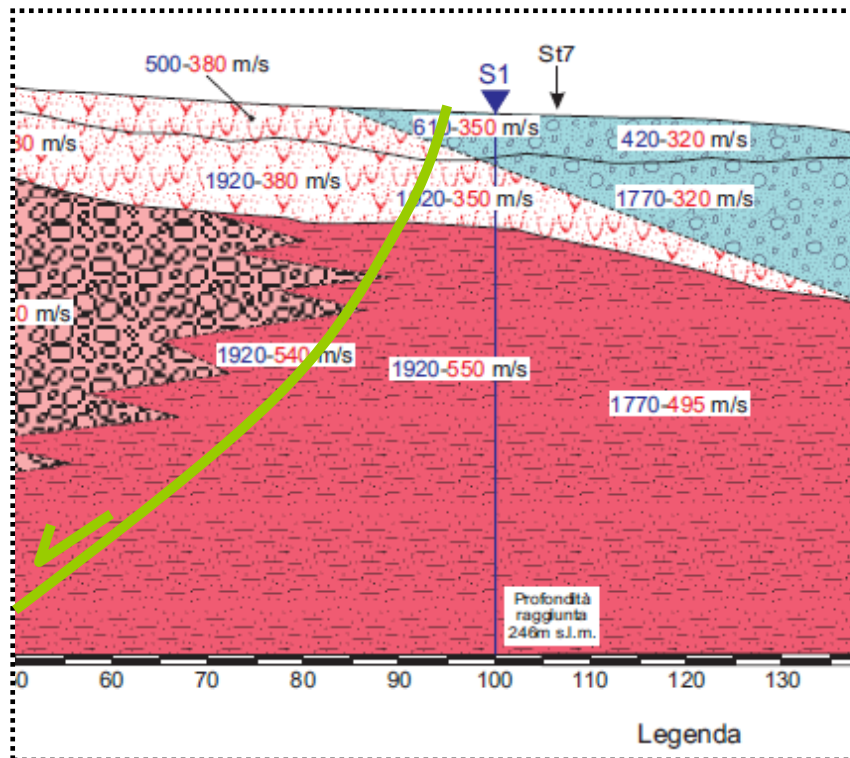


Figura 7 – Particolare della Fig. 8

Il rigetto associato a questa faglia, coerentemente con i rigetti espressi dal sistema della Faglia di Anghiari è certamente superiore a 100 m: tuttavia le informazioni stratigrafiche a disposizione, la profondità delle indagini dirette e la profondità raggiunta con le indagini geofisiche, non permettono tanto una determinazione certa del rigetto complessivo, quanto piuttosto una stima inferiore dello stesso; può pertanto essere asserito come il rigetto medio associato all'attivazione, seppur in più riprese, della faglia di Mercatale, debba essere considerato comunque non inferiore a 60-80 m.

FAGLIA DEL CENTENA

La faglia del Centena è una faglia normale, orientata NW-SE ed est immergente, che si biforca da quella di Mercatale in corrispondenza dell'abitato di Pantaneto. Il riconoscimento della traccia di faglia è permesso dal notevole controllo morfostrutturale che questa ha sul F.so Centena, il quale, nell'area compresa tra le località di Pantaneto e Mercatale, assume un orientamento NW-SE, del tutto coerente, peraltro, con quello del T. Sovara. Questa coerenza, se da un lato non è sufficiente da sola a sostenere come la faglia in oggetto possa rappresentare la prosecuzione verso sud di quella del Sovara, dall'altro permette di attribuire le due faglie al medesimo contesto tettonico e strutturale.

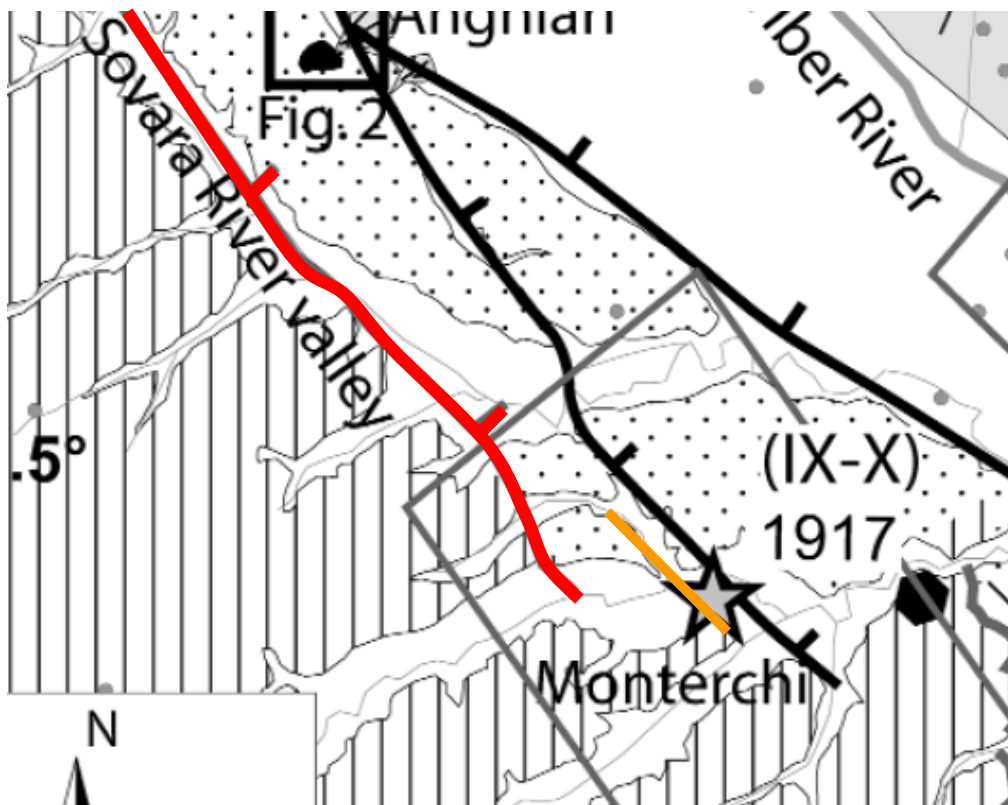


Fig. 8 – particolare della Fig. 1 di Delle Donne et al. (2007) ridisegnato: il tratto rosso rappresenta la Faglia del Sovara, mentre il tratto arancio rappresenta la Faglia del Centena; in nero la Faglia di Anghiari.

La faglia del Centena disloca, con rigetti complessivi notevoli e comunque non inferiori a 100 m, l'intera successione fluviolacustre pleistocenica. La presenza della faglia del Centena giustifica tettonicamente il sub-affioramento della litofacies limoso-sabbiosa quasi alla stessa quota di quella conglomeratica. Lo spessore della successione fluviolacustre a sedimentazione fine, e quindi la stima per difetto del rigetto totale associato alla faglia, è stato valutato dall'analisi critica dei risultati del già richiamato sondaggio VEL S1 e degli stendimenti di tomografia elettrica realizzati nell'ambito del Livello 1 e del presente Livello 3 di Microzonazione Sismica.

Come sarà più chiaro in seguito, al momento della rappresentazione dell'evoluzione tettonica e stratigrafica dell'area oggetto di studio, sussiste un rapporto di antecedenza tra le faglie del

Centena e quella di Mercatale, così che quest'ultima taglia la prima, e la disloca conseguentemente, nei pressi di Pantaneto; si osservi del resto come i rilievi che circondano l'area pianeggiante di Pantaneto siano impostati sulla litofacies conglomeratica della successione fluviolacustre, al di fuori quindi di quella stretta fascia di sub-affioramento della litofacies limoso-sabbiosa compresa tra le due faglie (del Centena e di Mercatale). Giova inoltre segnalare come le scarse informazioni stratigrafiche e tettoniche nel settore immediatamente a nord dell'incisione fluviale del F.so Centena, permettano di dire poco sull'eventuale continuità tettonica della struttura.

FAGLIE TRASVERSALI DI RIOLO E DEL T. CERFONE

L'intera successione fluviolacustre ha subito, durante l'attivazione delle due principali faglie (quella di Anghiari e quella del Sovara), un basculamento verso i settori nord-occidentali: questo basculamento è dimostrato dalla giacitura dei livelli conglomeratici riconoscibile in vari affioramenti nell'area di indagine.



Piano di stratificazione
della litofacies conglomeratica

*Fig. 9 – Piano di stratificazione
rilevato all'interno della litofacies
conglomeratica.*

L'esistenza delle due faglie ad andamento SW-NE permette di giustificare, perlomeno nel blocco di tetto della faglia di Mercatale, l'affioramento della sola litofacies conglomeratica, senza cioè che l'immersione della successione portasse in esposizione anche la sottostante litofacies limoso-sabbiosa. Le due faglie, certamente successive alle due principali del Centena e di Mercatale, determinano una seppur modesta dislocazione di queste ultime. Il tracciato della struttura più a nord, passante tra Mercatale e Loc. Riolo, è dedotto da rapporti

stratigrafici incongrui evidenziati con le tomografie elettriche eseguite nell'ambito del presente Livello 3 e giustificabili appunto solo con la presenza di una struttura dislocativa di tipo normale. La faglia del T. Cerfone è invece marcata nettamente dal corso del suddetto torrente: in questo ultimo caso la faglia permette la connessione tra un settore in cui il T. Cerfone è rigidamente controllato strutturalmente ed uno in cui invece è libero di fluire come canale meandriforme fino alla confluenza con il T. Sovara (Vd. Fig. 10).

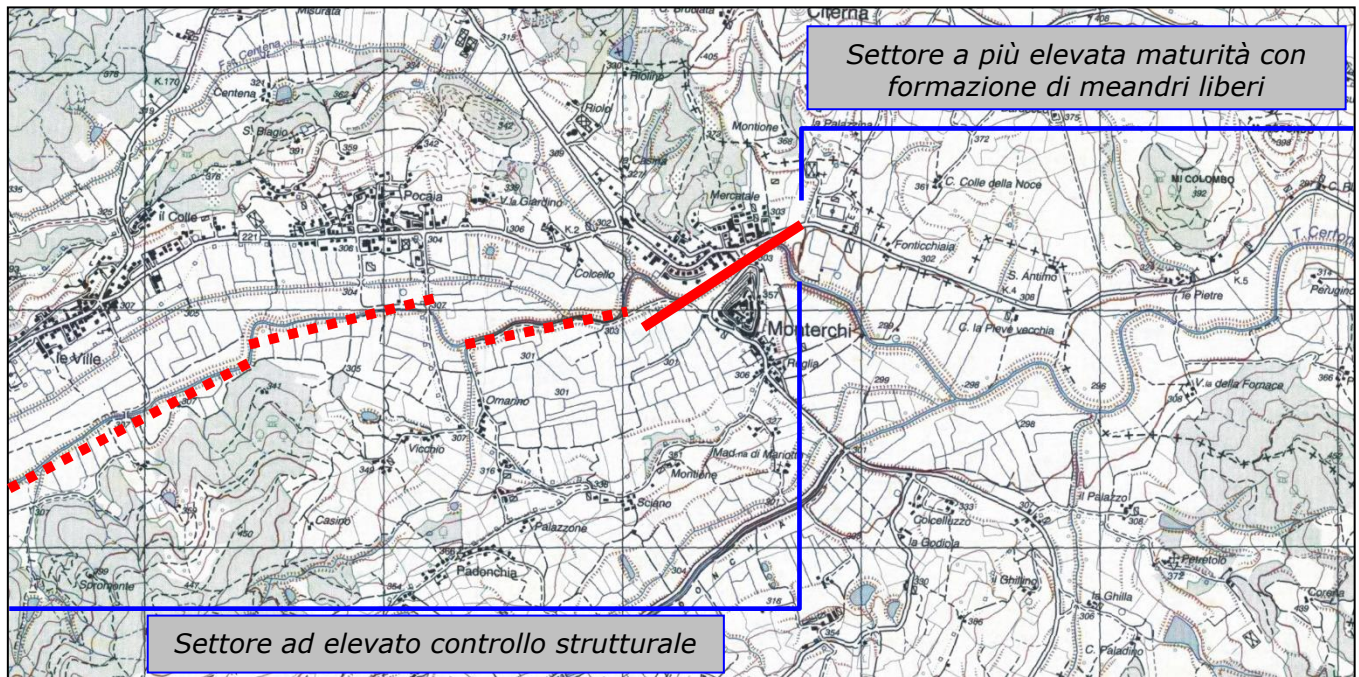


Fig. 10

Il rigetto associato alle due strutture trasversali è invero determinabile solo con l'esecuzione delle sezioni geologiche: si ritiene possa essere di poche decine di metri.

Le due faglie devono, a parere dello Scrivente, essere ricondotte a quel sistema di tettonica trascorrente e transtensiva ad andamento anti-appenninico che ha tormentato, fino al tardo Pleistocene, questo settore di catena e di cui si trova ancora traccia ai margini dei bacini aretino ed alto-tiberino.

EVOLUZIONE TETTONICA

Durante il Tortoniano si è verificata l'ultima traslazione delle coperture toско-liguri nel settore tirrenico di questo tratto della catena: si sono quindi strutturati, in questa fase, i sovrascorrimenti che hanno portato l'Unità Tettonica Morello a sormontare l'Unità Canetolo e l'Unità Tettonica Cervarola-Falterona. Tutti i principali thrust interni all'Unità Tettonica Cervarola-Falterona, affiorante nei rilievi a tergo del tratto compreso tra Le Ville e Pocaia ed a Padonchia, si sono verosimilmente attivati in questa fase. Per illustrare l'evoluzione tettonica e stratigrafica dell'area oggetto di studio, si è provveduto alla realizzazione di sezioni esemplificative, schematiche e non in scala, posizionate lungo l'asse maggiore dell'area in oggetto.

Nel Pleistocene inferiore si enuclea la Faglia del Sovara e quella, connessa da un punto di vista tettonico, del Centena (Fase 1; Vd. Fig. 11).

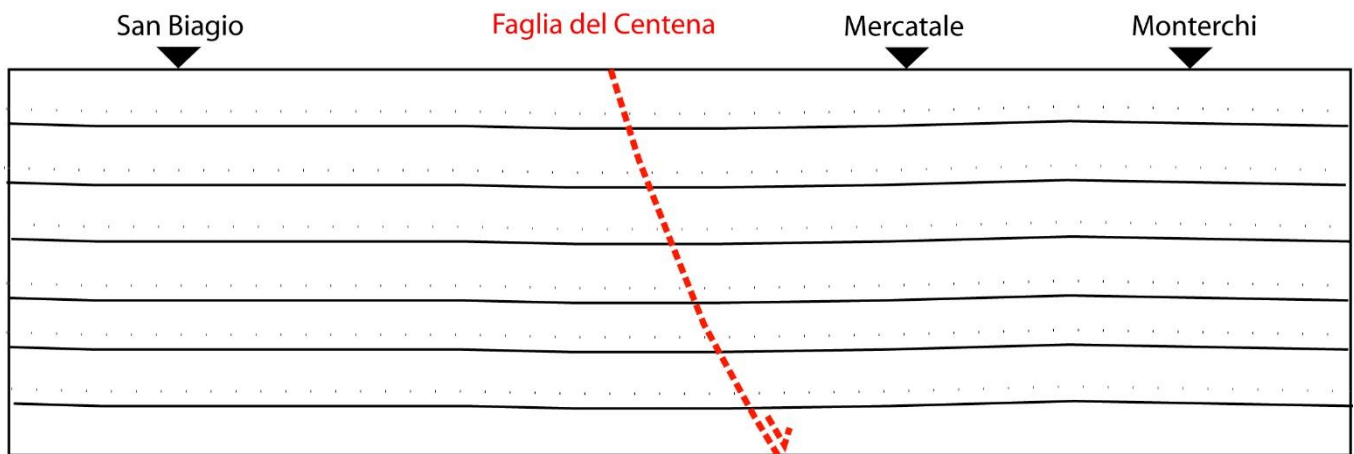


Fig. 11 – Fase 1

Questa struttura, ribassando il blocco orientale, permette la deposizione di una successione sedimentaria, prima più spiccatamente lacustre e poi marcatamente di facies fluviale (Fase 2; Vd. Fig. 12).

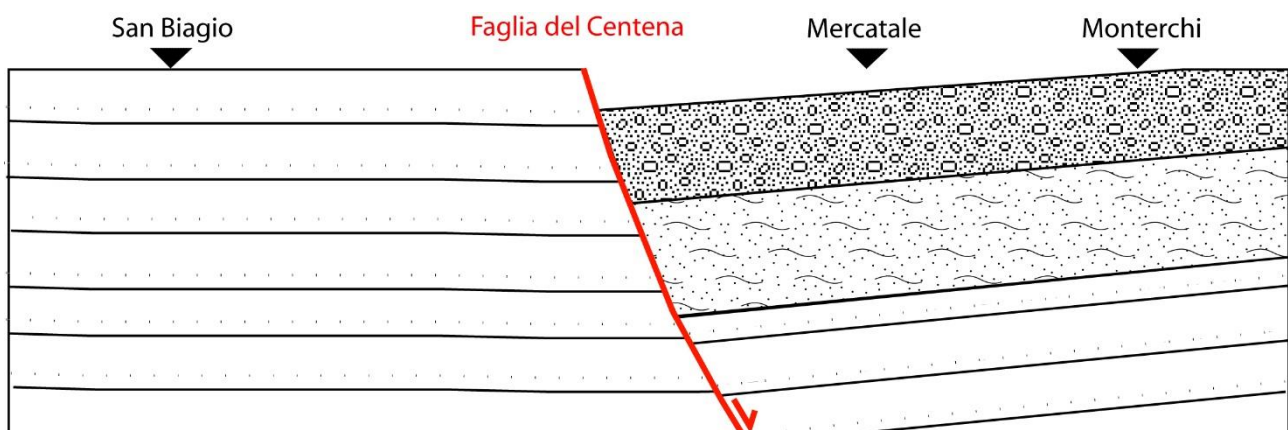


Fig. 12 – Fase 2

La successione in facies fluviale continua la sua sedimentazione grossolana colmando la depressione indotta dall'attivazione della faglia e, complice un'indubbia erosione occorsa a carico del letto arenaceo di quest'ultima, "onlappa" direttamente sopra il substrato pre-Quaternario fin quasi, verosimilmente, l'abitato de Le Ville (Fase 3; Vd. Fig. 13).

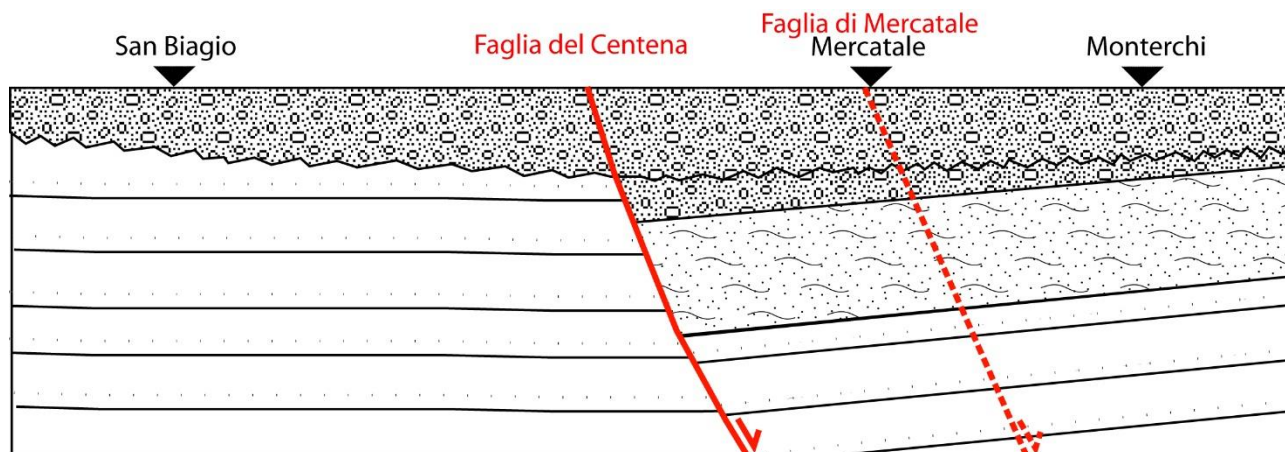


Fig. 13 – Fase 3

Nel Pleistocene inferiore-medio si attiva anche la faglia di Anghiari; la suddetta faglia è tuttavia caratterizzata dalla presenza di due rami (Vd. Fig. 8), uno dei quali, quello più occidentale, è assai probabilmente da riferirsi alla faglia di Mercatale. L'attivazione della faglia del Sovara prima, e del ramo orientale di quella di Anghiari poi, ha determinato il basculamento ed il successivo sollevamento di un blocco di successione fluvio lacustre plio-pleistocenica dell'Alta Valle del Paleo Tevere. La collina su cui sorgono Anghiari e Citerna pertanto costituisce un alto strutturale: delimita, insieme al substrato arenaceo che caratterizza le propaggini valtiberine del rilievo dell'Alpe di Poti, una stretta valle al cui centro scorre il T. Sovara. E' presumibile che il T. Sovara si sia impostato in una lineazione di debolezza subcrostale, proprio in corrispondenza della faglia. L'attivazione della faglia di Mercatale ribassa invece uno stretto blocco, soggetto pertanto a forte basculamento tettonico, compreso tra la faglia del Centena e quella di Anghiari s.s. (ramo orientale) (Fase 4; Vd. Fig. 14).

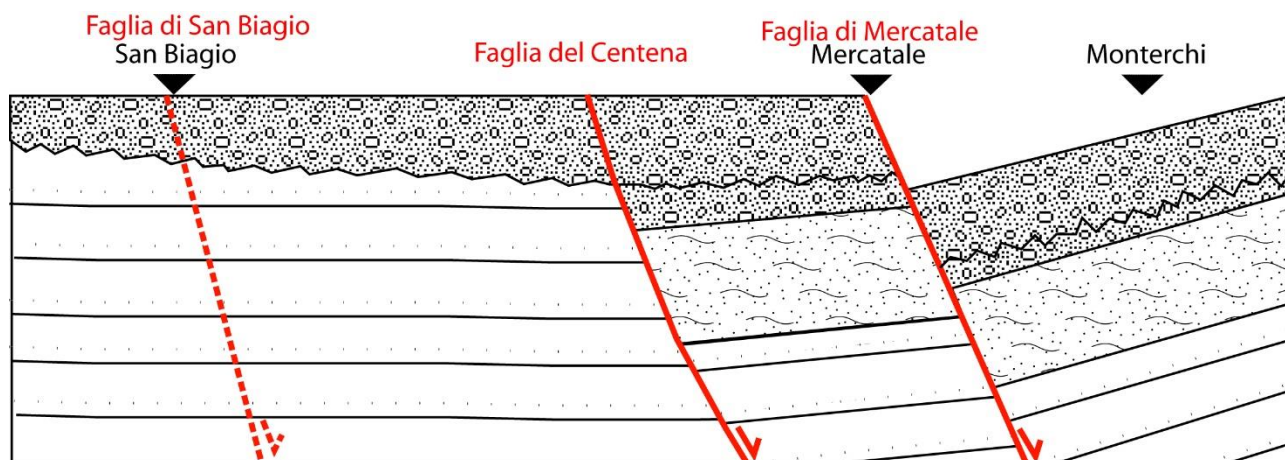


Fig. 14 – Fase 4

Nel Pleistocene medio, o medio-superiore, continua la sedimentazione conglomeratica in facies francamente fluviale in corrispondenza delle depressioni create dall'attivazione delle locali strutture normali; contemporaneamente si enuclea, in un contesto tettonico certamente dominato dalla componente distensiva, la faglia di San Biagio, una struttura modesta che mette a contatto terreni conglomeratici con terreni del substrato pre-Quaternario (Fase 5; Vd, Fig. 15).

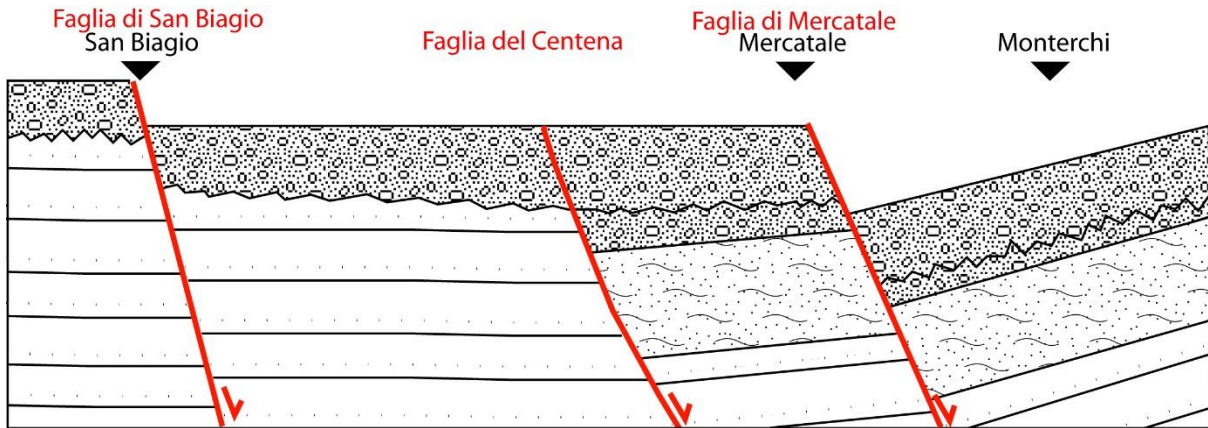


Fig. 15 – Fase 5

La configurazione morfologica e stratigrafica attuale, verificata dal rilievo diretto svolto e dall'esecuzione e dall'acquisizione di una ricca campagna geognostica, è invece legata a fenomeni erosivi olocenici e tardo-pleistocenici (Fase 6; Vd. Fig. 16).

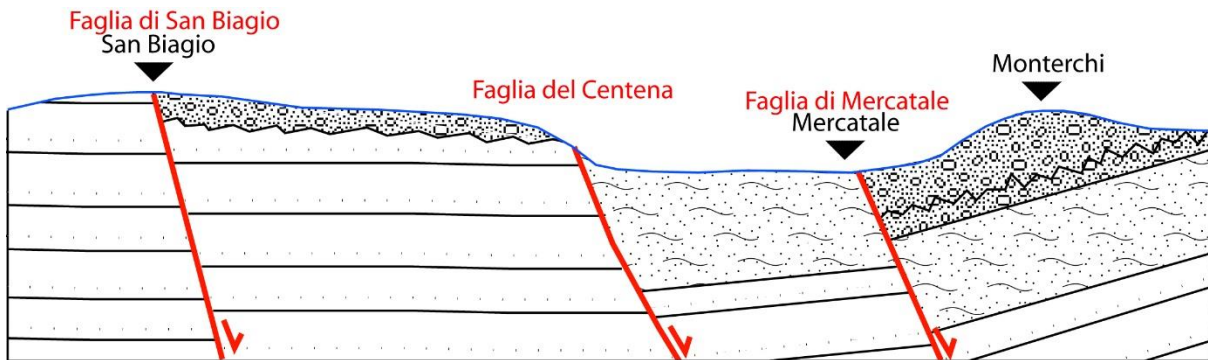


Fig. 16 – Fase 6

SISMOTETTONICA E CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Nell'area oggetto di studio sono state descritte due notevoli strutture dislocative, orientate SE-NW ed est immergenti: la Faglia del Centena e la Faglia di Mercatale. Sono entrambe correlate ad un contesto estensionale ben rappresentato, nell'area altotiberina, dalla storia evolutiva della Faglia di Anghiari, soprattutto, e dalla Faglia del Sovara. Le due faglie hanno avuto un ruolo determinante nell'evoluzione tettonica e stratigrafica dell'intera area alto-tiberina: il settore in oggetto ne è una porzione particolarmente rappresentativa. L'attenzione principale verterà sulla Faglia di Anghiari, cui è tettonicamente associata la Faglia di Mercatale: è quella infatti per cui ricorrono i più evidenti segni di attività e di sismogenicità. Al suo ramo orientale (Vd. immagine sotto), fuori dall'area strettamente oggetto di studio, sono associate scarpate morfologiche e faccette triangolari: l'altezza della scarpata, circa 10 m, è verosimilmente da mettere in connessione con lo spostamento verticale cumulato nell'ultima fase della sua evoluzione (Pleistocene superiore-Olocene?) (Delle Donne et al., 2007).

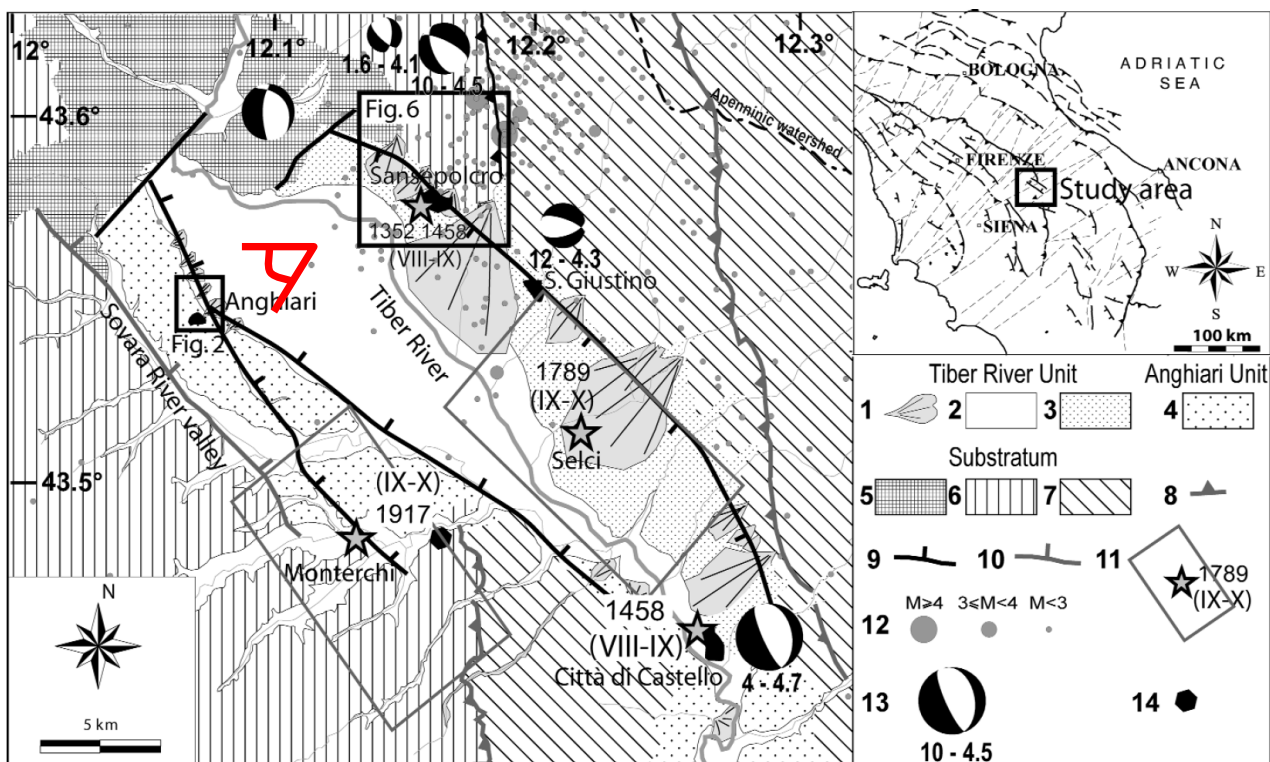


Fig. 1 - Seismotectonic map of the Upper Tiber Basin (Northern Apennines, Italy): 1) Holocene alluvial fans; 2) Holocene alluvial deposits; 3) Middle-Late Pleistocene terraced deposits; 4) Early-Middle Pleistocene deposits; 5) Ligurian Units; 6) Tuscan Units; 7) Umbro-Marchean Units; 8) Miocene thrust fronts; 9) Main Quaternary faults (barbs on the downthrown side); 10) Sovara Quaternary fault; 11) Macroseismic epicentre (star) with year of occurrence, maximum MCS intensity and related seismic source (from VALENSISE & PANTOSTI Eds., 2001); 12) Instrumental seismicity recorded during the years between 1985 and 2000 (from VALENSISE & PANTOSTI Eds., 2001); 13) Focal mechanisms, numbers on bottom indicate depth focus (km) and magnitude, respectively (VANNUCCI et alii, 2004); 14) Location of co-seismic fissures indicated by ODDONE (1918).

- Schema sismotettonico del Bacino Alto Tiberino (Appennino Settentrionale): 1) Conoidi alluvionali oloceniche; 2) Depositi alluvionali olocenici; 3) Depositi terrazzati medio-tardo Pleistocenici; 4) Depositi riferibili al Pleistocene Inferiore-Medio; 5) Unità Liguri; 6) Unità Toscane; 7) Unità Umbro Marchigiane; 8) Fronti d'accavallamento Miocenici; 9) Faglie Quaternarie principali (i trattini indicano il lato ribassato); 10) Faglia Quaternaria del T. Sovara; 11) Epicentro macrosismico (stella) con indicato l'anno, la massima intensità (MCS) raggiunta e l'ubicazione della sorgente sismica (da VALENSISE & PANTOSTI Eds., 2001); 12) Sismicità strumentale registrata dal 1985 al 2001 (da VALENSISE & PANTOSTI Eds., 2001); 13) Meccanismi focali, i numeri indicano rispettivamente la profondità focale (km) e la magnitudo (VANNUCCI et alii, 2004); 14) Ubicazione delle fessurazioni co-sismiche indicate da ODDONE (1918).

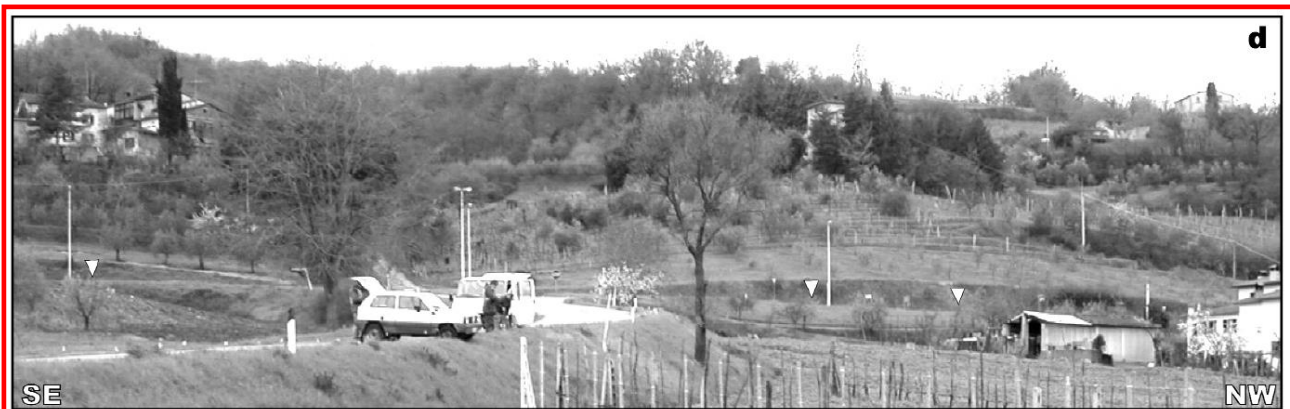


Fig. 2 - a) Detail of the Anghiari southwestern fault (location in fig. 1); b) Digital Terrain Model elaborated from 1:2.000 scale topographic maps (from Regione Toscana F. 16P22, 16P30; contour lines are 1 m spaced) showing the scarp at the toe of the Anghiari range; c) Detail of fig. 2b showing the scarp beheading the gravel fans at the toe of the range; d) Photograph (location in fig. 2a) of the scarp (indicated by the white arrows) at the base of Anghiari range, in proximity of the S1 shallow seismic profile.
 - a) Dettaglio della faglia sud-occidentale di Anghiari (ubicazione in fig. 1); b) Modello digitale del terreno estratto dai dati di cartografia numerica in scala 1:2000 (da Regione Toscana F. 16P22, 16P30; le isoipse hanno un intervallo di 1 m), che evidenzia la scarpata alla base della dorsale di Anghiari; c) Dettaglio della fig. 2b che mostra la scarpata che «decapita» le conoidi al piede del versante; d) Foto (ubicazione in fig. 2a) della scarpata (indicata dalle frecce bianche) alla base della dorsale di Anghiari in prossimità del profilo di sismica a riflessione S1.

L'integrazione dei risultati ottenuti dall'analisi morfotettonica e dalle indagini sismiche confermerebbe un'attività recente della faglia, espressa da una cinematica estensionale (Delle Donne et al., 2007).

La Faglia di Anghiari non rappresenterebbe tanto l'emersione sub-superficiale della faglia a basso angolo altotiberina, quanto piuttosto la sua più recente attivazione, che del resto deve aver controllato l'evoluzione geologica quaternaria dell'Alta Val Tiberina. La Faglia Altotiberina è dedotta dall'analisi delle sorgenti di micro sismicità dell'area e non sembra in grado di accumulare grandi quantità di stress. I terremoti, da medio a forti, registrati nei cataloghi storici per l'area di studio, sono piuttosto da riferirsi al sistema di faglie (di Anghiari e di Mercatale) ad alto angolo ed est immergenti che bordano il bacino quaternario (Delle Donne et al., 2007). In epoca storica l'Alta Val Tiberina ha sperimentato quattro terremoti distruttivi (25/12/1352 $I_{max}=8,5$ MCS - 26/04/1458 $I_{max}=8,5$ MCS - 30/09/1789 $I_{max}=9,5$ MCS - 26/04/1917 $I_{max}=9,5$ MCS).

1352 12 25 MONTERCHI

	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	Np	I_{max} (MCS)
CPTI11	43.469	12.127			6.44 ± 0.54		
macrosismico	43.469	12.127		9	6.44 ± 0.54	7	9

1458 04 26 12:15 Val Tiberina

	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	Np	I_{max} (MCS)
CPTI11	43.463	12.236			5.78 ± 0.34		
macrosismico	43.463	12.236		8-9	5.78 ± 0.34	5	8-9

1789 09 30

10:00 Valtiberina

	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	Np	Imax (MCS)
CPTI11	43.510	12.217			5.84 ± 0.24		
macrosismico	43.510	12.217		9	5.84 ± 0.24	73	9

1917 04 26**09:35:59 Valtiberina**

	Lat	Lon	Prof.	Io	Mw	Np	Imax (MCS)
CPTI11	43.467	12.129			5.89 ± 0.11		
macrosismico	43.467	12.129		09-10	5.91 ± 0.12	134	9-10
strumentale					5.73 ± 0.37		

Le sorgenti sismiche associate agli eventi del 1789 e del 1917 sono stimate essere orientate NW-SE parallelamente all'asse principale della valle. I meccanismi focali mostrano una soluzione prevalentemente estensionale con una leggera componente trascorrente, ad una profondità compresa tra 1,6 e 12 Km e con magnitudo comprese tra 4,3 e 4,7. La Faglia di Anghiari, verosimilmente nel suo ramo più occidentale – quello cioè connesso alla Faglia di Mercatale – ha avuto un ruolo fondamentale nel terremoto distruttivo del 1917 occorso nell'area di studio.



L'ordine di grandezza che descriva l'estensione della rottura di faglia del terremoto del 1917 potrebbe essere stimata in 10-15 km: questa lunghezza copre senz'altro tutto il settore di bacino compreso tra Anghiari e Monterchi. Evidenze macrosismiche per quel terremoto mostrano come le aree maggiormente danneggiate risultassero ubicate nel margine sud-occidentale del bacino, ed indicassero un'orientazione NW-SE della faglia responsabile (Valensise & Pansosti, 2001). Immediatamente dopo il verificarsi dell'evento sismico del 1917 Oddone (1918) descrisse la comparsa di alcune fessure co-sismiche orientate NW-SE in corrispondenza dell'abitato di Monterchi. Queste fessure si concentravano in una striscia deformativa larga circa 6 m, estesa 1 Km. Oddone descrisse anche rigetti verticali, di circa 25 cm, in associazione alle fessure descritte: la loro

Fig. 17 – Effetti del sisma del 1917

contestuale presenza indica chiaramente, per queste manifestazioni, un'origine sismica.

Le considerazioni di cui sopra, che traggono del resto avvaloramento da una ricca ed autorevole letteratura, ed integrano osservazioni sismologiche, morfotettoniche e relative alla descrizione degli effetti di sito, contribuiscono ad affermare come, anche a parere degli Scriventi, le Faglie di Mercatale e del Centena, dovendo considerarsi connesse tettonicamente alla Faglia di Anghiari e del Sovara, siano da valutarsi faglie attive e capaci, alla luce delle ben testimoniate evidenze macro-sismiche.



Fig. 18 – Effetti del sisma del 1917

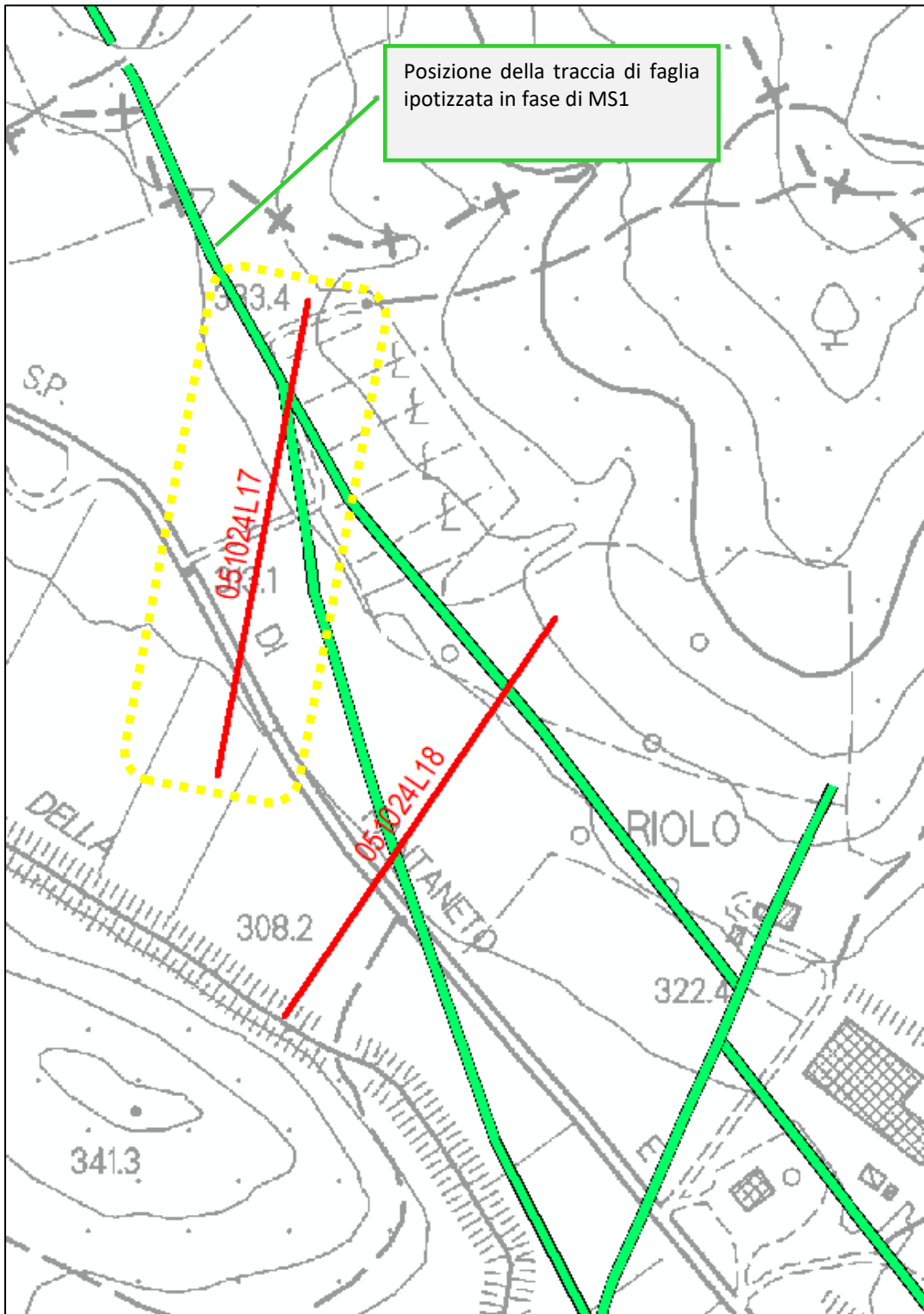


Fig. 19 – Effetti del sisma del 1917

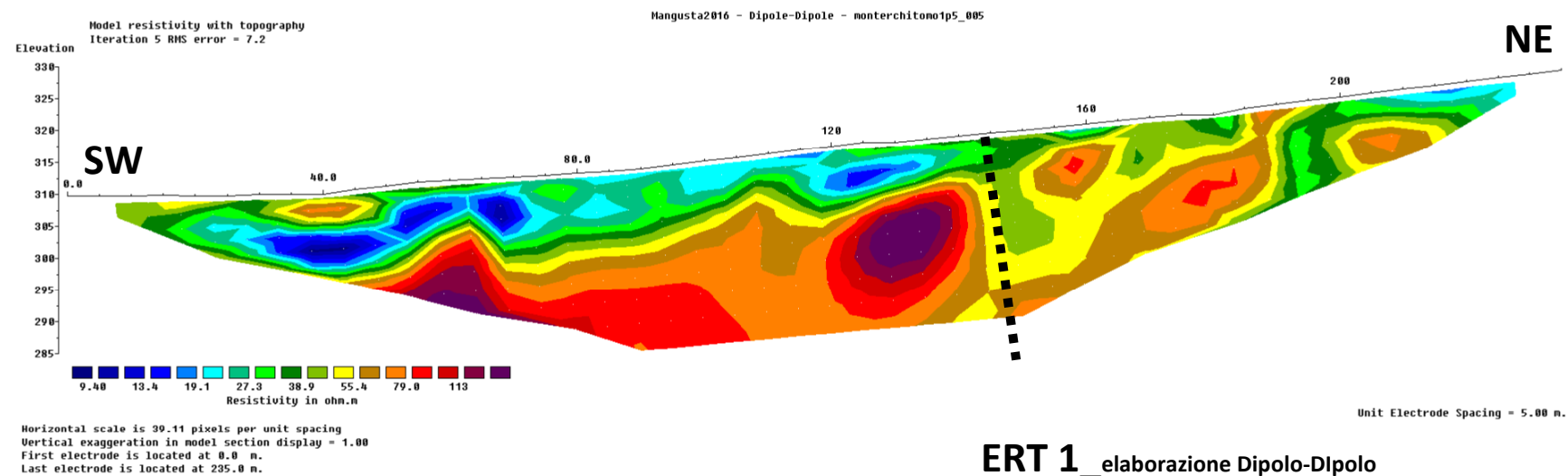
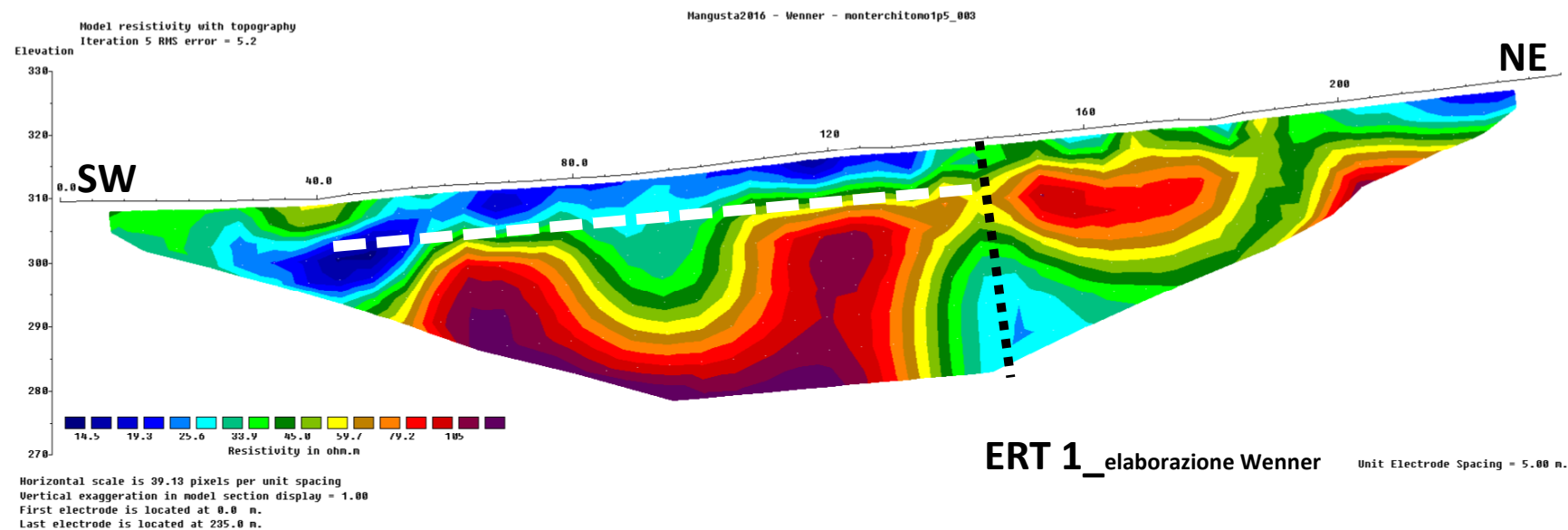
Come suggerito in fase di redazione dello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, nell'ambito del Livello 3 sono state svolte indagini in tomografia elettrica di dettaglio, finalizzate al riconoscimento dell'esatta posizione delle strutture tettoniche classificate

opportunamente come Faglie Attive e Capaci (FAC). Di seguito la descrizione, in chiave interpretativa, degli esiti delle quattro tomografie elettriche eseguite a cavallo delle due faglie attive e capaci (Faglia di Mercatale e Faglia del Centena).

TOMOGRAFIA ELETTRICA L17

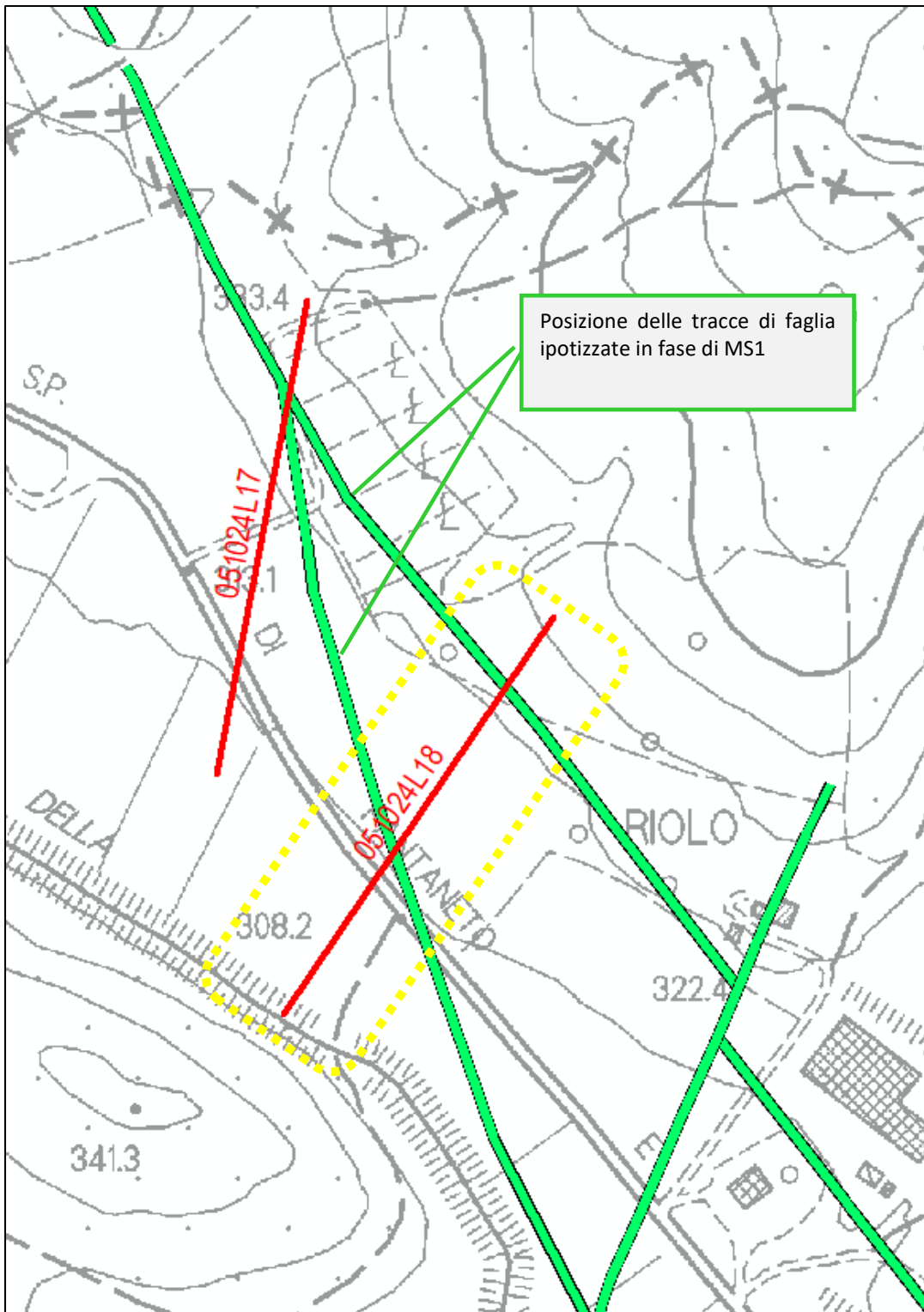


Scala 1:3.000

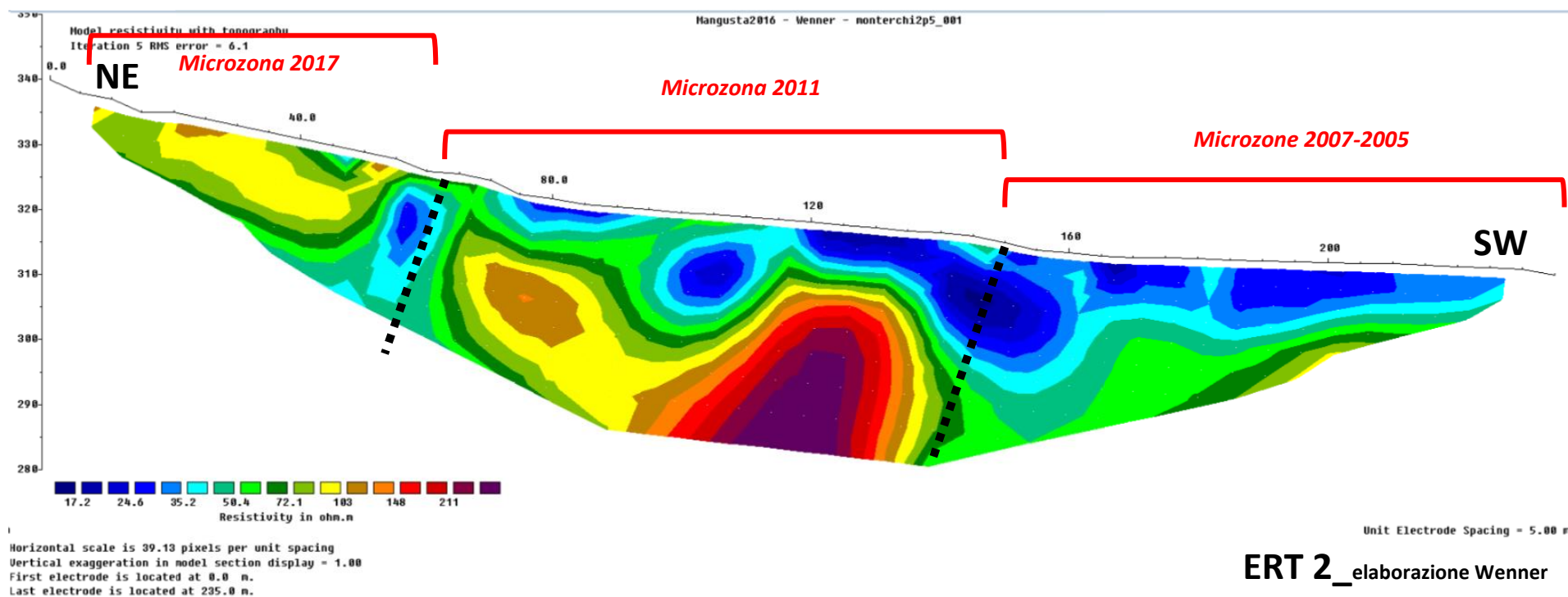


La tomografia elettrica evidenzia, molto più chiaramente nella configurazione Wenner, una netta discontinuità geometrica all'interno dell'ammasso a maggiore resistività; detto contrasto è peraltro marcato dalla presenza di un *plume* a maggiore conduttività, rappresentativo di materiale comunque più destrutturato e quindi permeabile o addirittura di una risalita fluida. Quest'ultima evidenza è rappresentata in tutte e tre le interpretazioni relative ad array diversi (Wenner, Wenner-Schlumberger, Dipolo-Dipolo). In tutte le configurazioni proposte appare evidente anche il passaggio brusco tra due contesti sismo-stratigrafici leggermente differenti: quello sul letto della faglia caratterizzato da una copertura limoso-argillosa al di sopra di un materiale conglomeratico assai resisitivo (Microzone 2005 e 2007) e quello sul tetto della faglia caratterizzato viceversa da materiale conglomeratico sub-affiorante (Microzona 2017). Rispetto alla traccia proposta nello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, la tomografia elettrica evidenzia una posizione della rottura principale leggermente spostata verso il Fosso della Centena.

TOMOGRAFIA ELETTRICA L18

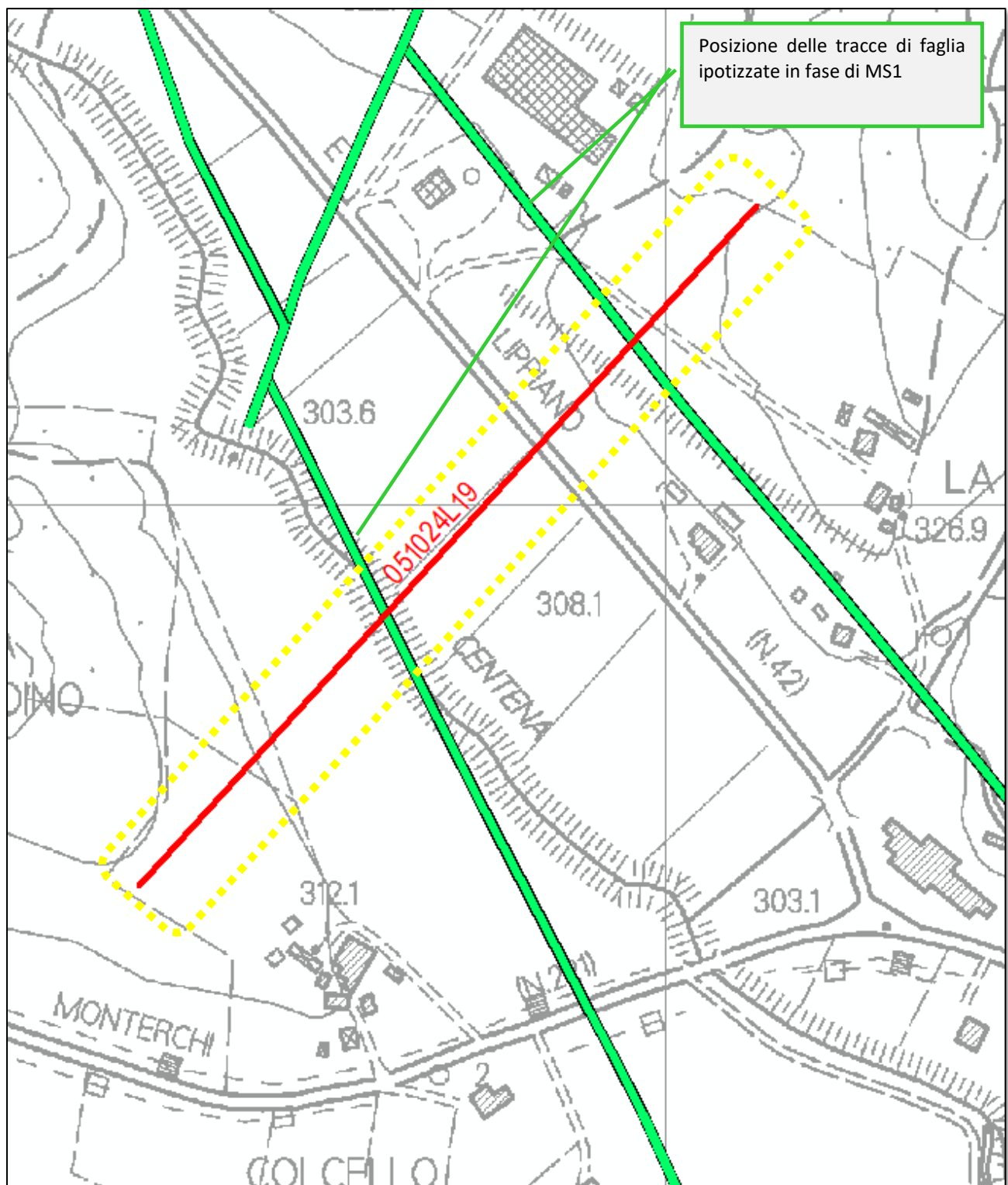


Scala 1:3.000

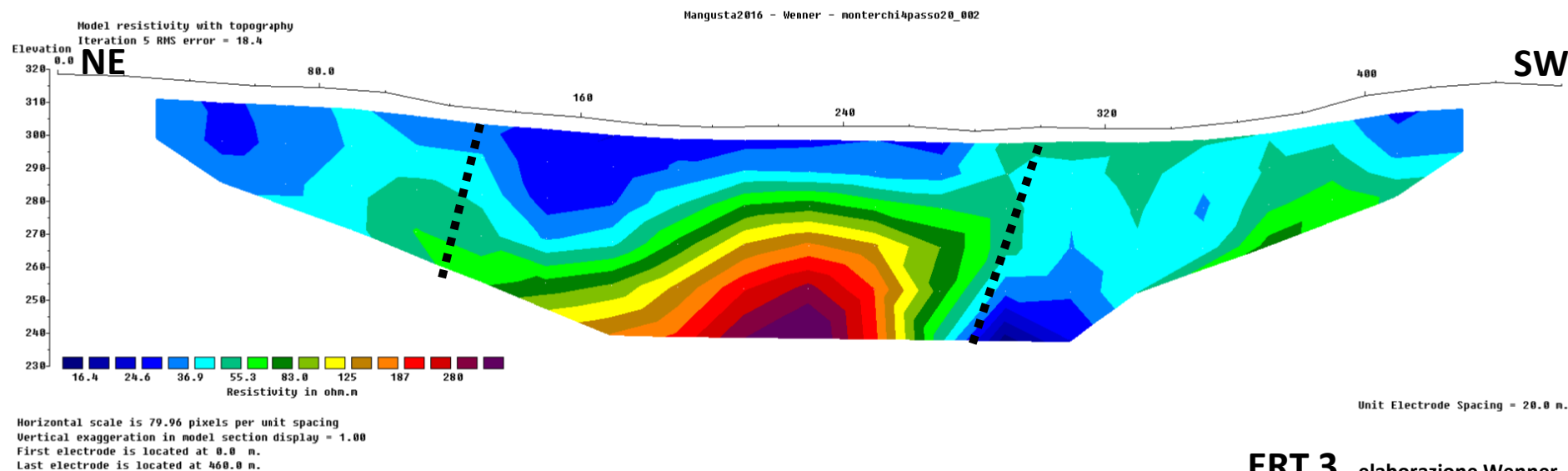


La tomografia elettrica evidenzia, molto più chiaramente nella configurazione Wenner, una netta discontinuità geometrica all'interno dell'ammasso a maggiore resistività; detto contrasto è anche in questo caso marcato dalla presenza di un *plume* a maggiore conduttività, rappresentativo di materiale comunque più destrutturato e quindi permeabile o addirittura di una risalita fluida. L'esecuzione di questa tomografia elettrica, così come della successiva L19, evidenzia la necessità di istituire una microzona caratteristica del settore compreso tra la biforcazione delle due faglie di Mercatale e del Centena e la struttura dislocativa anti-appenninica posta poco a nord-ovest di Mercatale. E' assai peculiare il contatto tra le microzone 2011 e 2017: la transizione tra conglomerati sub-affioranti e conglomerati al di sotto di una variabile copertura fine è nettamente marcato da un *plume* di risalita fluida. Rispetto alle tracce proposte nello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, la tomografia elettrica conferma quasi perfettamente la posizione della Faglia del Centena mentre evidenzia una posizione della rottura principale associata alla Faglia di Mercatale circa 30 metri spostata verso valle.

TOMOGRAFIA ELETTRICA L19



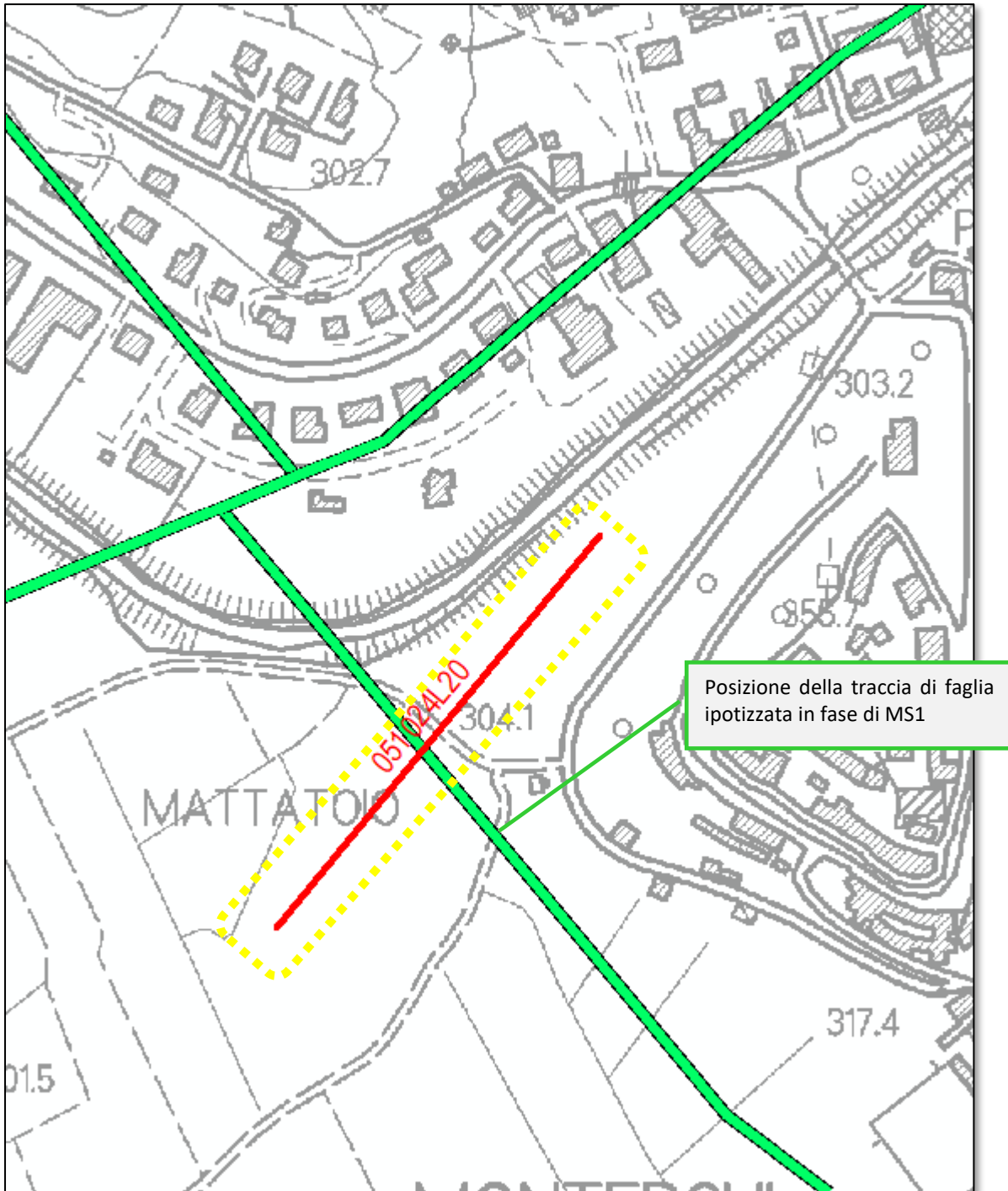
Scala 1:3.000



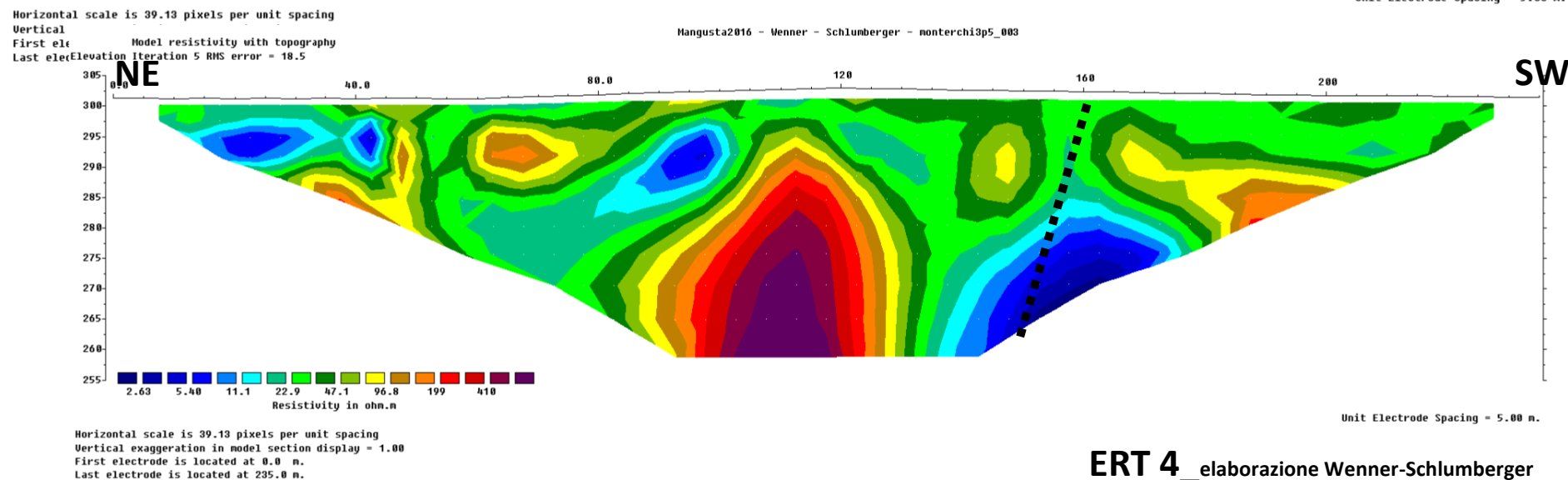
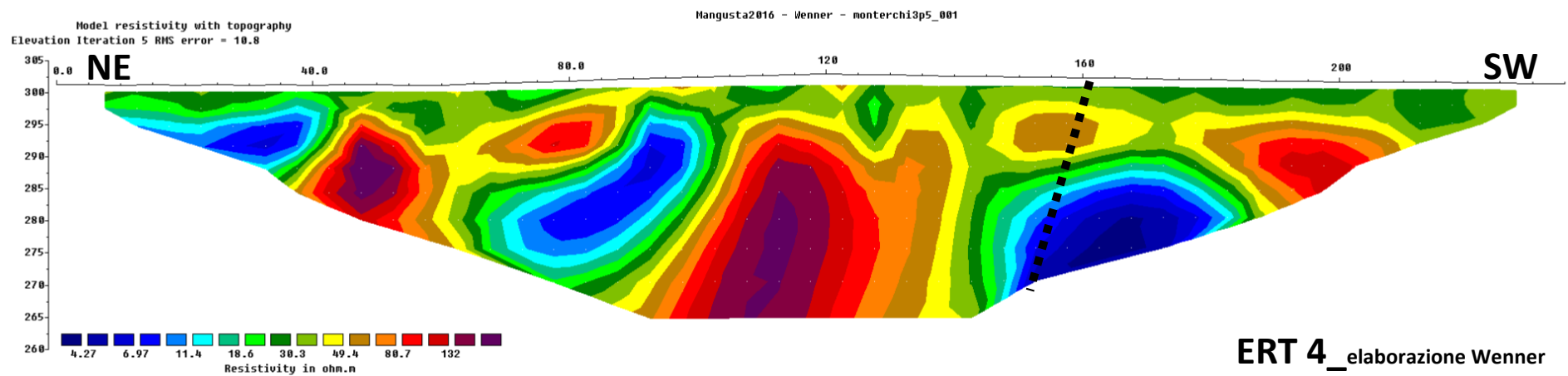
La tomografia elettrica evidenzia, molto più chiaramente nella configurazione Wenner, la presenza di un blocco resistivo posto al centro della sezione e delimitato da due discontinuità geometriche piuttosto nette marcate da *plume* di materiale conduttivo. E' oggettivamente la meno chiara tra le tomografie elettriche realizzate nella zona compresa tra Mercatale e Pantaneto, soprattutto a causa della difficoltà nel riconoscere, all'estremità nord-orientale della sezione, l'atteso materiale conglomeratico ad elevata resistività; detta difficoltà interpretativa potrebbe essere associata con la presenza di una coltre detritica localmente giacente sopra il materasso conglomeratico: è verosimile che detta coltre possa assumere, localmente, caratteri proprio di un materiale più fine e quindi relativamente più conduttivo.

Analogamente a quanto evidenziato dalla tomografia elettrica L18, rispetto alle tracce proposte nello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, la tomografia elettrica L19 conferma quasi perfettamente la posizione della Faglia del Centena mentre evidenzia una posizione della rottura principale associata alla Faglia di Mercatale circa 30 metri spostata verso valle.

TOMOGRAFIA ELETTRICA L20



Scala 1:3.000



La tomografia elettrica evidenzia una brusca interruzione nella continuità del profilo stratigrafico dedotto dai valori di conducibilità dei terreni indagati. Al di sotto di una coltre di materiali variamente conduttivi è infatti presente un nucleo di materiale ad elevata resistività da associare ai conglomerati cementati. La continuità dei conglomerati è tuttavia interrotta da un *plume* di materiale conduttivo; si ritiene – in analogia con quanto riscontrato in tutti i contesti di faglia della Valtiberina – che a questi *plume* debba essere attribuito un preciso significato tettonico: in corrispondenza della rottura principale si verificano infatti fenomeni di risalita fluida oppure, più verosimilmente, si vengano a determinare fasce intensamente fratturate che consentano una maggiore circolazione idrica.

Rispetto alla traccia proposta nello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, la tomografia elettrica L20 evidenzia una posizione della rottura principale associata alla Faglia di Mercatale circa 30 metri spostata verso SW.

In merito alle altre due strutture tettoniche che, in qualche modo, hanno contribuito all'evoluzione morfo-tettonica di questo settore posto ai margini dell'area altotiberina, è ragionevole ipotizzare che siano da considerarsi attive: la loro attivazione è infatti addirittura successiva a quella delle due principali strutture normali ed est-immergenti; tuttavia nulla può essere detto a proposito della loro capacità di produrre deformazioni superficiali. Si ritiene pertanto di attribuire alle strutture ad andamento anti-appenninico il carattere di ***faglia potenzialmente attiva e capace***.

3. ASSETTO STRATIGRAFICO

Nell'area di indagine affiorano terreni appartenenti alle coperture Pleistoceniche ed Oloceniche e terreni da riferire invece al substrato pre-Quaternario. Per ciò che concerne i primi è stata eseguita una classificazione secondo i criteri della stratigrafia sequenziale; sono elencate, dalla più antica alla più recente, le Unità riscontrate, sia in affioramento che con la campagna geognostica acquisita:

- **Sintema di Monterchi (Sub-sintema di Mercatale)**

Si riconoscono due litofacies, una più francamente fluviale e quindi grossolana ed una più spiccatamente lacustre e quindi caratterizzata da sedimentazione assai più fine.

Litofacies conglomeratica: conglomerati poligenici ma prevalentemente a clasti arenacei in scarsa matrice limoso-sabbiosa cementata (Pleistocene medio)



Figura 20 – Conglomerati affioranti in Via Protoli a Mercatale - Monterchi

Litofacies limoso-sabbiosa: limi argilloso-sabbiosi grigio-azzurri o grigio-verdi con sporadici, o al limite molto subordinati, inclusi ghiaiosi, molto consistenti (Pleistocene inferiore-medio)

- **Depositi alluvionali attuali e recenti di fondovalle**: limi argillosi, sabbie sciolte a stratificazione incrociata e ghiaie sabbiose poligeniche (Olocene)
- **Coltri detritiche**: depositi caratterizzati da clasti centimetrici o decimetrici a spigoli vivi immersi in abbondante matrice limoso-argillosa (Olocene)

SUBSTRATO PRE-QUATERNARIO

Del substrato pre-Quaternario affiorano localmente i termini stratigraficamente inferiori **dell'Unità Tettonica Cervarola Falterona**, appartenente al Dominio Toscano: arenarie a granulometria per lo più media e medio-grossolana in strati da decimetrici fino a qualche metro e con intercalazioni centimetriche-decimetriche di peliti siltose alternati a pacchi metrici di strati sottili di arenarie fini e siltiti; almeno il 50% degli strati torbiditici silicoclastici presenta Ta-c compreso tra il 30% ed il 70% dello spessore totale.

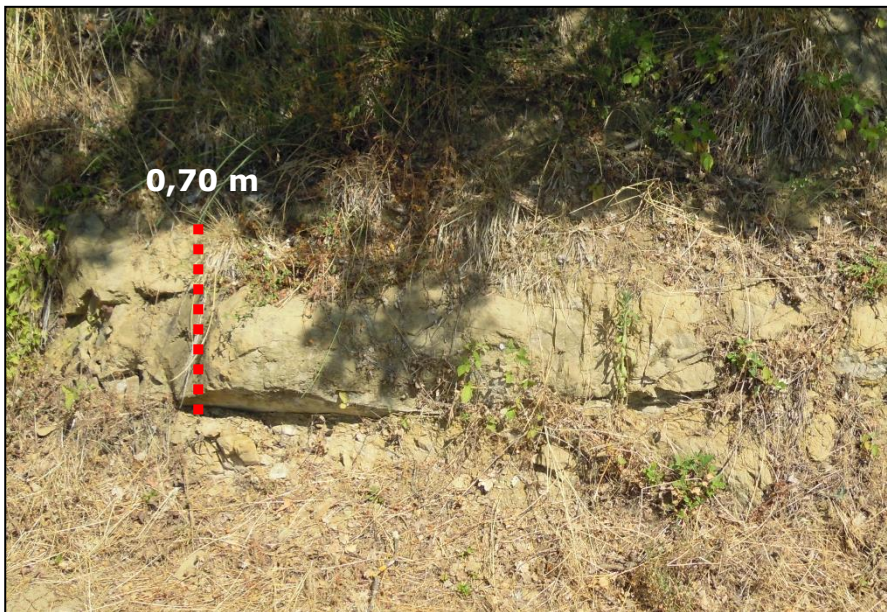


Figura 21 – Affioramento tipico delle Arenarie del Falterona nell'area oggetto di studio



Nei rilievi che caratterizzano la dorsale che delimita a NW la valle del Cerfone (Vd. Carta Geologico-tecnica per la microzonazione sismica), la successione arenacea presenta un aspetto stratigrafico peculiare: sono infatti presenti, incluse nella classica successione torbiditica, masse arenacee globulari, che si alterano per esfoliazione, immerse in abbondante materiale pelitico e marnoso.

Figura 22 – Masse arenacee globulari immerse in materiale pelitico-marnoso

Da un punto di vista genetico si tratta di blocchi litificati scivolati entro sedimenti incoerenti e plastici di un bacino: quando lo sciame di blocchi è fitto, come nei rilievi a tergo dell'abitato de Le Ville, la presenza di detti blocchi è indicativa di una scarpata tettonicamente instabile.



Figura 23 – Masse arenacee globulari: particolare

4. ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto di indagine si presenta allungata lungo l'asse del T. Cerfone e comprende i rilievi, impostati sul substrato pre-Quaternario, che delimitano a nord la suddetta incisione. Verso est l'area oggetto di indagine si allarga fino ad includere i rilievi su cui sorgono gli abitati di Mercatale e Monterchi. Si riconoscono, nell'area oggetto di studio, forme erosive e forme di accumulo, assai prevalenti.

FORME EROSIVE

L'abitato di Monterchi sorge su un rilievo, impostato sui terreni conglomeratici, caratterizzato da scarpate con pendenze assai elevate, a tratti sub-verticali; le porzioni più acclivi sono soggette a localizzati, ancorché presenti e diffusi, fenomeni degradativi del sistema geomorfologico: per questo motivo la scarpata principale, alta circa 50 m e definita nella Carta Geologico-tecnica per la Microzonazione sismica "orlo di scarpata morfologica", può essere considerata attiva.

FORME DI ACCUMULO

Tra le forme di accumulo si distinguono essenzialmente due tipologie, simili per caratteristiche lito-stratigrafiche, ma differenti per genesi ed evoluzione: falde detritiche e corpi di frana quiescenti.

Falde detritiche sono presenti ubiquitariamente alla base dei rilievi collinari e caratterizzano la fascia di raccordo tra questi ed il livello di base del fondovalle. Si tratta di corpi spessi non più di qualche metro e caratterizzati da notevole continuità laterale. Le caratteristiche litologiche risentono ovviamente dei caratteri geologici del rilievo da cui provengono: pezzame arenaceo, granulometricamente associabile a ghiaia grossa, in matrice limoso-sabbiosa, alla base dei rilievi impostati sul substrato pre-Quaternario, e ghiaia subordinata, in clasti arrotondati, immersa in abbondante matrice limosa, alla base dei rilievi impostati su terreni conglomeratici. Si presume, in considerazione della più recente evoluzione stratigrafica delle piane del T. Cerfone e del F.so Centena – caratterizzate da alluvioni anche oloceniche – che i rapporti tra i più recenti cicli alluvionali e le coltri detritiche sopra descritte siano di interdigitazione.

Laddove si determinino accumuli detritici di versante in contesti caratterizzati, non già da una rottura di pendio come alla base dei rilievi, quanto piuttosto da significative pendenze, questi possono evolvere in frane di scorrimento traslazionale e rotazionale. Nell'area in oggetto sono state riconosciute alcune frane di scorrimento senza indizi di evoluzione in atto: per questo motivo sono state considerate forme quiescenti.

5. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una pericolosità sismica di base del sito che è descritta dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Ai fini della determinazione delle azioni sismiche la pericolosità sismica è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido con superficie topografica orizzontale in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti. Le caratteristiche del moto sismico atteso si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione. Il Comune di Monterchi è classificato ai sensi della DGRT n.431 del 19.06.2006, in recepimento dell'OPCM n.3619 del 28.04.2006, in classe 2 ($ag/g=0.25$).

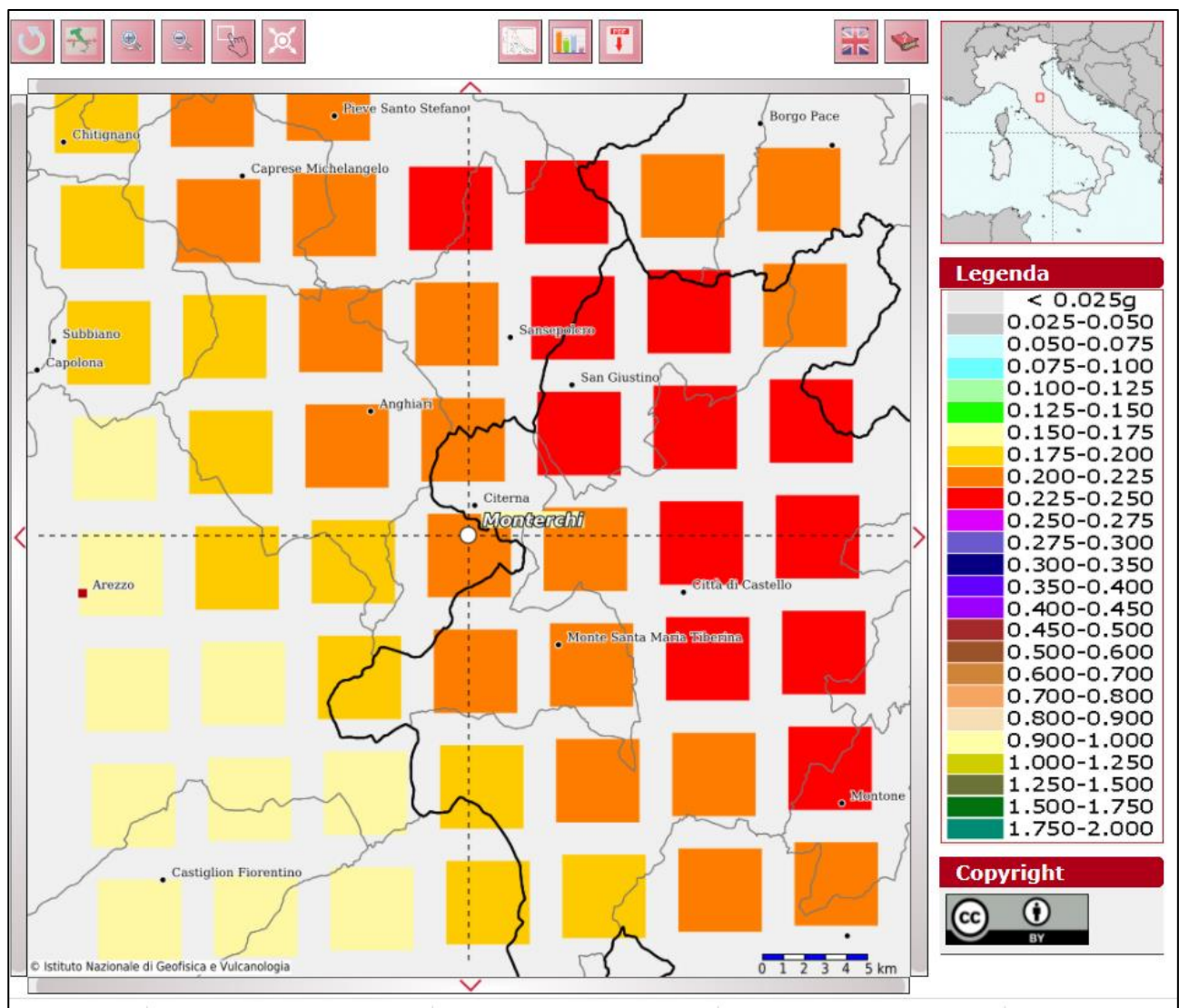


Figura 24 – Mappa della Pericolosità Sismica di base

Nelle figure di seguito è riportata la disaggregazione dei dati della pericolosità sismica: come è evidente la pericolosità sismica è provocata da coppie Magnitudo-Distanza entro i 10 Km.

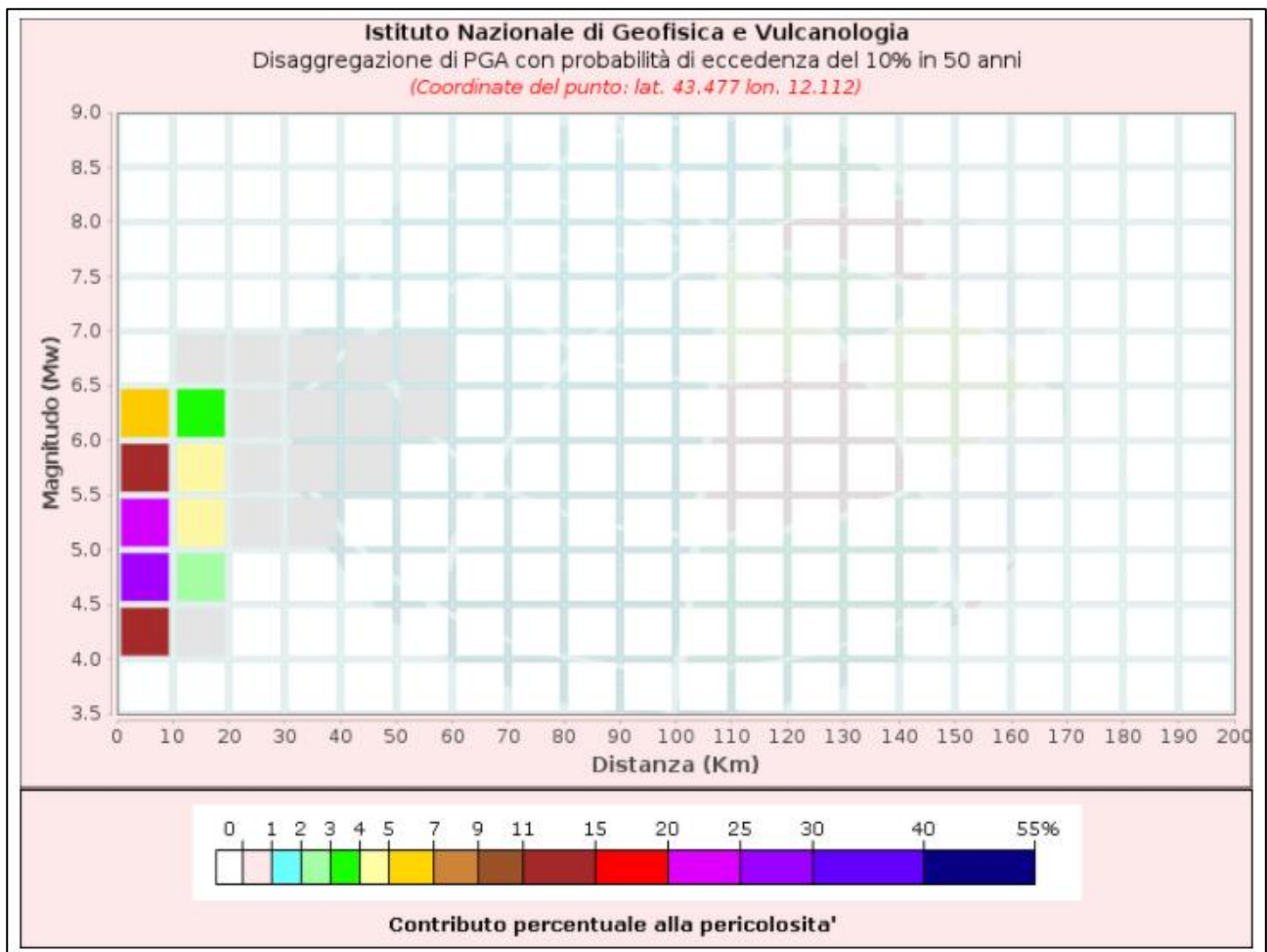


Figura 25 – Disaggregazione del valore di PGA in termini di Magnitudo e distanza

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.477 lon. 12.112)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	12.4000	28.5000	21.7000	13.7000	6.5900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.3810	2.3300	4.0900	4.4600	3.4700	0.0194	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.2060	0.7630	0.9610	0.0211	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0827	0.2490	0.0098	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0023	0.0516	0.0026	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0044	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Valori Medi											
Magnitudo				Distanza				Epsilon			
5.18				6.3				0.959			

Figura 26 – Disaggregazione del valore di PGA in termini di Magnitudo e distanza (valori tabellari)

6. CARTA DELLE INDAGINI E DATI DI BASE

I dati utilizzati per la redazione delle Carta di Microzonazione Sismica sono stati sia quelli acquisiti nell'ambito del Livello 1, sia - ovviamente - la campagna geofisica realizzata nell'ambito del presente studio di livello 3.

L'elaborato è fornito alla scala 1:5.000, sulla carta di base C.T.R. in unica tavola che ricomprende l'intera area oggetto di studio. La Carta contiene i dati di base acquisiti e verificati nell'ambito della redazione degli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e quelli realizzati nell'ambito del presente progetto. La simbologia utilizzata è quella prevista dagli standard di cui agli ICMS.

INDAGINI PUNTUALI LIVELLO 1

- ✓ n° 5 sondaggi a carotaggio continuo, ognuno dei quali caratterizzato da prelievo di campioni, prove SPT ed indagine sismica in foro Down-Hole;
- ✓ n° 13 prove penetrometriche statiche con punta meccanica
- ✓ n° 12 prove penetrometriche dinamiche pesanti
- ✓ n° 6 sondaggi a distruzione di nucleo per pozzi per acqua
- ✓ n° 5 indagine sismica in foro Down-Hole
- ✓ n° 33 stazioni singole di microtremore HVSr

INDAGINI LINEARI LIVELLO 1

- ✓ n° 1 indagine sismica MASW
- ✓ n° 13 indagini sismiche a rifrazione in onde P e/o Sh
- ✓ n° 1 indagine sismica Re.Mi
- ✓ n° 1 indagine di tomografia elettrica

INDAGINI PUNTUALI LIVELLO 3

Nell'ambito del Livello 3 di Microzonazione Sismica del Comune di Monterchi sono state eseguite le seguenti indagini puntuali:

- ✓ n° 15 stazioni singole di microtremore HVSr (P71-P85)
- ✓ n° 1 sondaggio a carotaggio continuo (P70) che ha consentito l'esecuzione di un'indagine sismica Down Hole, e l'installazione di un tubo inclinometrico
- ✓ n° 1 indagine sismica Down-Hole nel foro del carotaggio P70

INDAGINI LINEARI LIVELLO 3

Nell'ambito del Livello 3 di Microzonazione Sismica del Comune di Monterchi sono state eseguite le seguenti indagini lineari:

- ✓ n° 4 indagini di tomografia elettrica (L17-L20)
- ✓ n° 4 indagini sismiche a rifrazione in onde P e Sh (L21-L24)

7. CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI

L'elaborato è fornito alla scala 1:5.000, sulla carta di base C.T.R. in unica tavola che ricomprende l'intera area oggetto di studio. Nella carta sono riportati i risultati della campagna di misure di microtremore a stazione singola HVSr, comunemente nota con il termine H/V condotte secondo gli standard e i criteri stabiliti dagli ICMS e indicati nel Volume di Ingegneria sismica 2/11 per la misura delle frequenze fondamentali dei depositi che costituiscono la copertura della pianura alluvionale e delle coltri detritiche su substrato.

8. CARTA GEOLOGICO TECNICA

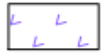
Tale carta, redatta alla scala 1:5.000 già nell'ambito del livello 1, è stata adeguata agli Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica di cui alla versione 4.2. E' stata ulteriormente revisionata dai rilevamenti di rilevamento eseguiti in situ. La cartografia è stata corredata da sezioni geologico-tecniche significative, in modo da descrivere i principali elementi geologico-tecnici dell'area di studio. L'esecuzione delle indagini geofisiche di cui al presente livello 3 ha permesso una revisione delle faglie che caratterizzano il fondovalle del Fosso della Centena nella zona di Mercatale. Nel paragrafo dedicato alla descrizione degli esiti di tale campagna geofisica è stato dato atto della posizione corretta della traccia di faglia. Si riporta di seguito la legenda della suddetta carta.

Forme di superficie e sepolte



falda detritica

Instabilità di versante



Zona di attenzione per Instabilità di versante Attiva / scorrimento



Zona di attenzione per Instabilità di versante Quiescente / scorrimento

Substrato geologico



Lapideo stratificato fratturato o alterato (SFLPS)



Lapideo stratificato (LPS)



granulare cementato stratificato (GRS)

Terreni di copertura



Terreni contenenti resti di attività antropica (RI)



Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM)



Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML)

Ambienti genetico

deposizionali

Ambiente di versante

fd – Falda detritica

Ambiente fluvio lacustre

in – Bacino (piana) intramontano

Elementi geologici e idrogeologici



Giacitura strati



Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico



Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico

Elementi tettonico strutturali



Faglia diretta attiva e capace (certa)



Faglia diretta potenzialmente attiva e capace (incerta)



Faglia trascorrente/obliqua potenzialmente attiva e capace (incerta)



Faglia diretta – non attiva – certa



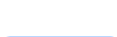
Faglia diretta – non attiva – non certa



Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (>20m)



Cresta



Traccia della sezione geologico-tecnica
rappresentativa del modello del sottosuolo

9. SEZIONI

Sono state elaborate 10 sezioni litotecniche: alla loro realizzazione hanno concorso le colonne stratigrafiche delle MOPS interessate dalla traccia di sezione, e gli esiti della campagna geofisica eseguita nell'ambito del presente livello di microzonazione. Le 10 sezioni così elaborate sono state sottoposte ad elaborazione numerica per la determinazione della risposta sismica locale bidimensionale. Tutte le sezioni sono orientate da monte verso valle, al fine di cogliere gli effetti amplificativi bidimensionali propri delle zone di raccordo di bordo dei bacini. Solo la sezione n. 9 è stata tracciata in modo longitudinale rispetto all'andamento dell'asse della valle del Fosso della Centena, al fine di intercettare il rilievo su cui sorge l'abitato storico di Monterchi e, conseguentemente, di individuare eventuali fenomeni di amplificazione topografica. Laddove ritenuto opportuno e di maggior significatività, le sezioni sono state tracciate in modo da intercettare le frane riconosciute e cartografate nella Carta geologico-tecnica.

10. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

L'elaborato è fornito alla scala 1:5.000, sulla carta di base C.T.R. in unica tavola che ricomprende l'intera area oggetto di studio. E' stata operata una revisione complessiva delle microzone omogenee stabili suscettibili di amplificazione locale riconosciute nell'ambito del Livello 1 di Microzonazione Sismica, anche alla luce degli esiti delle nuove indagini geofisiche effettuate nel presente Livello 3. Le 17 MOPS di cui al Livello 1 sono perciò diventate 20. Peraltro la loro rappresentazione è stata adeguata agli Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica di cui alla versione 4.2.

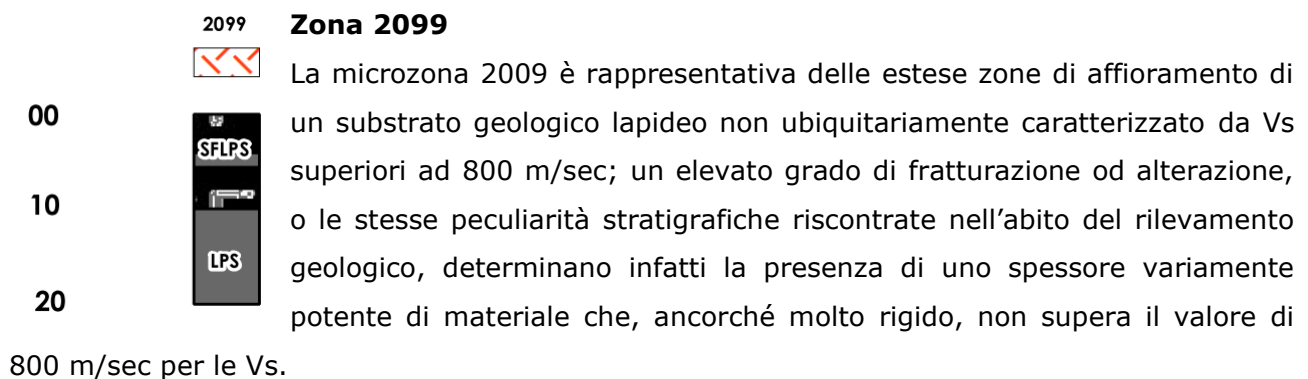
ZONE STABILI

Zona 1011

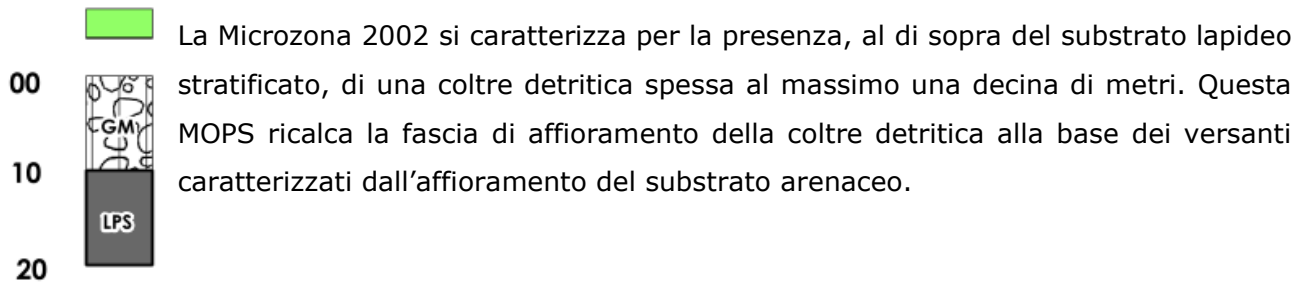
E' rappresentata da substrato lapideo stratificato con $V_s > 800$ m/s, ma che per uno spessore compreso tra 3 e 10 metri a partire dal piano campagna, presenta un elevato grado di fratturazione o di alterazione. Le zone stabili sono quelle nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dall'evento. Nell'area oggetto di studio sono zone stabili quelle dove è affiorante il substrato geologico rigido con inclinazione dei versanti inferiore a 15° . Si tratta di una microzona caratterizzata dalla presenza del substrato lapideo stratificato.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

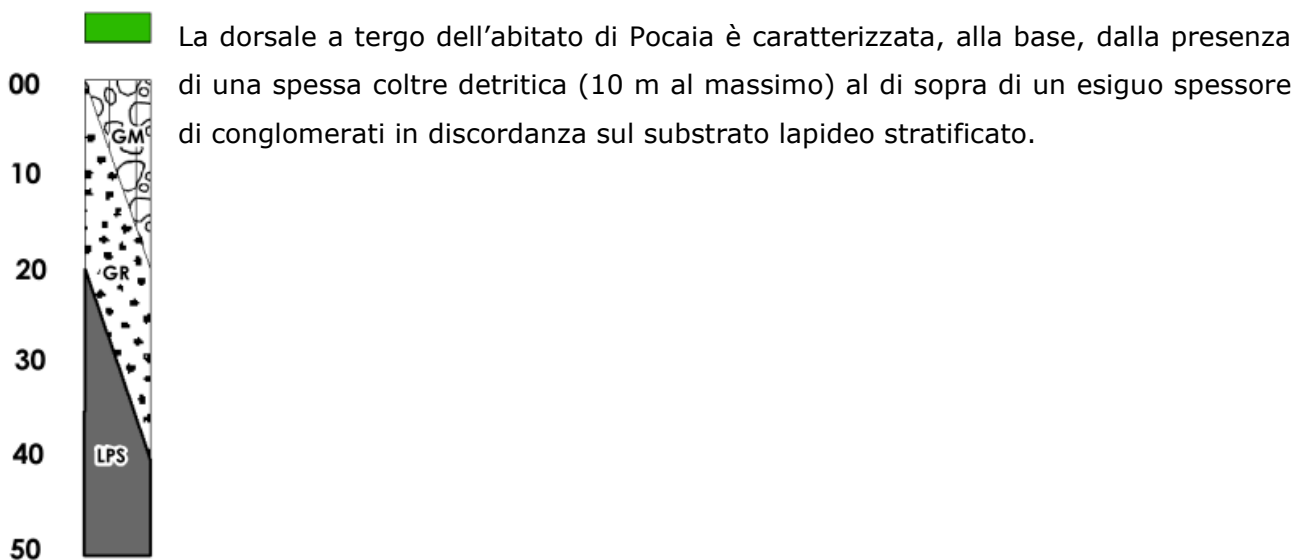
Nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Sono le zone dove sono presenti terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato, o substrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio inferiore ad 800 m/sec. Gli spessori di questi terreni devono essere superiori a 5 m.



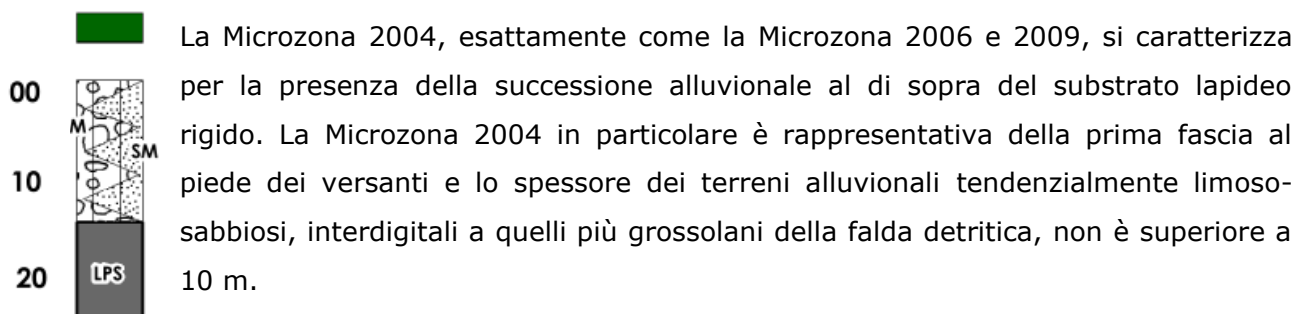
2002 **Zona 2002**



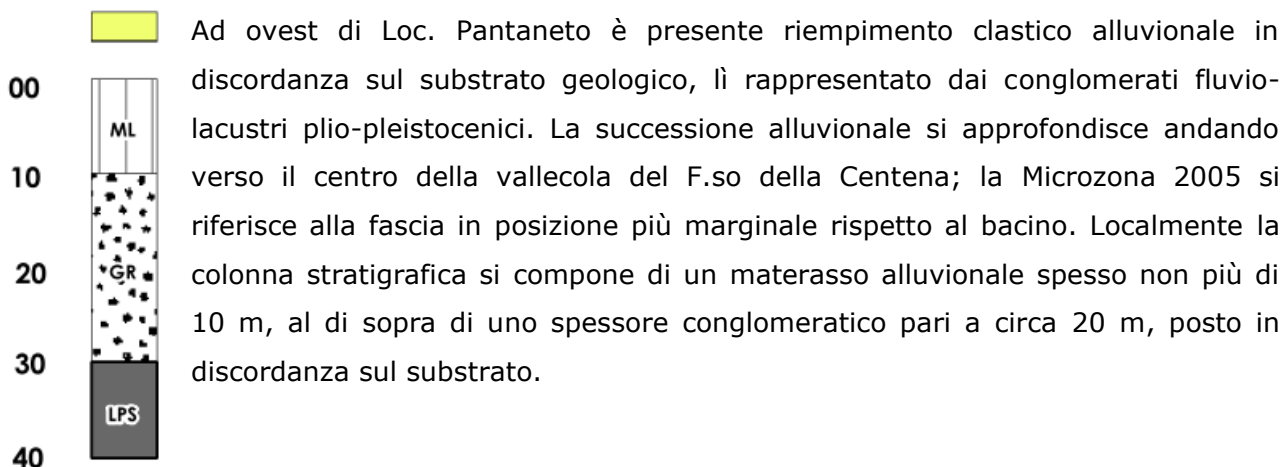
2003 **Zona 2003**



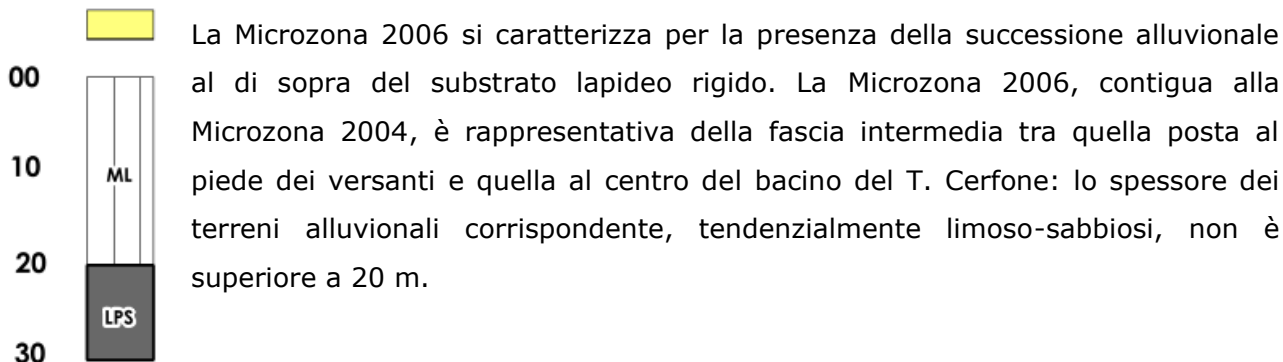
2004 **Zona 2004**



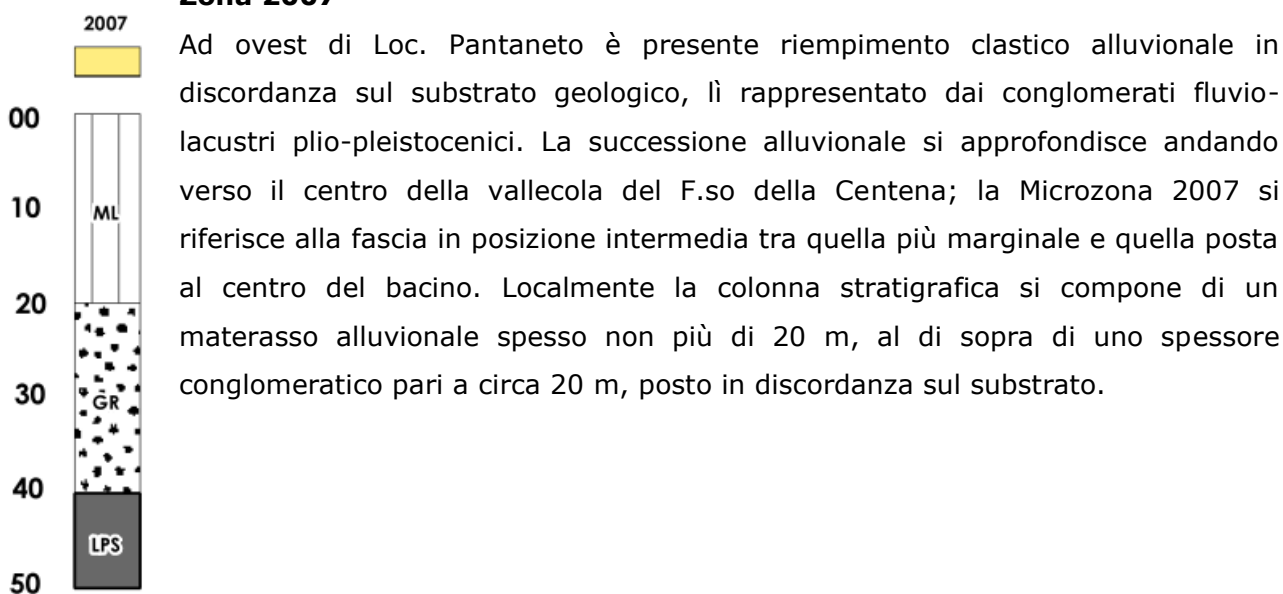
2005 **Zona 2005**

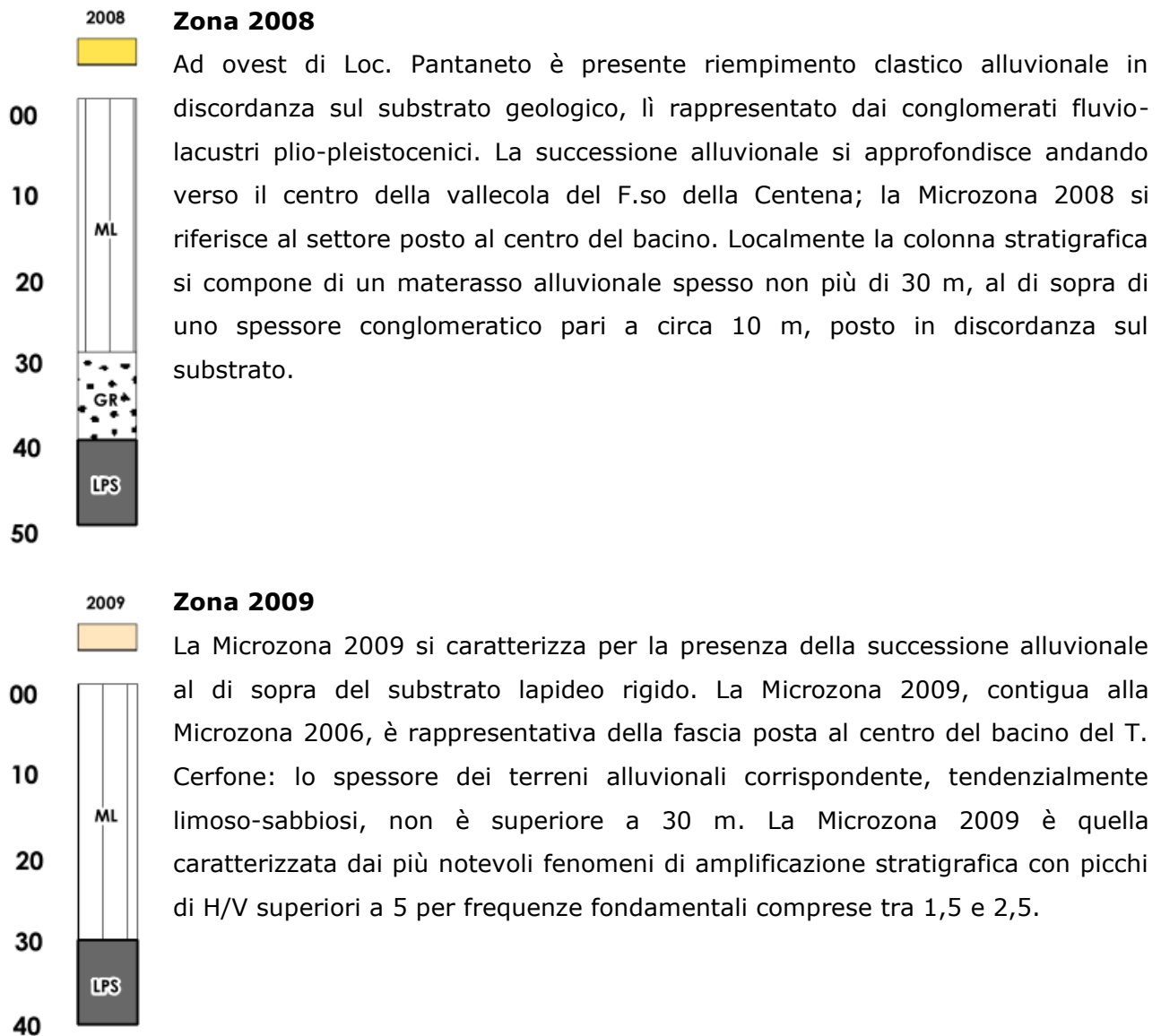


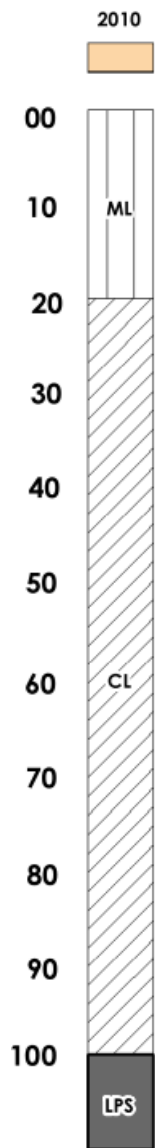
2006 **Zona 2006**



Zona 2007







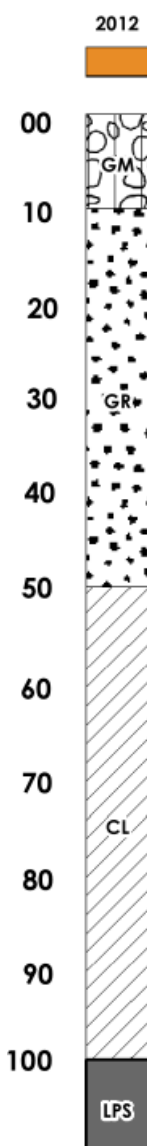
Zona 2010

Il settore compreso tra le due faglie – del Centena e di Mercatale – nel blocco di tetto della faglia diretta ad andamento anti-appenninico a nord-ovest di Mercatale è impostato su un materasso di terreni alluvionali recenti, posti al di sopra di una spessa successione caratterizzata da terreni fluviolacustri plio-pleistocenici in facies spiccatamente lacustre. Gli spessori massimi sono rispettivamente di 20 m e di 80 m.



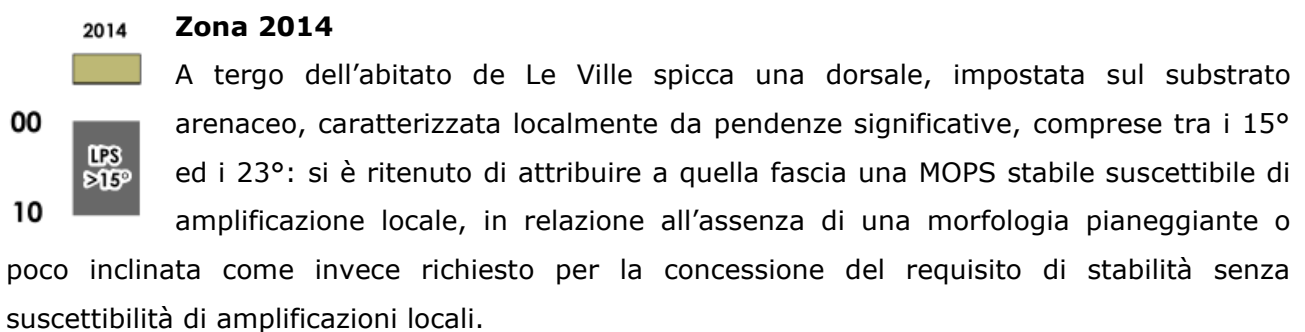
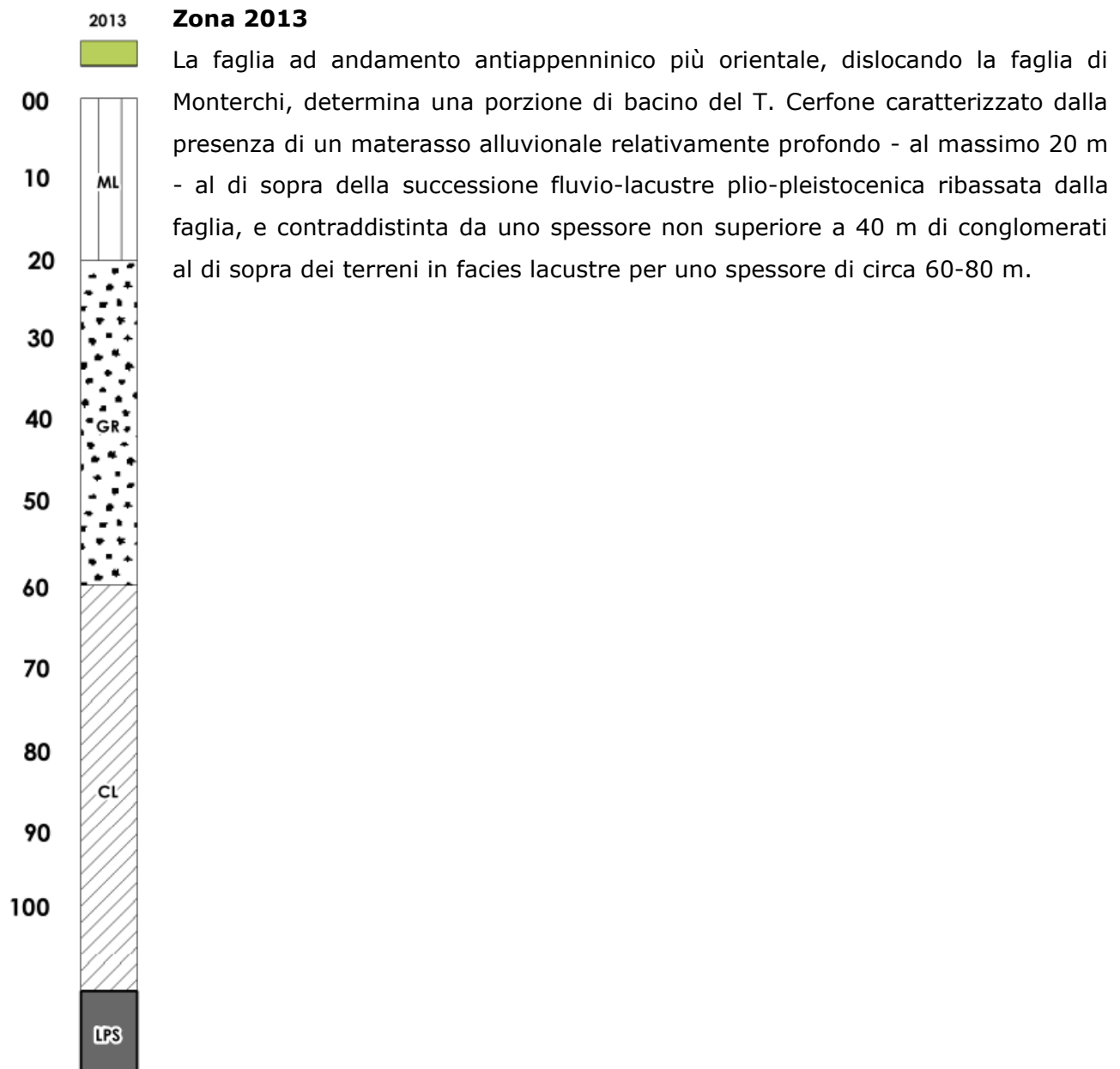
Zona 2011

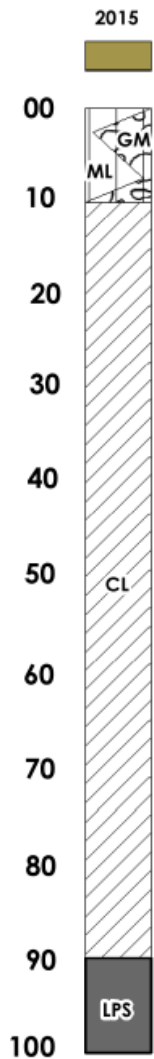
Il settore compreso tra le due faglie – del Centena e di Mercatale – nel blocco di letto della faglia diretta ad andamento anti-appenninico a nord-ovest di Mercatale è impostato su un materasso di terreni alluvionali recenti, posti al di sopra del materiale conglomeratico. Gli spessori massimi sono rispettivamente di 20 m e di 30 m. Al di sotto è presente il substrato lapideo stratificato.



Zona 2012

Alla base del rilievo posto a tergo di Mercatale, e nella fascia di raccordo con il fondovalle nel settore sud-orientale della collina di Monterchi, è presente uno spessore variamente potente, ma non maggiore di 10 m, di materiale detritico di natura eluvio-colluviale. La coltre detritica poggia sulla successione fluvio-lacustre plio-pleistocenica rappresentata da uno spessore di circa 40 m di materiale conglomeratico al di sopra di quello più francamente lacustre.

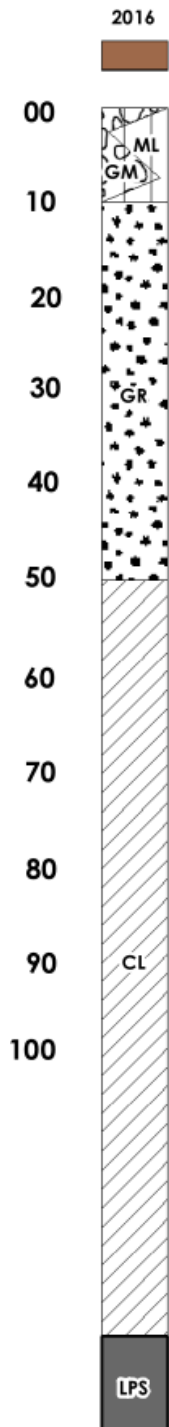




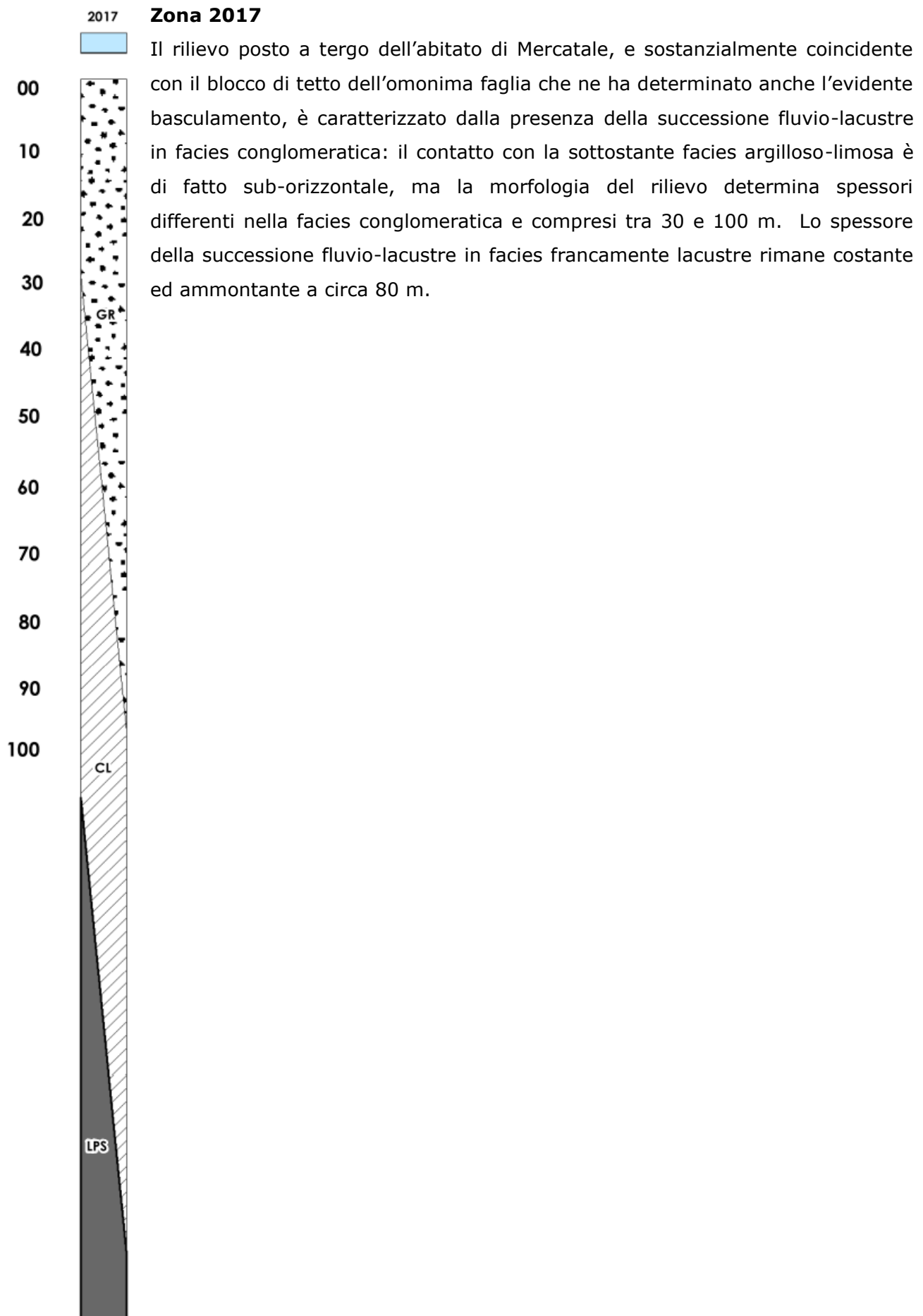
Zona 2015

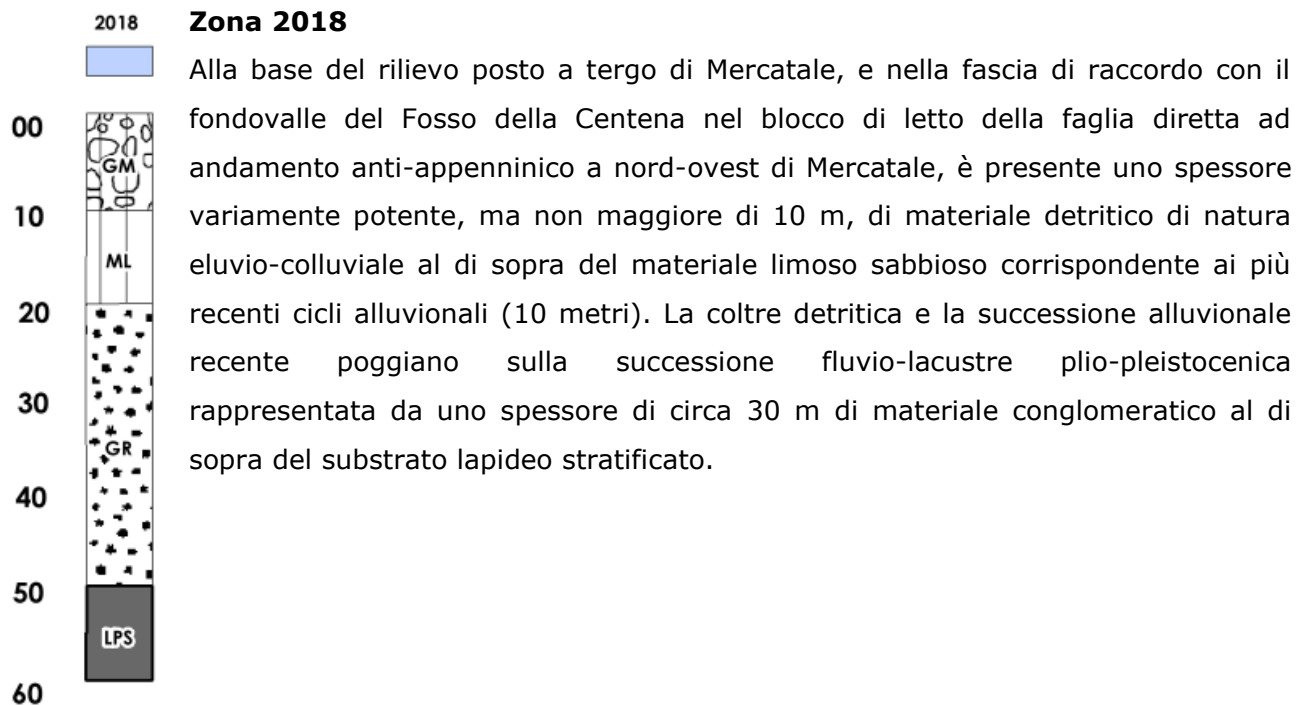
La faglia di Mercatale, ad ovest della quale è presente il settore caratterizzato dalla presenza in profondità della facies lacustre della successione fluvio-lacustre plio-pleistocenica corre a ridosso del rilievo a tergo dell'abitato di Mercatale: alla base di quel rilievo prevedibilmente è presente uno spessore variamente potente, ma non maggiore di 10 m, di materiale detritico di natura eluvio-colluviale interdigitato ai terreni limoso-sabbiosi corrispondenti alle alluvioni recenti. La coltre detritica ed i terreni alluvionali recenti poggiano sulla successione lacustre.

Zona 2016



Alla base del rilievo posto a tergo di Mercatale, e nella fascia di raccordo con il fondovalle nel settore sud-orientale della collina di Monterchi, è presente uno spessore variamente potente, ma non maggiore di 10 m, di materiale detritico di natura eluvio-colluviale interdigitato al materiale limoso sabbioso corrispondente ai più recenti cicli alluvionali. La coltre detritica e la successione alluvionale recente poggiano sulla successione fluvio-lacustre plio-pleistocenica rappresentata da uno spessore di circa 40 m di materiale conglomeratico al di sopra di quello più francamente lacustre, a sua volta poggiante sul substrato lapideo stratificato circa 80 metri più in profondità.





ZONE SUSCETTIBILIT DI INSTABILITA'

All'interno dell'area di studio è stata discriminata la presenza di zone suscettibili di instabilità: in particolare sono state mappate zone suscettibili di instabilità di versante in stato attivo e quiescente, oltre a quelle di attenzione attorno alle faglie attive e capaci (FAC).

Zona di Attenzione per Faglie Attive e Capaci (FAC)

La microzona delle FAC deve comprendere la supposta traccia del piano di rottura principale ed i probabili fenomeni deformativi del terreno correlati al piano di rottura principale. Benché l'ampiezza raccomandata sia di 400 m (200m + 200 m a cavallo della traccia di faglia), nel caso specifico gli scriventi hanno ritenuto di poter tracciare la zona di attenzione con una larghezza complessiva di 60 metri. L'esecuzione delle indagini geo-elettriche, finalizzate peraltro alla determinazione dell'ampiezza delle Zone di Rispetto e di Suscettibilità proprie del Livello 3 di Microzonazione Sismica, ha evidenziato come le zone di rottura associate ai piani di fagli principali siano contenute entro 40 metri.

Per questo l'estensione della Zona di Attenzione è stata tracciata con ampiezza complessiva pari a 60 metri.

DETERMINAZIONE DELLE ZONE DI SUSCETTIBILITA' E DI RISPETTO DELLE FAGLIE ATTIVE E CAPACI RICONOSCIUTE (Faglia di Mercatale e Faglia del Centena)

E' definita "Zona di Suscettibilità di una FAC" (Faglia Attiva e Capace), quell'area nella quale sono localizzate la traccia del piano di rottura principale della faglia ed altre possibili strutture tettoniche secondarie associate al piano di rottura principale, e le zone di trasferimento tra segmenti distinti della faglia. L'area può essere tracciata in forma asimmetrica rispetto al piano di faglia identificato.

E' invece definita "Zona di Rispetto di una FAC" l'area individuata intorno alla traccia del piano di rottura principale della faglia attiva e capace, identificata con certezza. L'area può essere asimmetrica rispetto al piano di faglia identificato.

Le indagini svolte, in ottemperanza al disposto di cui alle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci", sono state finalizzate alla determinazione della posizione del piano di rottura principale. L'assunzione, imprescindibile, è infatti che le rotture future ricorreranno su FAC preesistenti.

Le linee guida hanno definito 4 gruppi di indagini necessarie per questo livello di approfondimento; dette indagini, nel corso degli studi, hanno una sequenzialità temporale ed hanno una significatività crescente passando dal primo al quarto:

ID	Gruppo Indagini	Indagini
Ind_1	Analisi aerofotogrammetriche	Foto aeree, ortofoto, immagini LIDAR, immagini da satellite
Ind_2	Rilievi geologici e geomorfologici	Rilevamenti di campagna e relativa cartografia
Ind_3	Indagini geofisiche e geognostiche	ERT, sismica a riflessione e a rifrazione, GPR, sondaggi e saggi
Ind_4	Paleosismologia	Trincee paleosismologiche e datazioni cronometriche dei terreni fagliati

La ricca bibliografia disponibile per le strutture tettoniche che caratterizzano l'area alto-tiberina – oltre che l'esecuzione di una tomografia elettrica - ha permesso, già in fase di redazione dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, di posizionare le tracce dei piani di rottura principali con discreta attendibilità.

Si è quindi ritenuto, ai fini di una rigorosa caratterizzazione delle Zone di Rispetto e di Suscettibilità delle FAC, di ricorrere nuovamente ad indagini di tomografia elettrica, ovvero quelle maggiormente in grado di evidenziare giustapposizioni di chiaro significato tettonico.

Nel caso specifico, alla tomografia elettrica svolta in fase di Microzonazione Sismica di Livello 1 sono state aggiunte altre 4 tomografie elettriche, distribuite tra le località di Pantaneto ed il capoluogo. Gli esiti delle indagini svolte all'uopo sono stati proposti in un paragrafo precedente.

Le indagini in tomografia elettrica realizzate hanno permesso il riconoscimento del piano di rottura principale, non già come un'entità planare univocamente determinabile, quanto piuttosto come una fascia deformativa all'interno della quale è certamente collocato anche il piano di faglia oggetto di interesse. Detta fascia deformativa, corrispondente alla principale zona di taglio associata alla Faglia di Mercatale ed alla Faglia del Centena, presenta ubiquitariamente un'ampiezza di circa 30 metri. Si ritiene pertanto adeguatamente cautelativo individuare una Zona di Rispetto della FAC (Zr) ampia complessivamente 30 metri. Si rammenta del resto come le "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci" indichino in 30 metri la larghezza obbligatoria delle Zone di Rispetto in corrispondenza di faglie attive e capaci certe.

Si è scelto peraltro di ricorrere ad una geometria asimmetrica della Zona di Rispetto, relativamente all'asse della rottura principale. Poiché il piano di rottura principale pare collocarsi in posizione mediale all'interno della fascia di taglio evidenziata con le tomografie elettriche, è stato preferito un approccio meno sbilanciato rispetto a quanto proposto dalle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci" per le faglie normali: il rapporto tra estensione della Zr nel settore di tetto ed in quello di letto della faglia è rispettivamente 3/5 e 2/5.

Le "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci" indicano come, nel caso di faglie attive e capaci certe, l'estensione della Zona di Suscettibilità della FAC (Zs) possa addirittura essere uguale a zero. Tuttavia, pare agli scriventi opportunamente cautelativo prevedere una Zona di Suscettibilità con ampiezza di 60 m complessivi, distribuiti simmetricamente rispetto alla linea di faglia. La posizione del piano di rottura principale è stata determinata con buona confidenza, ma ciò nonostante le informazioni strutturali e neo-tettoniche a disposizione per le strutture tettoniche attive e capaci dell'area alto-tiberina, portano comunque ad ipotizzare una potenziale occorrenza di rotture secondarie sintetiche od antitetiche rispetto al piano di faglia principale.

11. MODELLAZIONI NUMERICHE ED ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE BIDIMENSIONALE

Lo studio di microzonazione sismica di Livello 3 è essenzialmente finalizzato alla definizione del livello di amplificazione sismica delle aree suscettibili di amplificazione oltre che alla definizione delle aree di rispetto e/o di suscettibilità per le zone instabili. Tale determinazione avviene, a differenza del livello 2 di microzonazione sismica, mediante procedure avanzate di analisi quantitativa.

La valutazione dell'amplificazione sismica dovrà prevedere la realizzazione di analisi di risposta sismica locale in assetto bidimensionale: per l'esecuzione di tali elaborazioni è necessaria la definizione di un input sismico (accelerogrammi di input), dei caratteri geometrici delle diverse unità sismo-stratigrafiche alla luce anche delle eventuali geometrie sepolte e delle caratteristiche meccaniche e dinamiche dei terreni che le costituiscono.

Sono state elaborate 10 sezioni geologico-tecniche, realizzate tendenzialmente lungo la linea di massima pendenza in modo da cogliere gli aspetti stratigrafici delle dorsali collinari di Monterchi e delle frazioni indagate e del raccordo con il fondovalle. Alcune sezioni litotecniche risultano inoltre trasversali alla traccia delle faglie est-immergenti di Mercatale e del Centena; la struttura dislocativa non contribuisce intrinsecamente alla definizione dell'azione sismica, determinando piuttosto l'occorrenza di fenomeni amplificativi in considerazione dei rapporti di giustapposizione tra terreni a differente impedenza sismica scaturiti dalla sua attivazione.

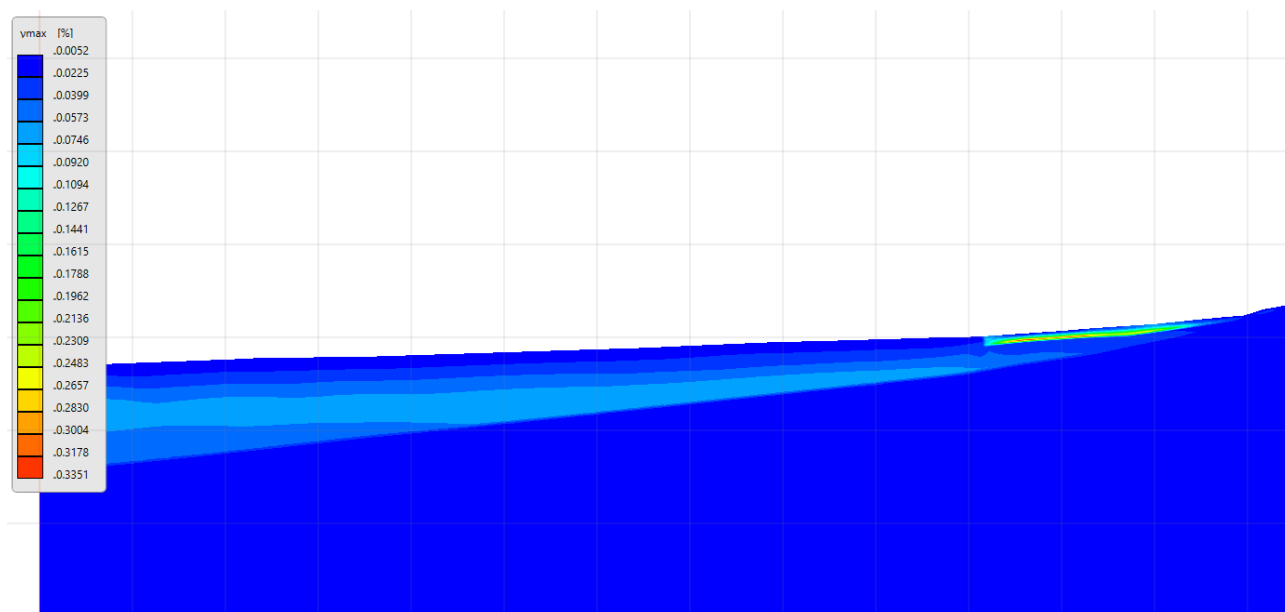
Tutte le sezioni sono state analizzate mediante il software LSR2d.

Per i dettagli inerenti il metodo di calcolo adottato (metodo lineare equivalente) si rimanda alla Relazione di Calcolo allegata in calce alla presente relazione.

SELEZIONE DELLE STORIE TEMPORALI DI INPUT

Per quanto attiene alla definizione delle serie temporali da utilizzare come input sismologico, esse dovrebbero in via preferenziale e prioritaria essere ricavate mediante l'utilizzo del software regionale SCALCONA 3.0 (SCALing of Compatible Natural Accelerograms), scaricabile al link: <http://www.regione.toscana.it/-/accelerogrammi-di-riferimento-per-la-toscana>. Il periodo di ritorno ufficiale per la realizzazione di studi di MS3 è di 475 anni. La scelta di privilegiare settuple estratte mediante SCALCONA 3.0 deriva dalla necessità di avere omogeneità in termini di accelerogrammi di input, soprattutto per studi di MS3 di comuni attigui.

Purtroppo, nel caso specifico del Comune di Monterchi, le settuple di accelerogrammi estratte da SCALCONA 3.0 per periodi di ritorno di 475 anni, ed in realtà anche per periodi di ritorno di 50 anni (analisi SLD), non si sono rivelate adeguate per tutte le sezioni geologico-tecniche elaborate: è stato infatti sovente ravvisato un superamento della soglia di deformazione volumetrica (0,2%), che rende non valido l'esito della risposta sismica locale condotta secondo un modello lineare-equivalente. Di seguito si riporta un esempio di superamento, invero estremamente localizzato, della soglia di deformazione volumetrica (circa 0,33%).

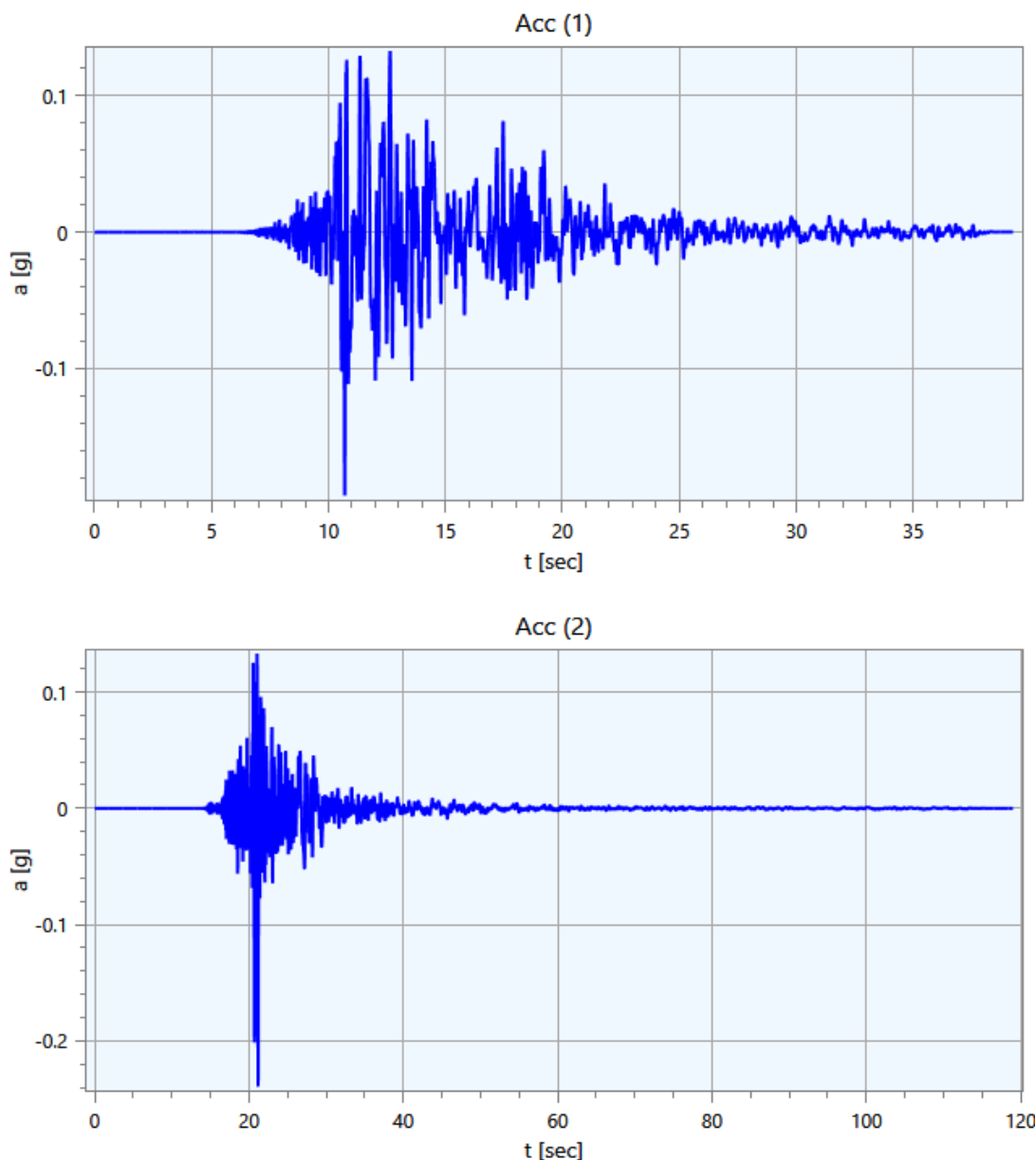


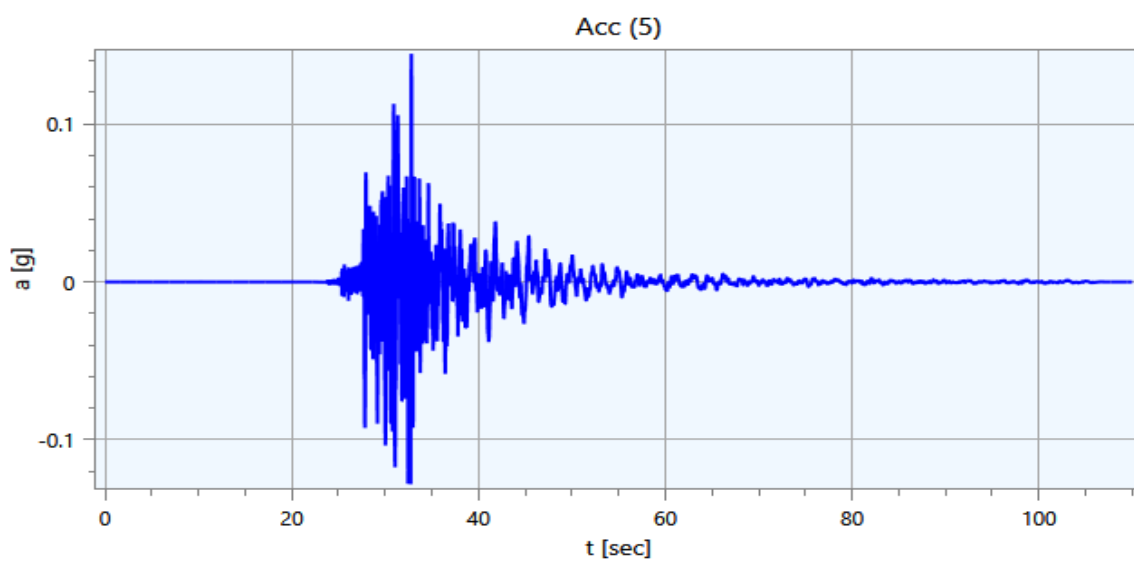
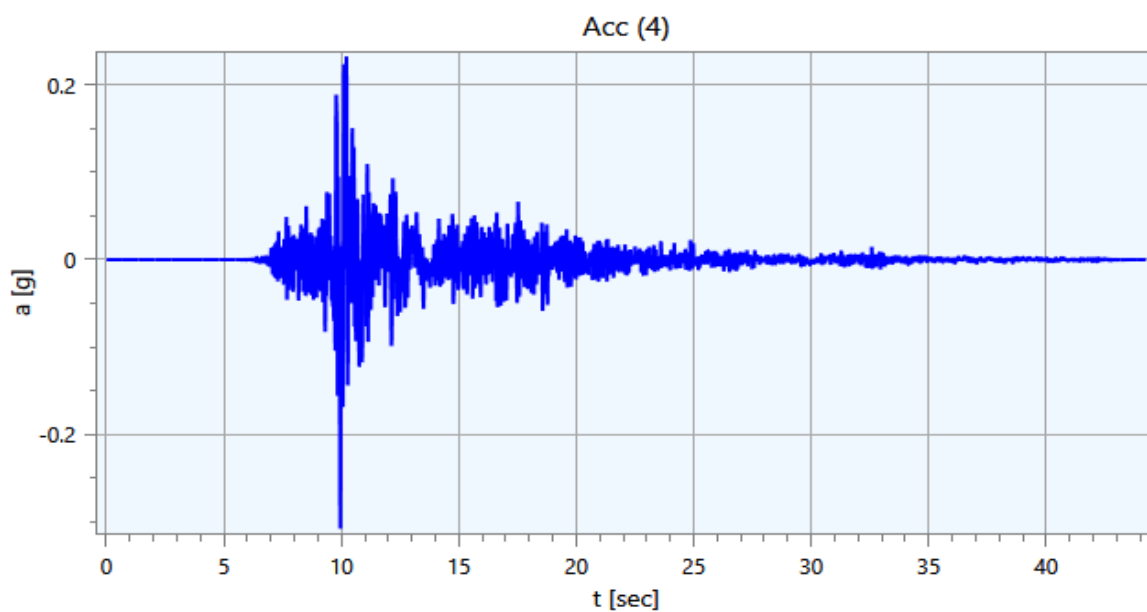
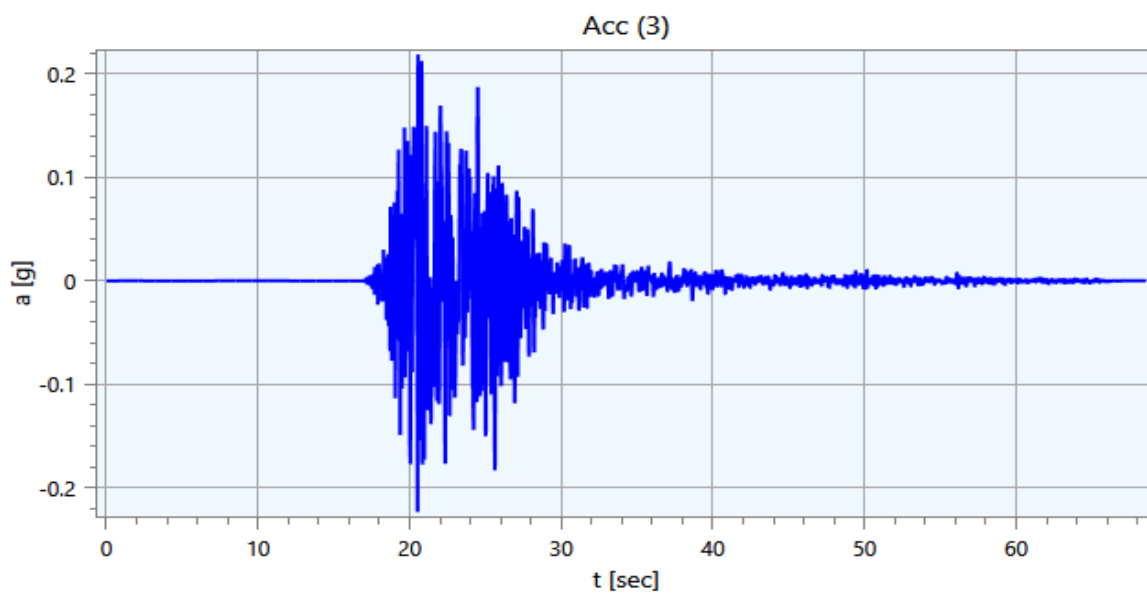
Per questo motivo è stato fatto ricorso a settuple di accelerogrammi estratte da REXELite, nella versione collegata all'Engineering Strong Motion database (ESM v1.0). REXELite, compatibile con i criteri di cui alle NTC2018 (https://esm.mi.ingv.it/DYNASTAGE/CadmoDriver?action_prepare_insert=1&_page=REX_rexel_request_I&_password=dummy&_rock=INVALID&_state=initial&_tabber=5&_token=3TLJ27L2GYD599K2&_username=geosedda%40gmail%2ecom&nonce_checkbox=HY83NV9BHCWFRXMC): è di fatto un tool per la selezione automatica di accelerogrammi spettro-compatibili per analisi di risposta sismica locale.

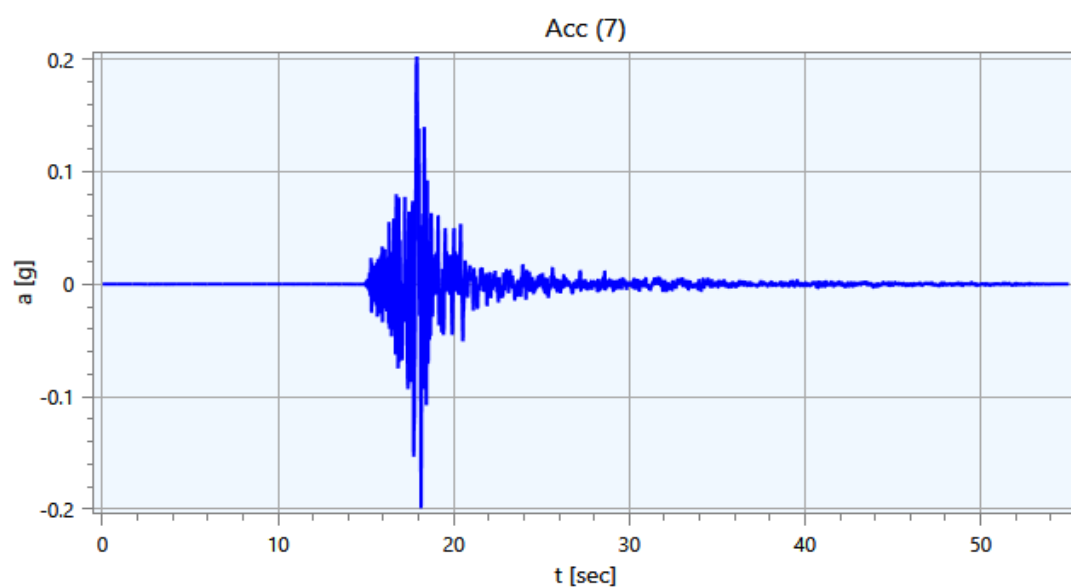
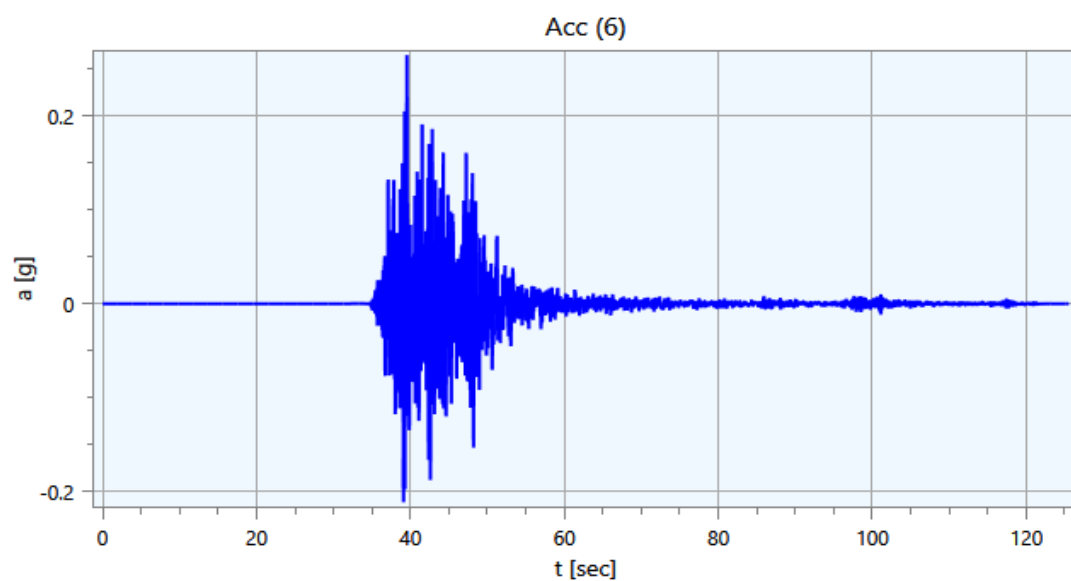
Di ogni input sismologico è stata verificata la spettro-compatibilità, nel rispetto delle seguenti indicazioni: la norma impone che il set di accelerogrammi utilizzato, sia esso costituito da segnali naturali, sintetici o artificiali, abbia uno spettro di risposta medio coerente con quello elastico definito dal codice. Tale coerenza è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%. Nel dettaglio: l'ordinata spettrale media non deve essere inferiore al 90% della corrispondente dello spettro elastico, in alcun punto dell'intervallo di periodi 0,15 s ÷ 2,0 s.

ACCELEROGRAMMI UTILIZZATI PER LE RISPOSTE SISMICHE LOCALI

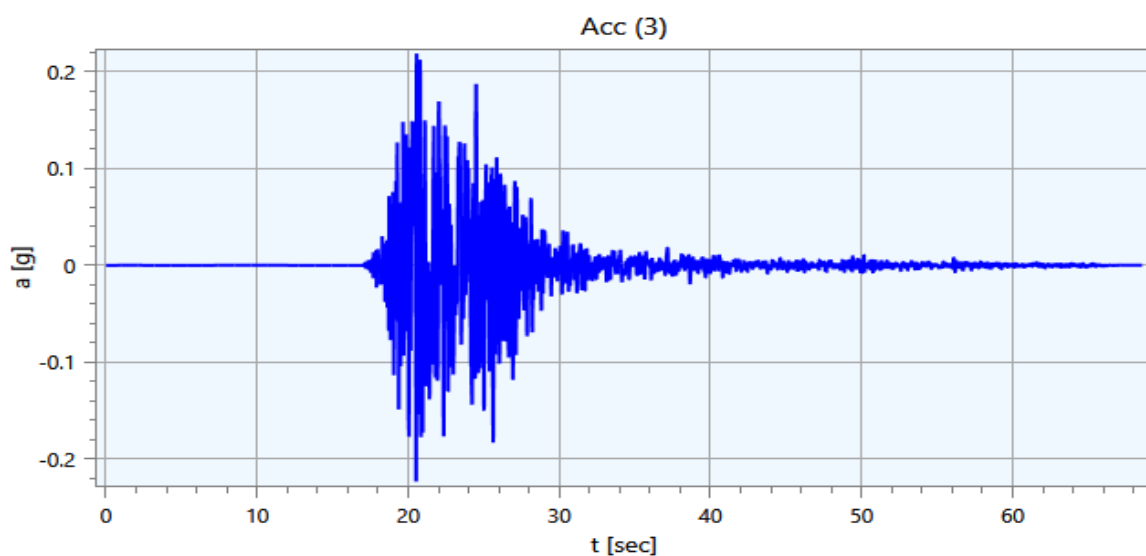
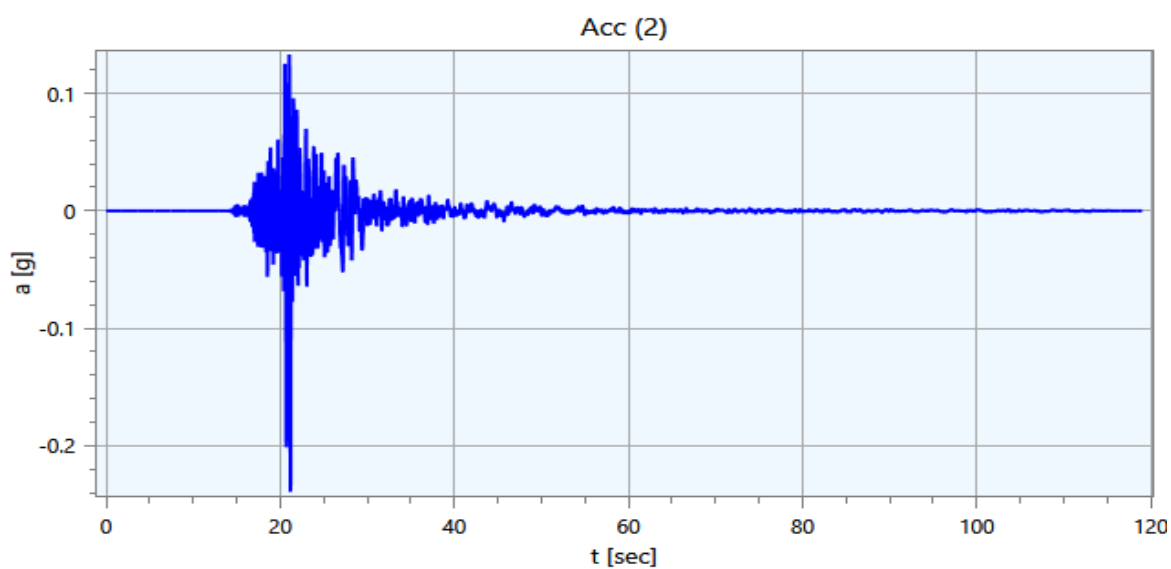
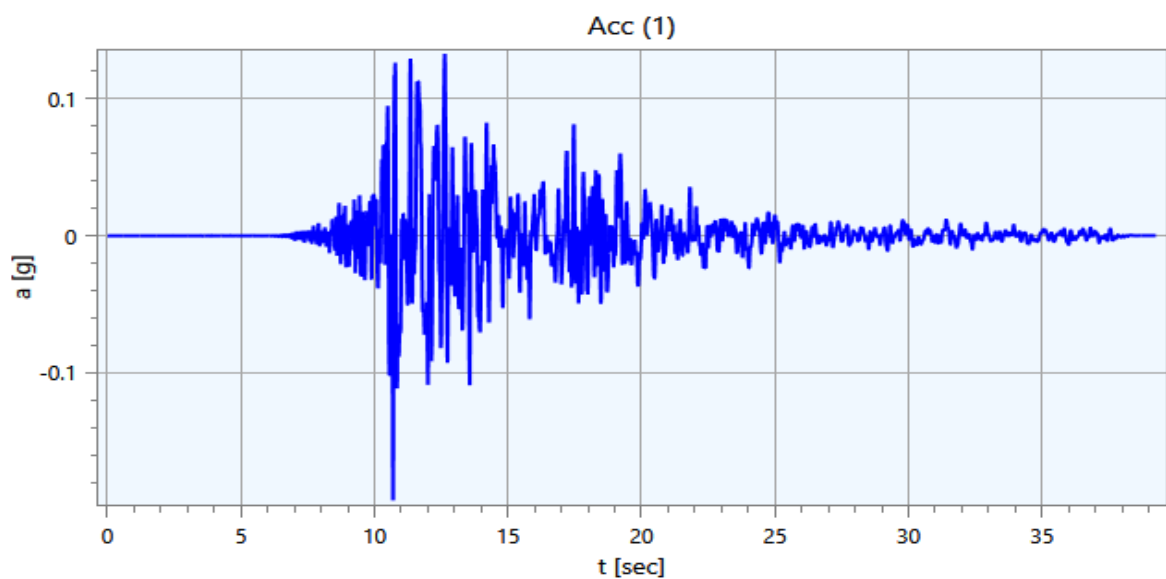
Tr 475 anni - SLV

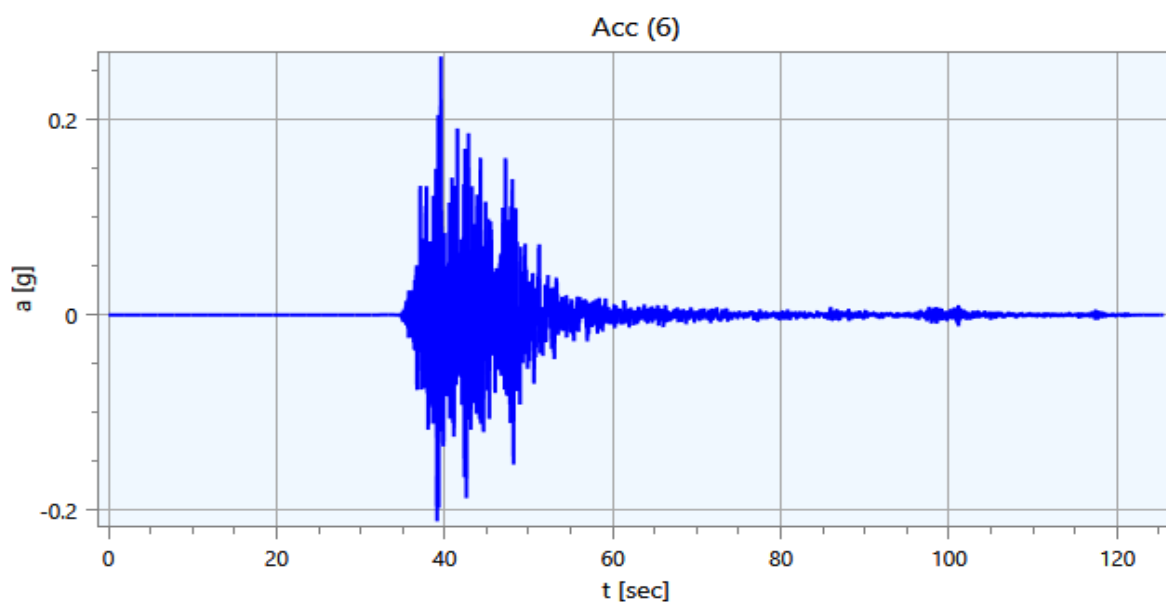
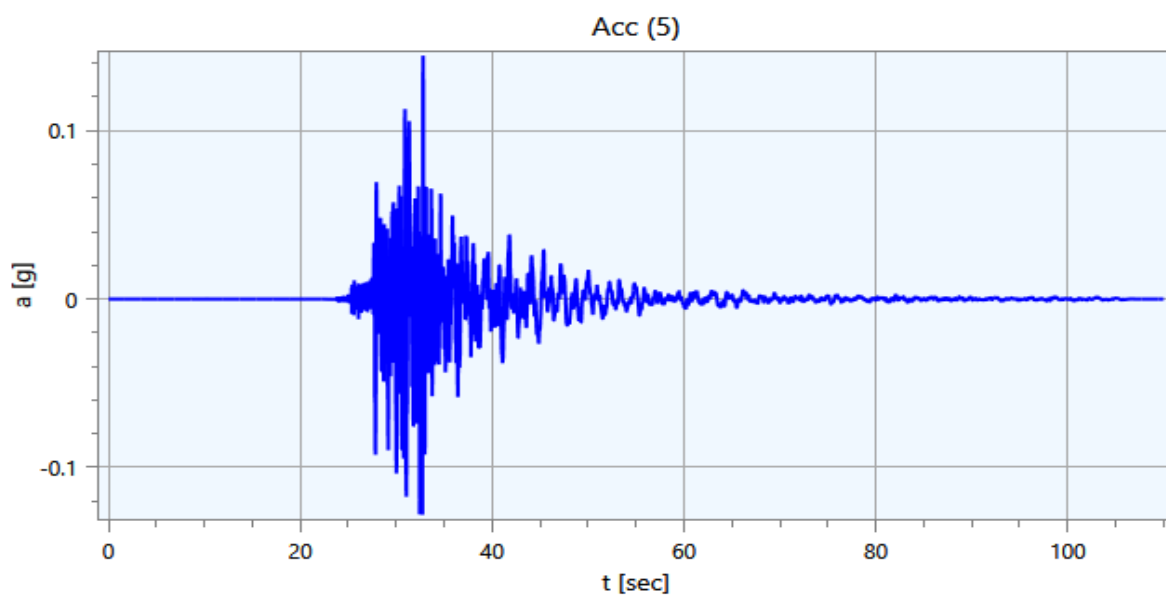
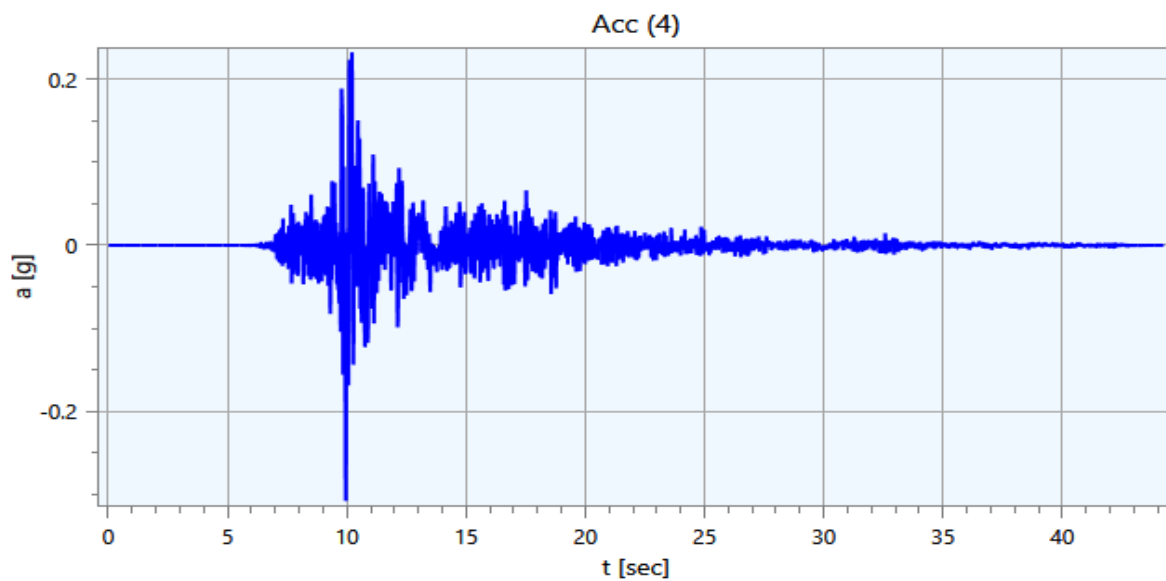


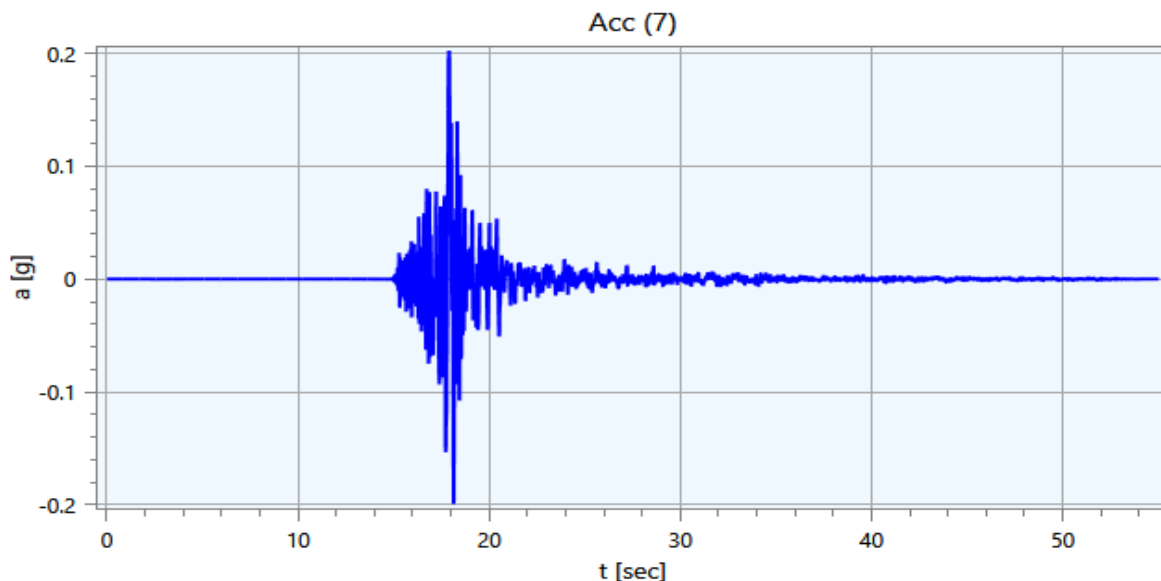




Tr 50 anni - SLD







DEFINIZIONE DELLE SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE

Lungo il profilo delle sezioni, sulla superficie topografica, sono stati identificati punti di controllo ogni 100 metri lineari o meno se in corrispondenza di singolarità sismo-stratigrafiche; l'estrazione degli spettri di output da ogni singolo punto di controllo ha permesso il rigoroso calcolo dei Fattori di Amplificazione nei tre intervalli di periodo previsti dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3.

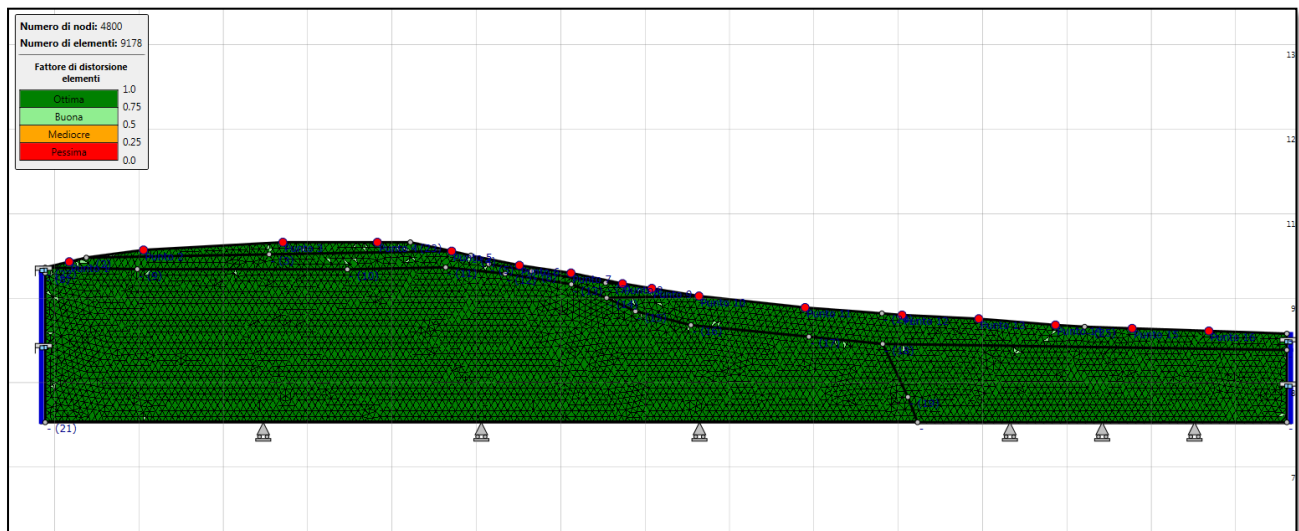
Per ogni punto è stato determinato uno spettro in accelerazione di output - unicamente nella direzione x - per ogni condizione di carico, ovvero per ogni accelerogramma di input.

Il rapporto spettrale tra quello di output e quello di input, per ogni combinazione di carico, fornisce nei diversi intervalli di periodi il Fattore di Amplificazione. La media dei 7 Fattori di Amplificazione così ottenuti rappresenta il valore assoluto, nel punto di controllo considerato, del Fattore di Amplificazione.

Tra i dati di input del codice di calcolo LSR2d occorre segnalare anche il valore di ESR (Effective Strain Ratio), o Rapporto di deformazione effettiva, che esprime la deformazione percentuale di taglio efficace rispetto a quella massima. Tale valore cresce all'intensità dell'evento sismico; la formula da cui deriva il valore è la seguente:

$$ESR = (M-1) / 10$$

dove M è la magnitudo media dei 7 terremoti di input. Nel caso di studio M è risultata pari a 6,5; se ne ricava un valore di ESR pari a 0,55.



In figura sopra è proposta una sezione sottoposta ad analisi di risposta sismica locale; le formazioni oggetto di studio sono state discretizzate mediante elementi finiti triangolari le cui dimensioni massime sono state selezionate secondo la regola (Kuhlemeyer e Lysmer, 1973):

$$D_{max} = \lambda / k = (T V_s)/k$$

dove V_s è la velocità di propagazione delle onde di taglio del substrato e T è il periodo corrispondente alla più corta onda sismica propagabile e posto pari a 0.05s (frequenza massima propagata pari a 20Hz). Tale periodo è quindi il minor periodo per cui si può ritenere attendibile il dato di output. Il coefficiente k è stato posto pari a 8 (Lanzo & Silvestri, 1999).

Le dimensioni della cella diminuiscono al diminuire della V_s dei terreni di copertura.

PARAMETRIZZAZIONE DINAMICA DEI TERRENI

Il modello prevede l'inserimento dei seguenti dati di input:

- caratteristiche meccaniche dei materiali
- curve di decadimento dei materiali

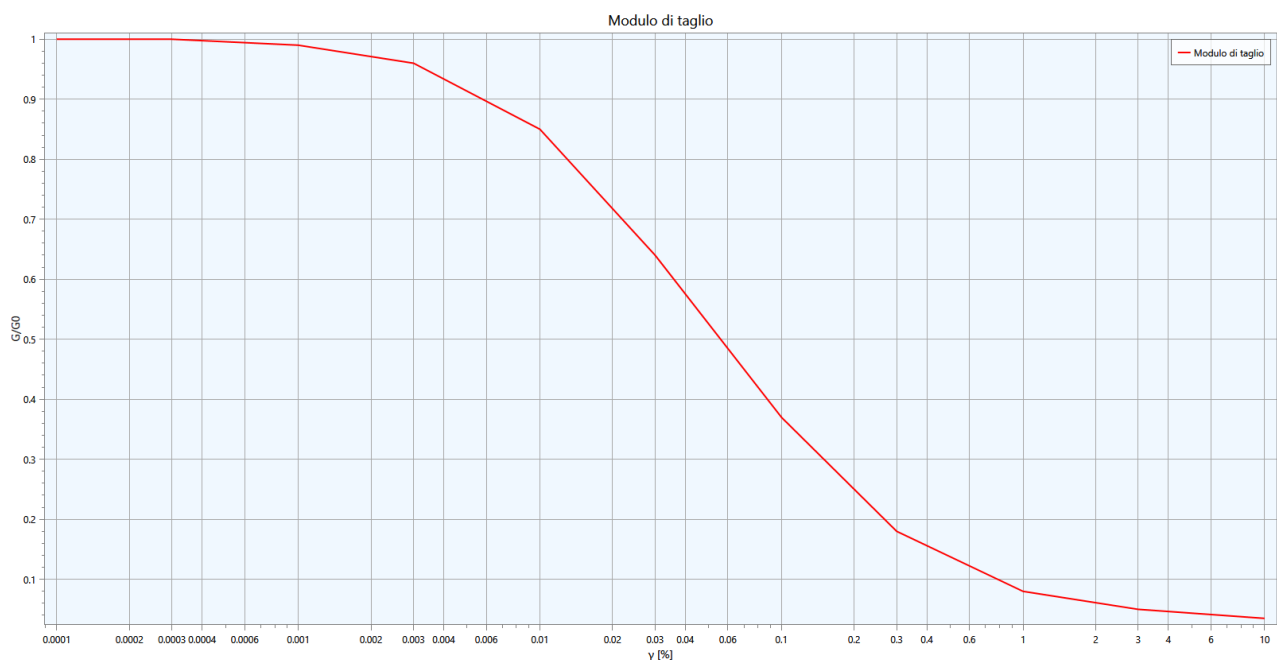
Le sezioni modellate prevedono la discretizzazione in strati omogenei delle unità del sottosuolo: detta discretizzazione scaturisce dalla conoscenza dei rapporti stratigrafici identificati già con il livello 1 di Microzonazione Sismica. La parametrizzazione meccanica dei terreni è stata resa possibile dalla ricchezza di dati geotecnici e sismici disponibili in tutto il territorio comunale di Monterchi.

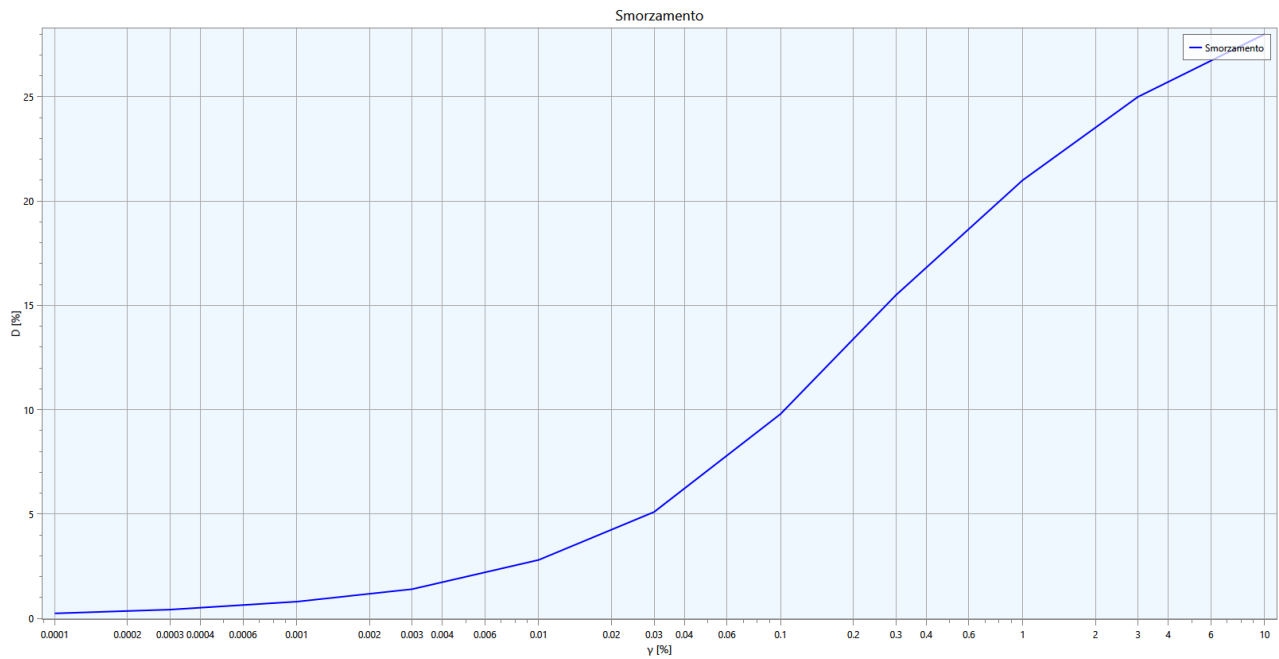
Per la caratterizzazione dinamica dei terreni sarebbe stato possibile pertanto fare ricorso al ricco database di curve di decadimento messo a disposizione dalla Regione Toscana nell'ambito del Progetto VEL (<http://150.217.73.23/BancaDatiVEL/>), in particolar modo per l'area della Valtiberina. Impostando come filtro la selezione di tutte le curve riferibili ad una determinata formazione geologica è infatti possibile ricavare una curva media rappresentativa mediante il

Metodo di Yokota. Purtroppo però le curve ricavate con il metodo di Yokota presentano un *damping* iniziale elevato e prossimo al valore di 5. L'utilizzo di queste curve, oltre a comportare oneri computazionali difficilmente gestibili, determinava sistematiche problematiche di convergenza del calcolo, e nemmeno il ricorso ad un numero elevato di iterazioni consentiva di raggiungere un errore relativo al decadimento D inferiore al 2%.

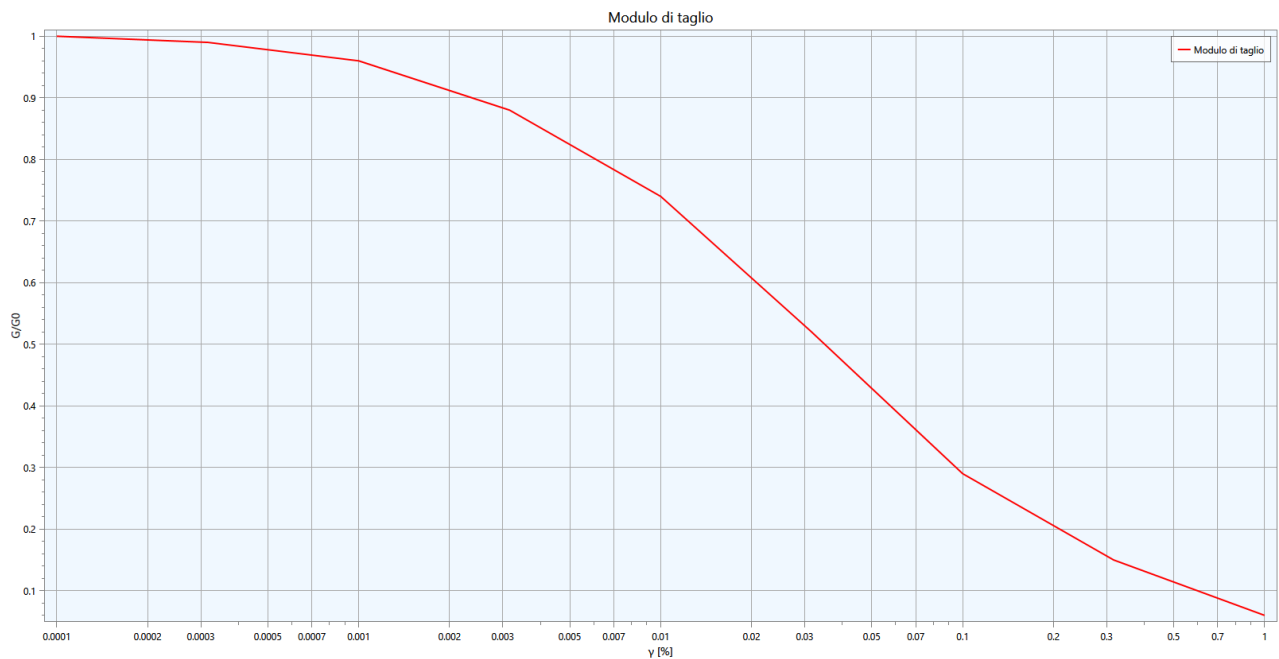
Si è quindi ritenuto, in accordo con l'Ufficio di Prevenzione Sismica della Regione Toscana, di ricorrere a curve di letteratura, litologicamente riferibili alla natura dei terreni caratterizzanti le diverse unità sismo-stratigrafiche.

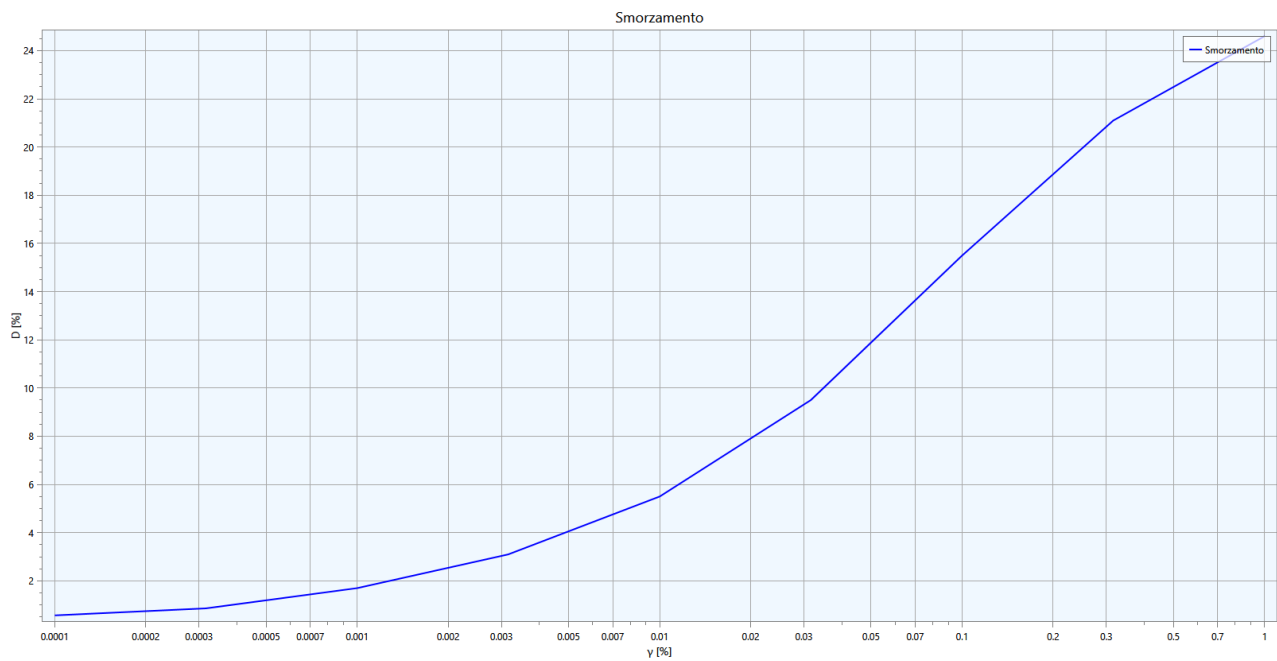
In particolare, alle coltri di materiale in frana ed agli accumuli eluvio-colluviali ai piedi dei rilievi (coltri detritiche) sono state attribuite le curve "Sand di Seed & Idriss, 1970":



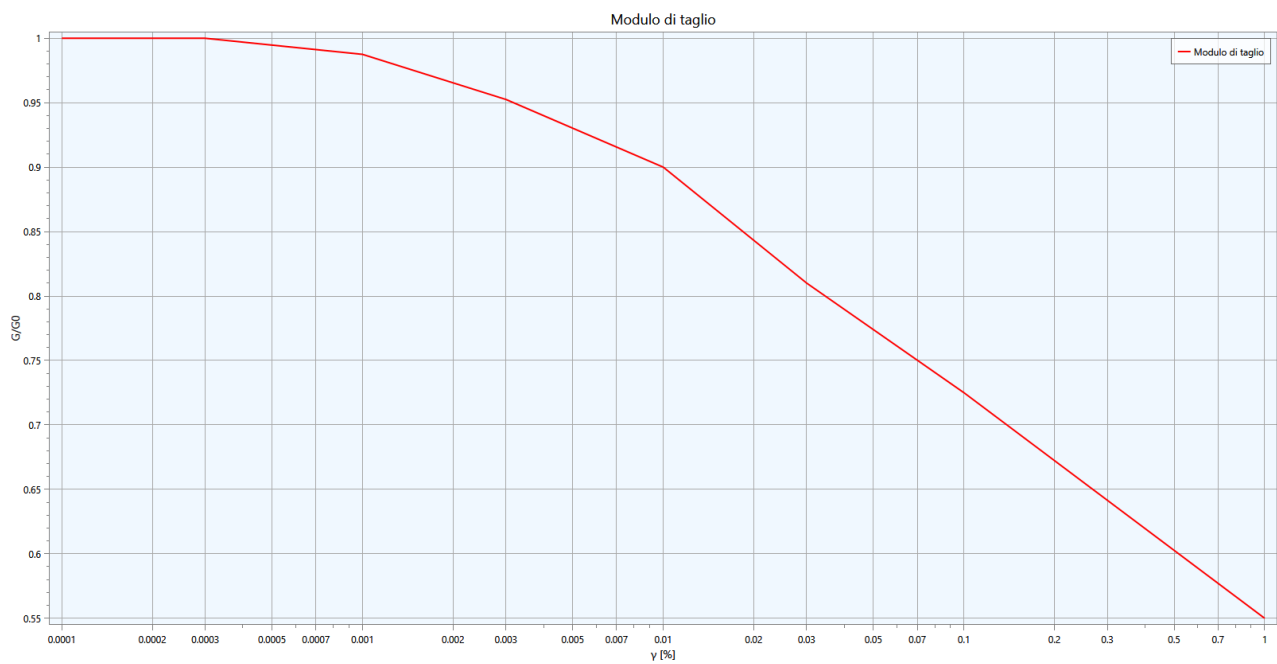


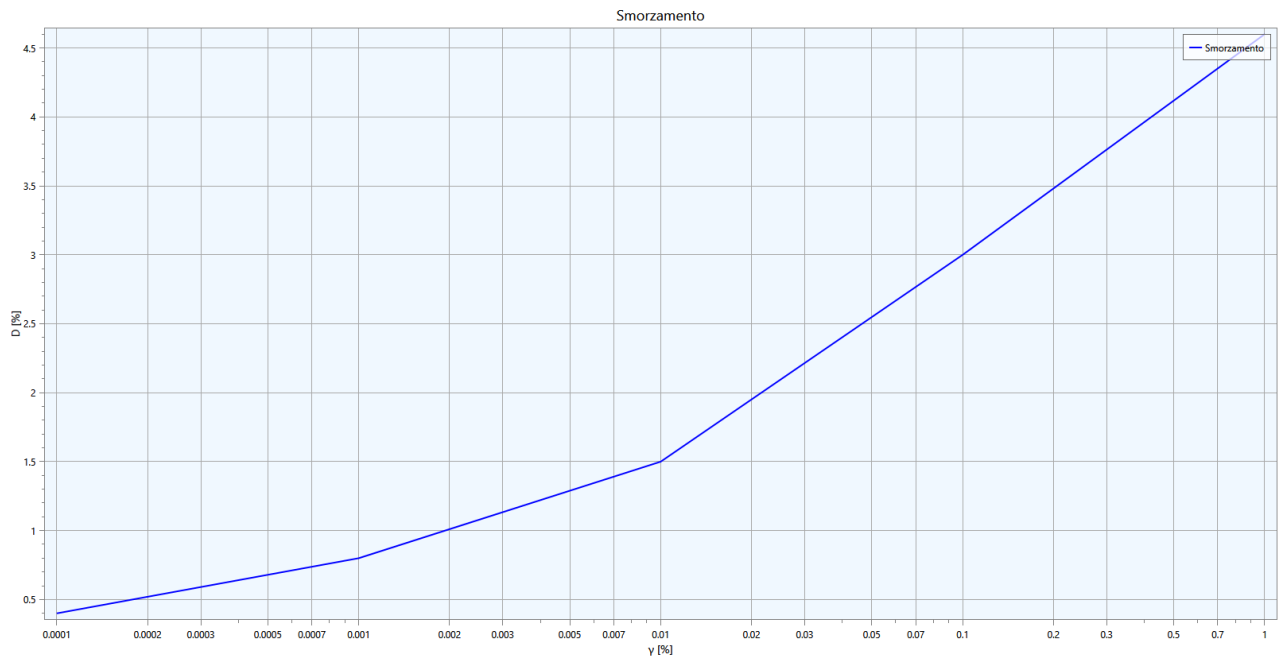
All'unità dei limi sabbiosi e sabbie limose che caratterizza la successione alluvionale recente nel fondovalle del T. Cerfone e del Fosso della Centena sono state attribuite le curve "Sand mean di Seed & Idriss, 1989":



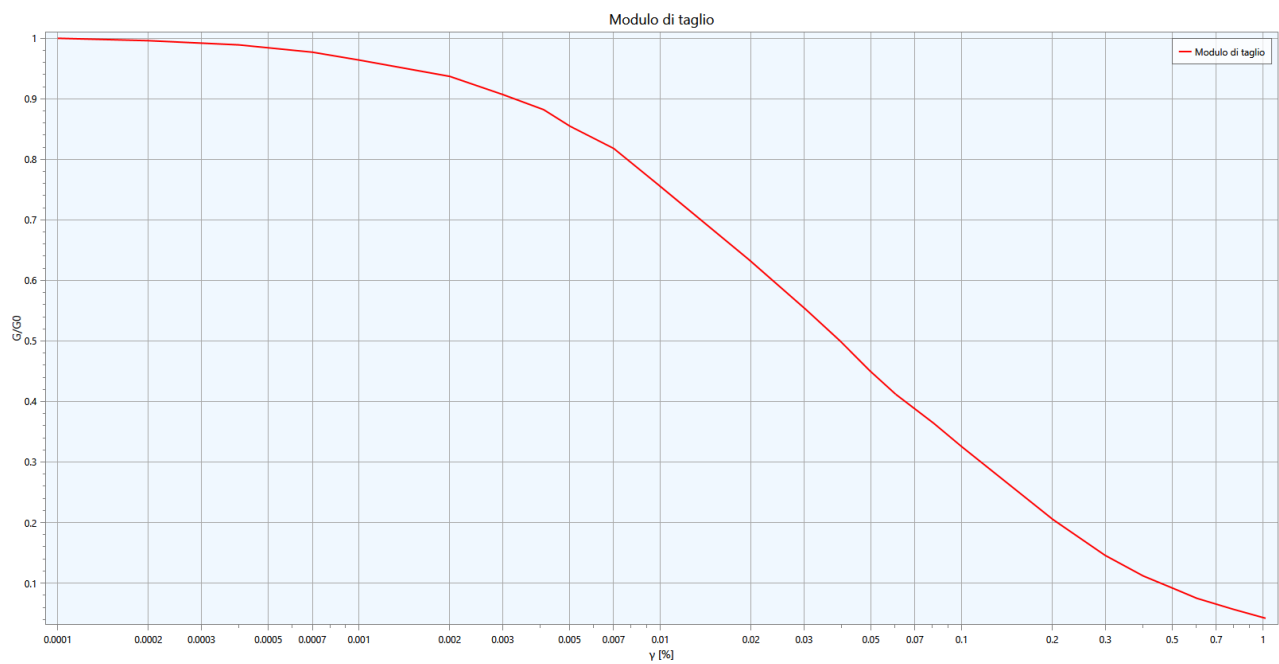


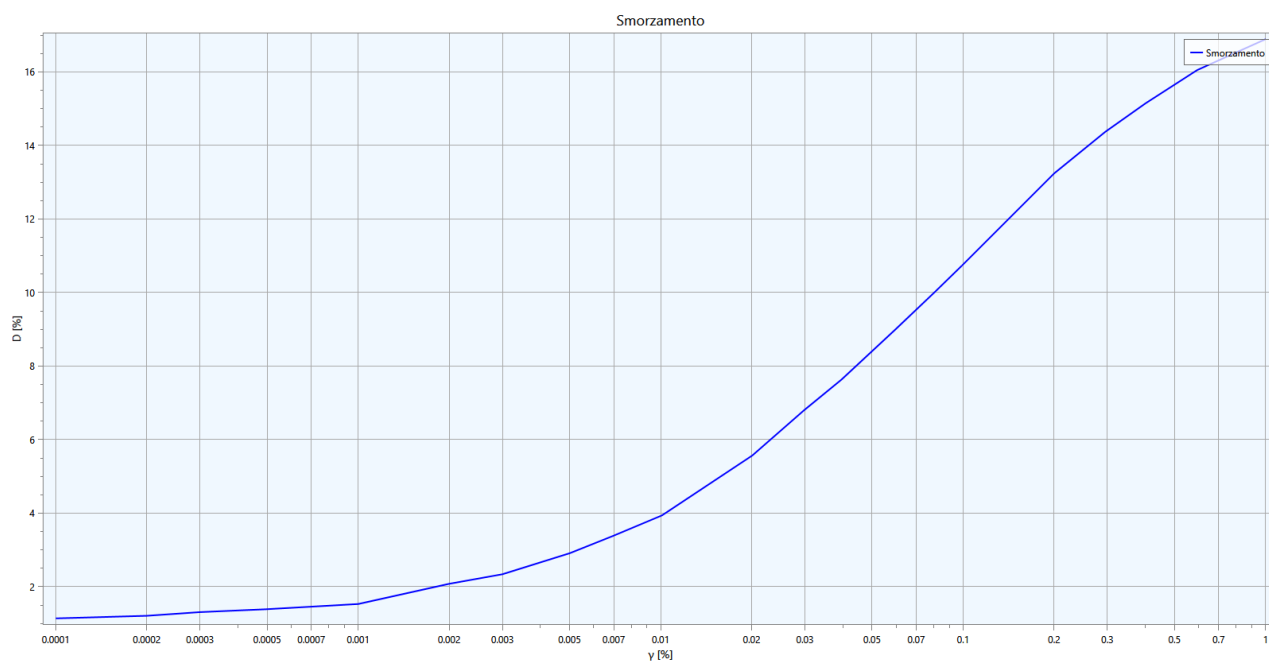
Al substrato lapideo non avente le caratteristiche di substrato sismico sono state attribuite le curve "Average Rock":



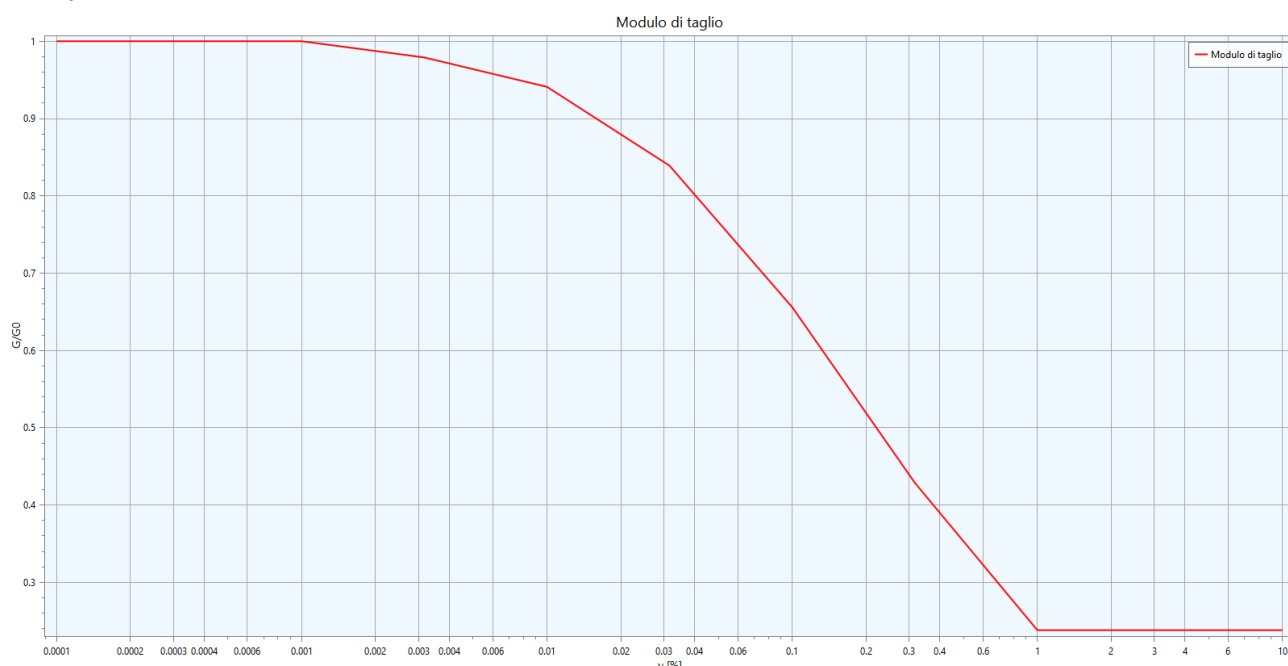


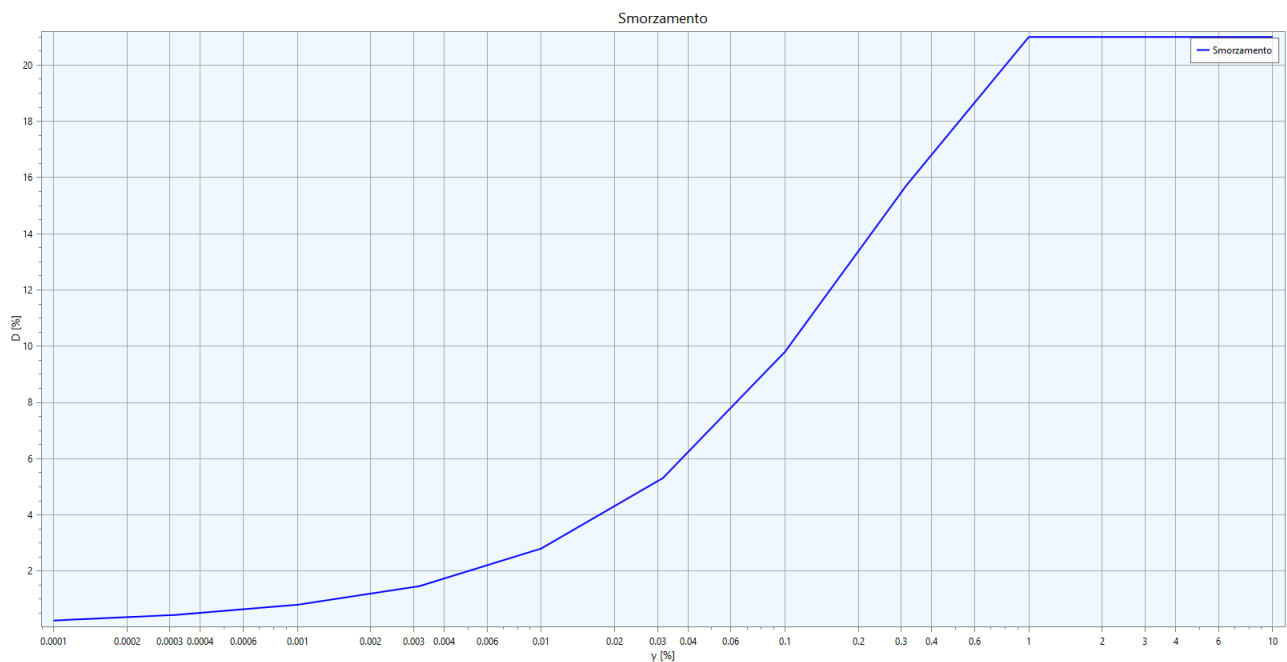
Alla successione fluvio-lacustre in facies conglomeratica sono state attribuite le curve di "Rollins":





Alla successione fluvio-lacustre in facies argilloso-limosa sono state invece attribuite le curve "Clay, Idriss 1990".





Al substrato lapideo con caratteri inequivocabilmente propri di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/sec) sono stati assegnati i seguenti valori:

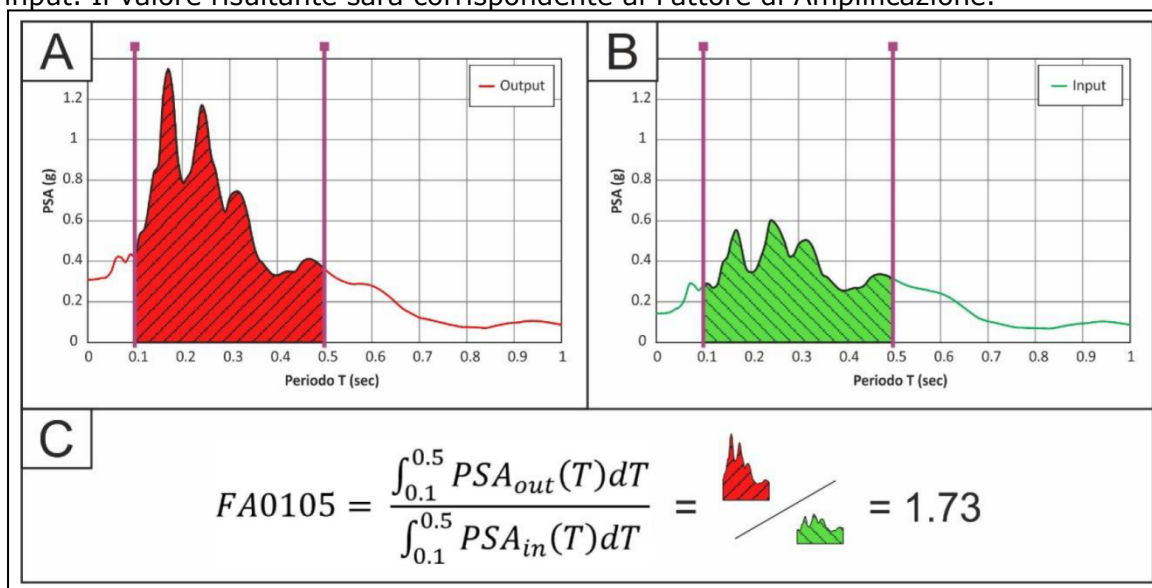
$$G/G_0 = 1$$

$$D \% = 0,5$$

UNITA' LITOTECNICA	V_s	V_p	ν modulo di Poisson	γ	Curve
Coltri in frana	250 m/sec	500 m/sec	0.33	1800 Kg/mc	Sand – Seed & Idriss
Coltri detritiche	230 m/sec	540 m/sec	0.39	1800 Kg/mc	
Limi sabbiosi e sabbie limose	330 m/sec	1500 m/sec	0.47	1850 Kg/mc	Sand mean – Seed & Idriss
Successione fluvio-lacustre in facies conglomeratica	630 m/sec	1930 m/sec	0.44	1950 Kg/mc	Rollins
Successione fluvio-lacustre in facies argilloso-limosa	520 m/sec	1970 m/sec	0.46	1850 Kg/mc	Clay – Idriss (1990)
Substrato lapideo sismico	1100 m/sec	2510 m/sec	0.38	2200 Kg/mc	$G/G_0 = 1$ $D \% = 0,5$
Substrato lapideo non sismico	560 m/sec	1200 m/sec	0.36	2000 Kg/mc	Average Rock

DATI DI OUTPUT

Partendo dallo spettro di risposta elastico in output in ogni punto di controllo di ciascuna sezione, è stato effettuato il confronto tra gli integrali di output e di input, in riferimento ai tre differenti intervalli di periodo analizzati (0.1-0.5 – 0.4-0.8 – 0.7-1.1 sec). In figura seguente è riportata la metodologia necessaria per il calcolo dei predetti fattori (nell'esempio viene indicata la procedura per il calcolo di FA 0.1-0.5, tenendo conto che per la stima degli altri fattori la procedura è la medesima). Si opera il calcolo dell'area sottesa dallo spettro di output nell'intervallo di periodo richiesto e la si mette a rapporto con l'area sottesa dallo spettro di input. Il valore risultante sarà corrispondente al Fattore di Amplificazione.

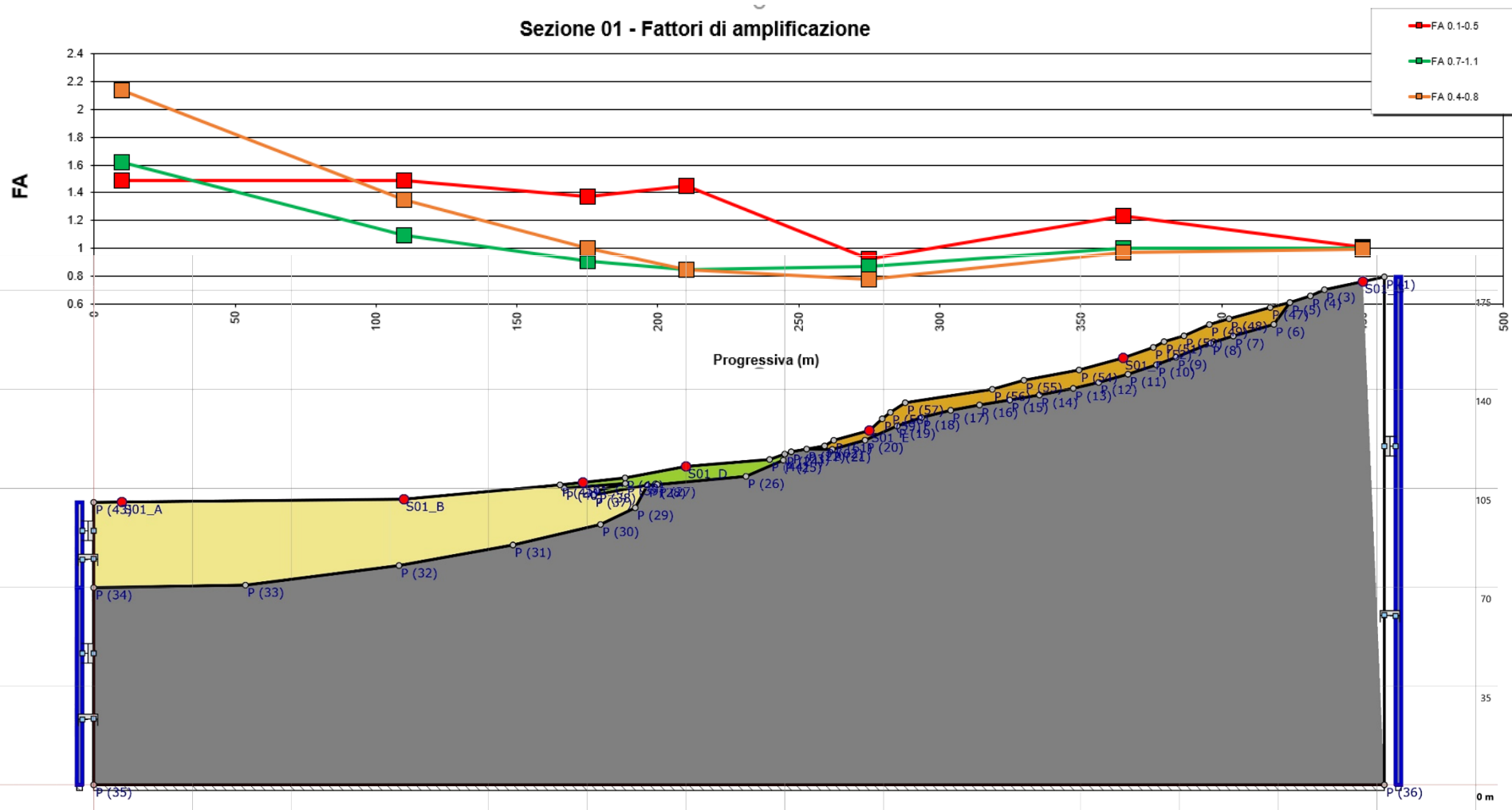


Nel caso di studio è stata operata una discretizzazione dello spettro di output e di input con passo di campionamento lineare ed omogeneo: il passo di campionamento scelto è pari a 0,01 sec). Con tale procedura si semplifica l'operazione poiché, invece di effettuare un rapporto tra integrali, sarà possibile calcolare il fattore di amplificazione come rapporto tra sommatorie dei valori di pseudo-accelerazione (PSA) nell'intervallo di periodi necessario (sia per l'output sia per l'input).

Di seguito vengono rappresentate tutte le sezioni analizzate, sovrapponendo la distribuzione dei vari Fattori Amplificazione lungo il profilo. Possono essere preliminarmente apprezzate le zone ed i settori in cui prevalgono fenomeni amplificativi propri di basse frequenze – espressione di contrasti di impedenza sismica più profondi – e quelli in cui prevalgono i fenomeni amplificativi propri di più alte frequenze, espressione di contrasti di impedenza sismica relativamente più superficiali.

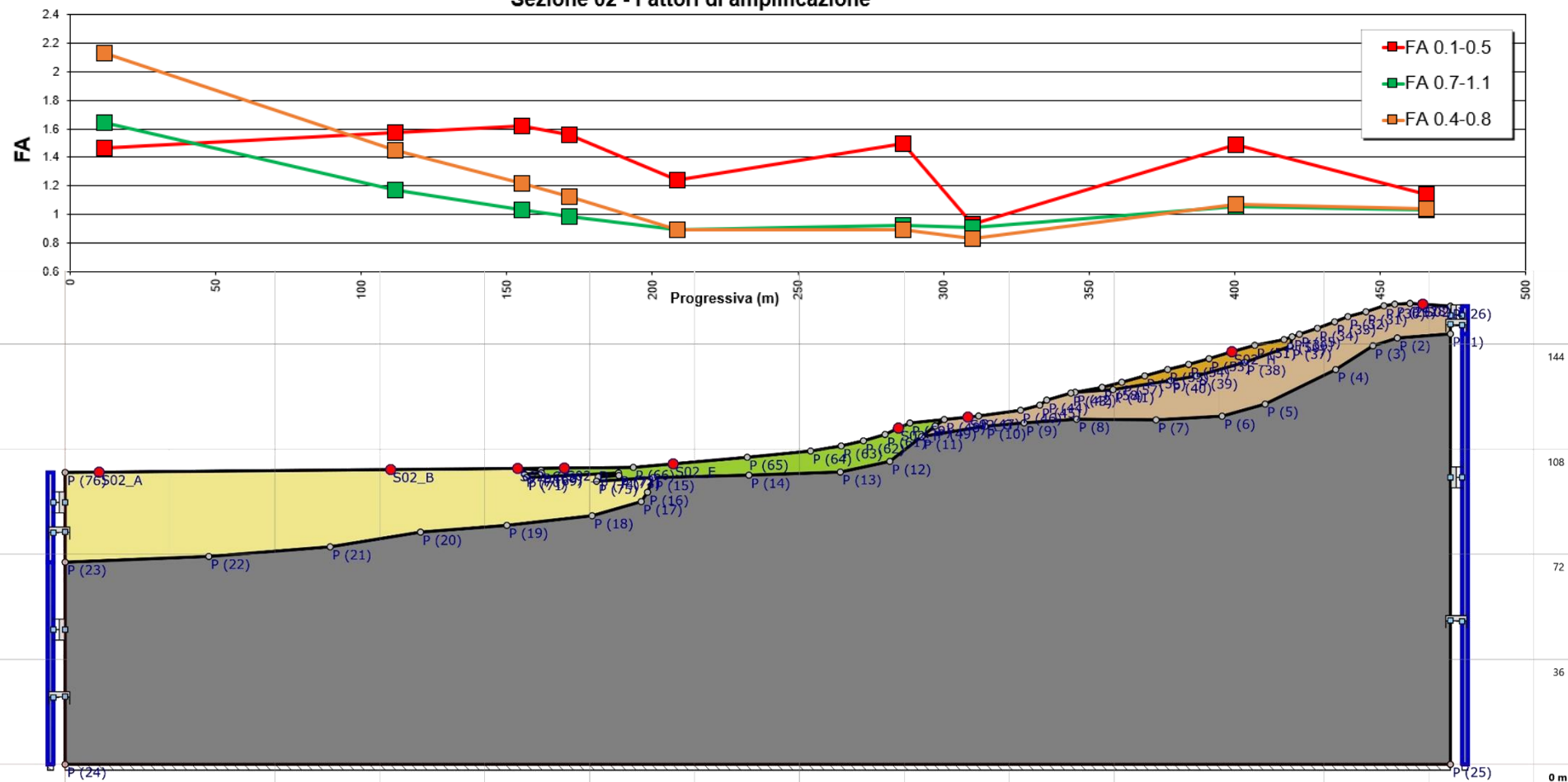
Sezione 01

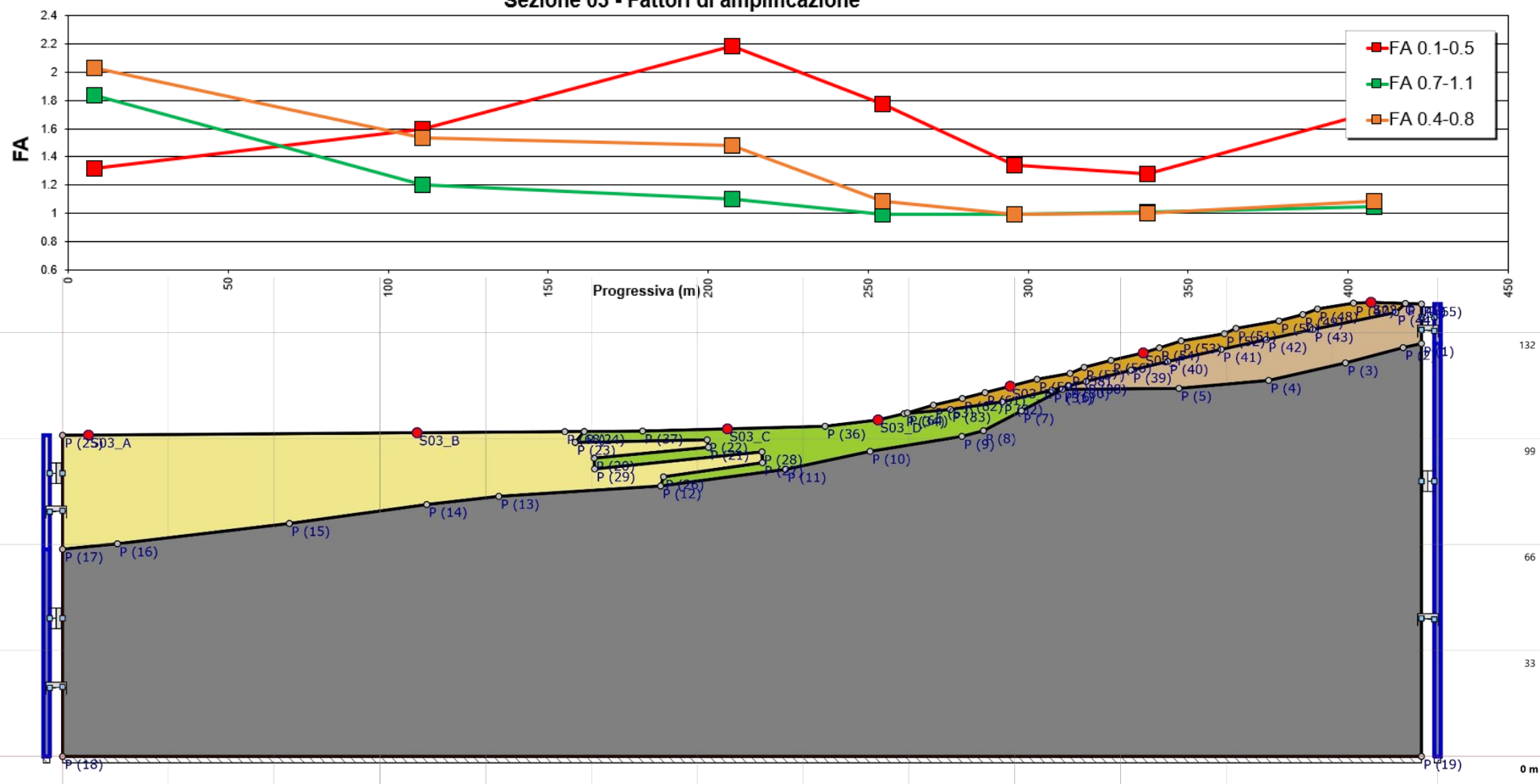
Sezione 01 - Fattori di amplificazione



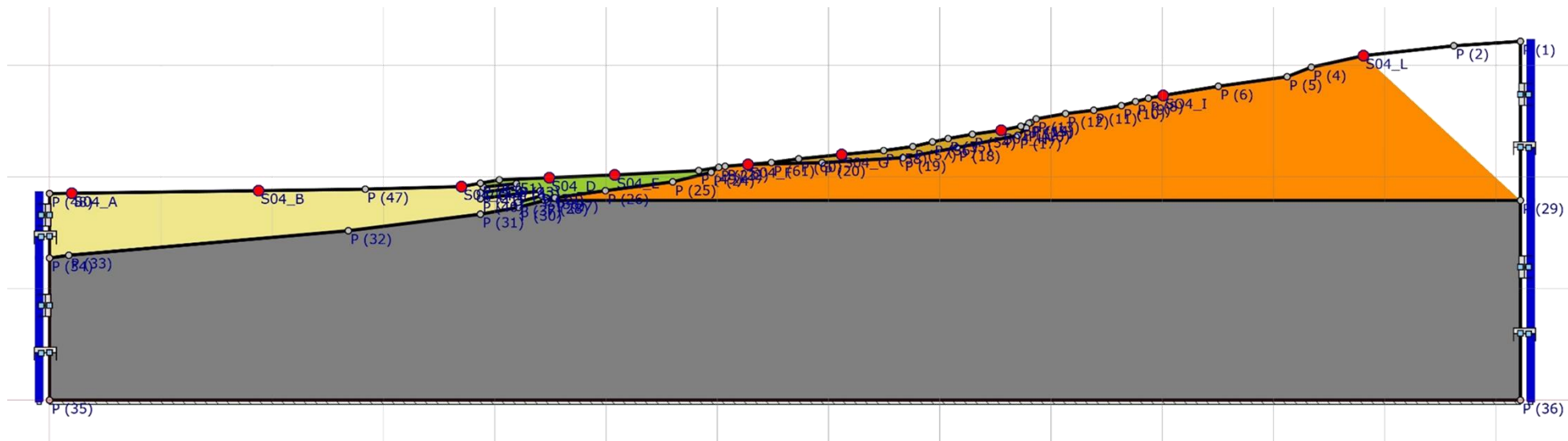
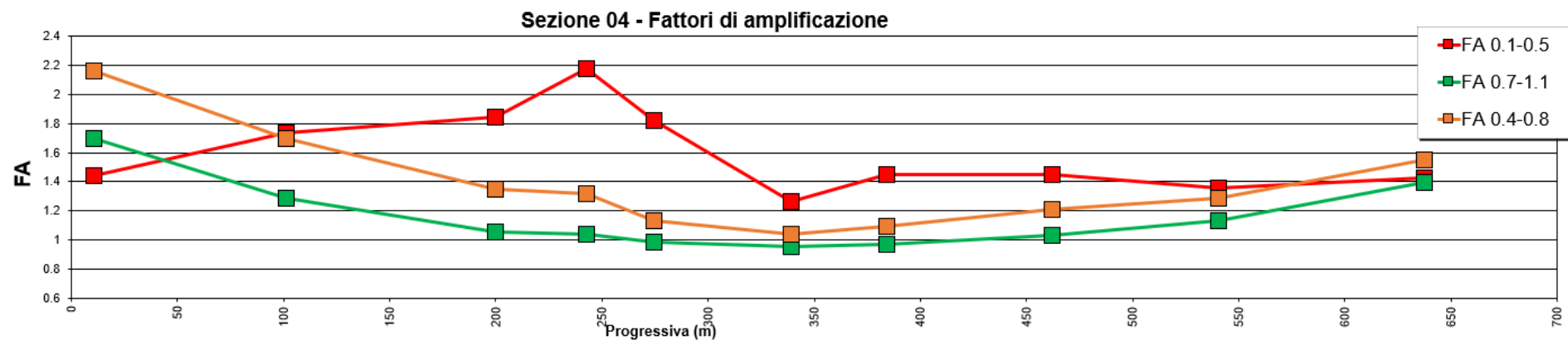
Sezione 02

Sezione 02 - Fattori di amplificazione



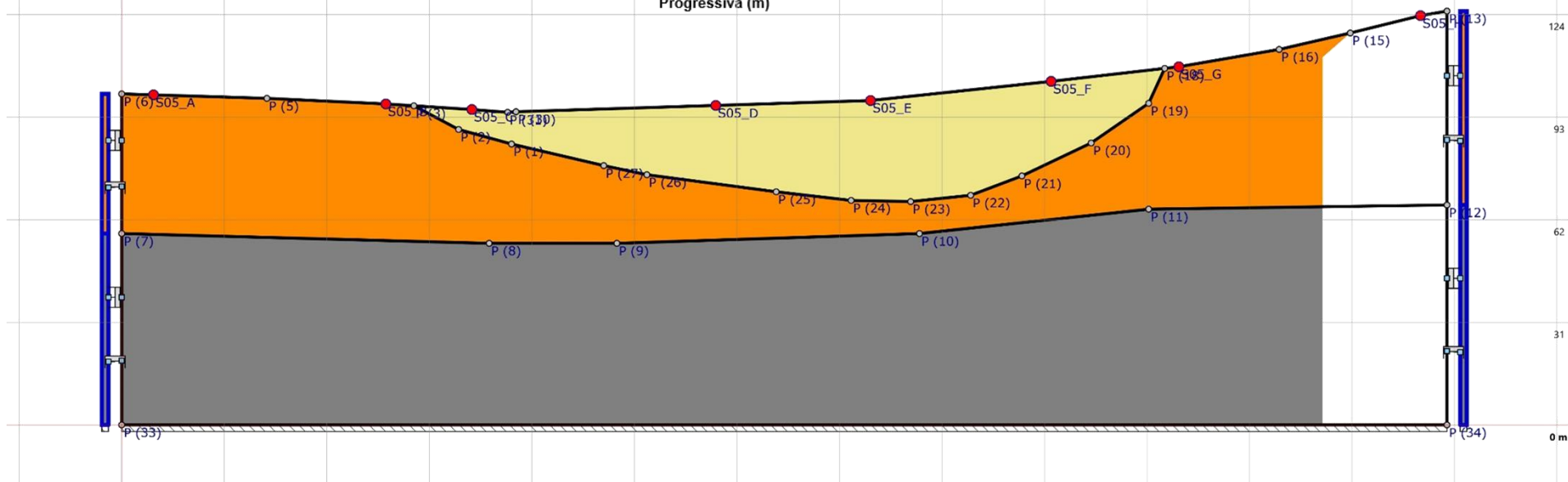
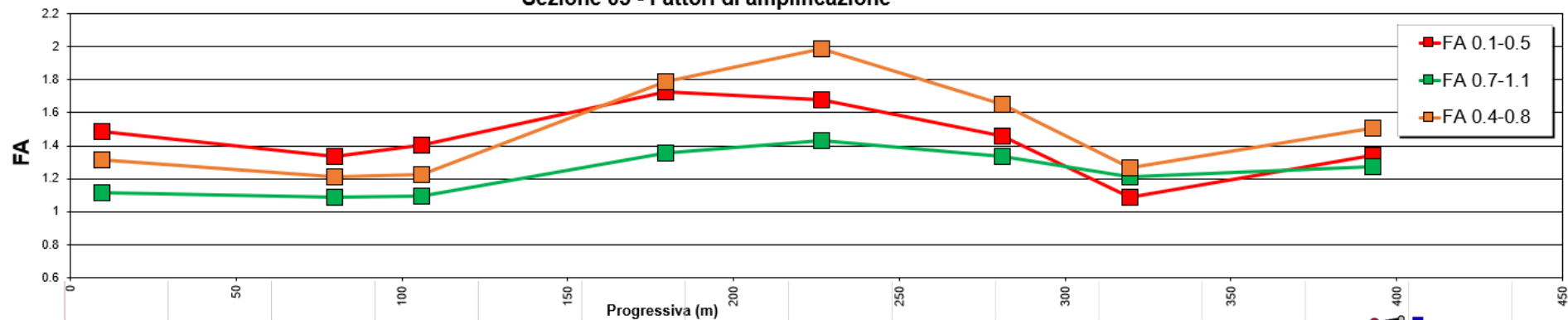


Sezione 04

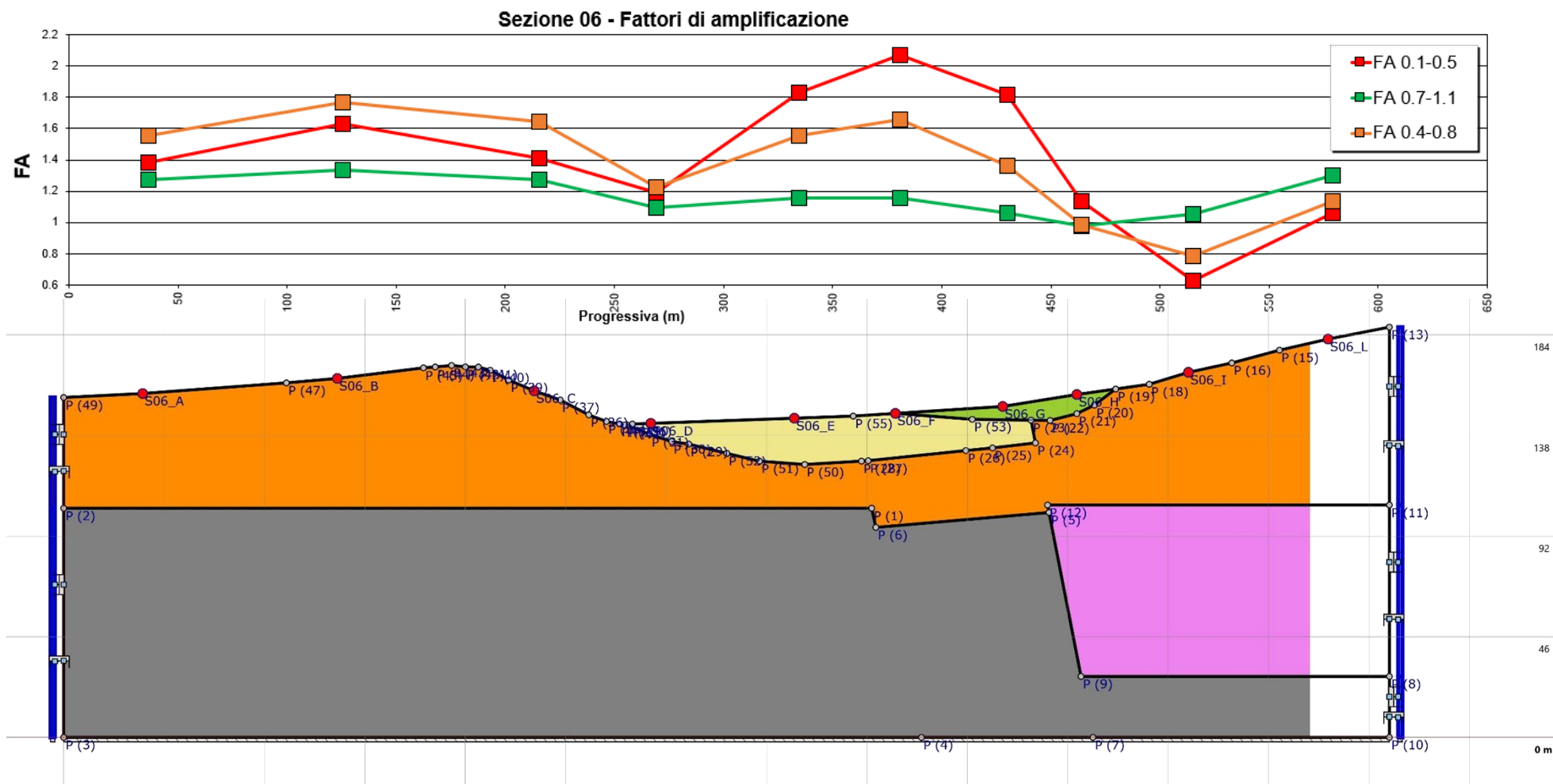


Sezione 05

Sezione 05 - Fattori di amplificazione

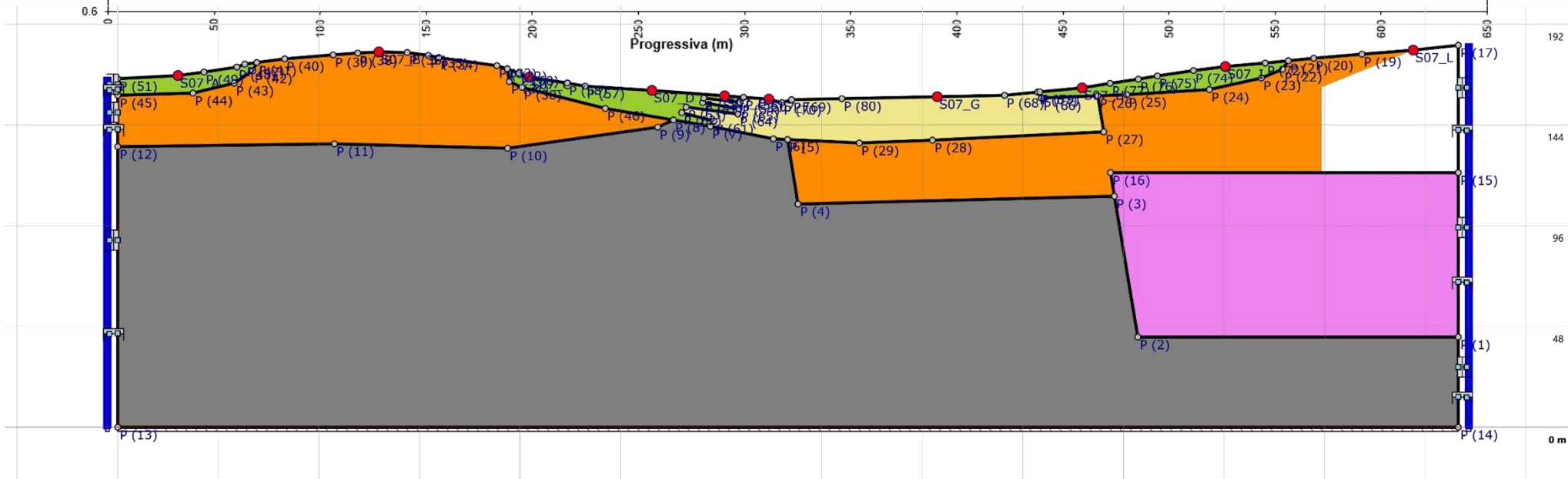
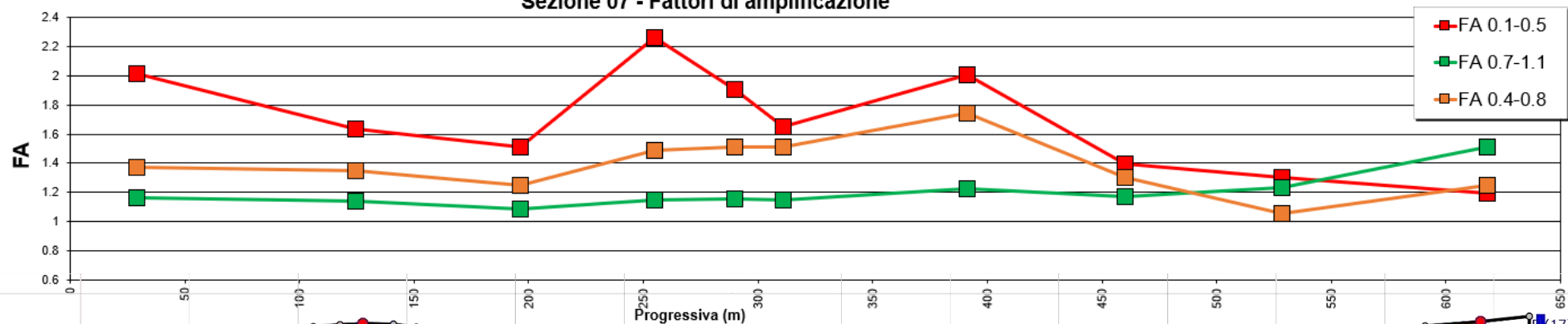


Sezione 06

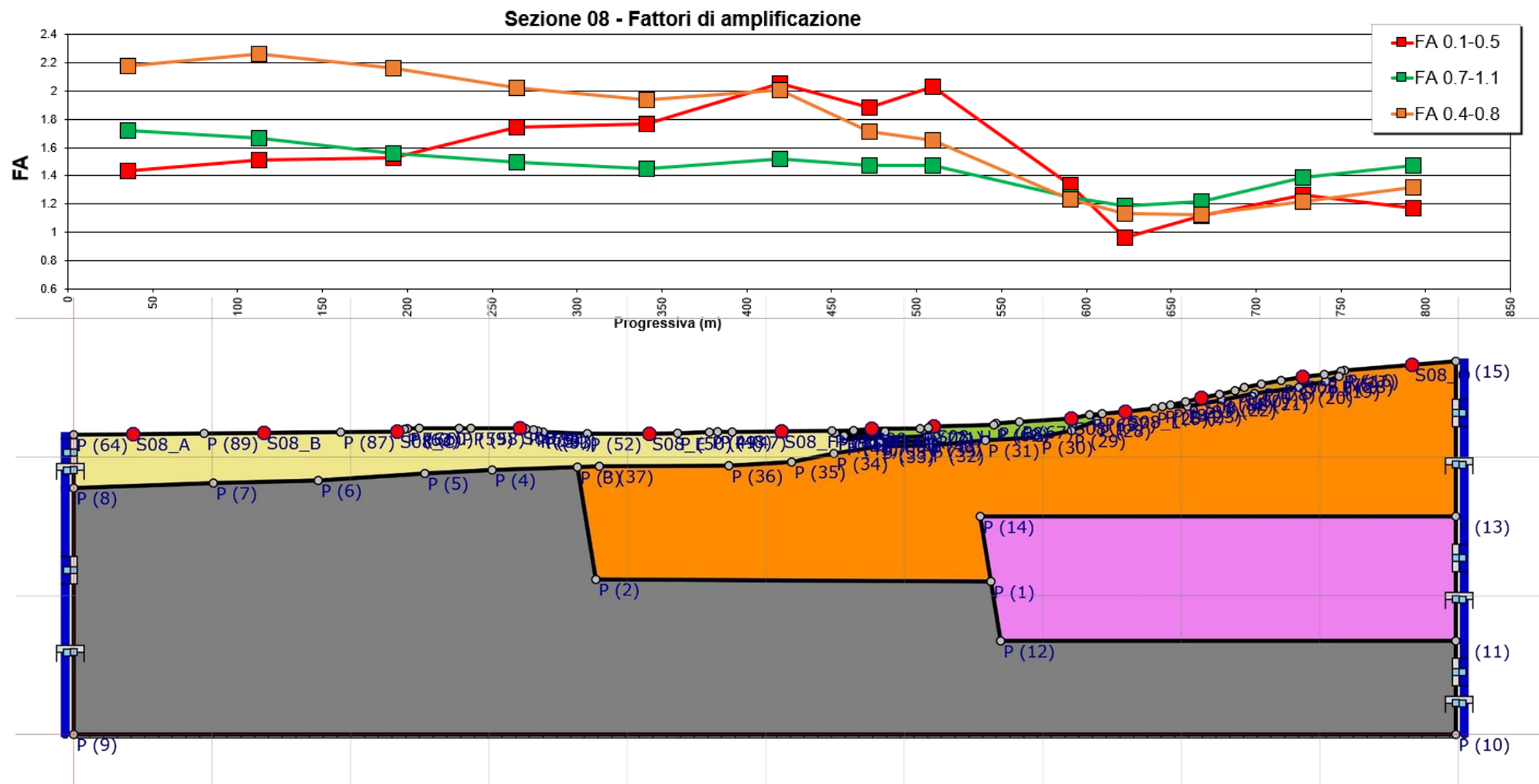


Sezione 07

Sezione 07 - Fattori di amplificazione

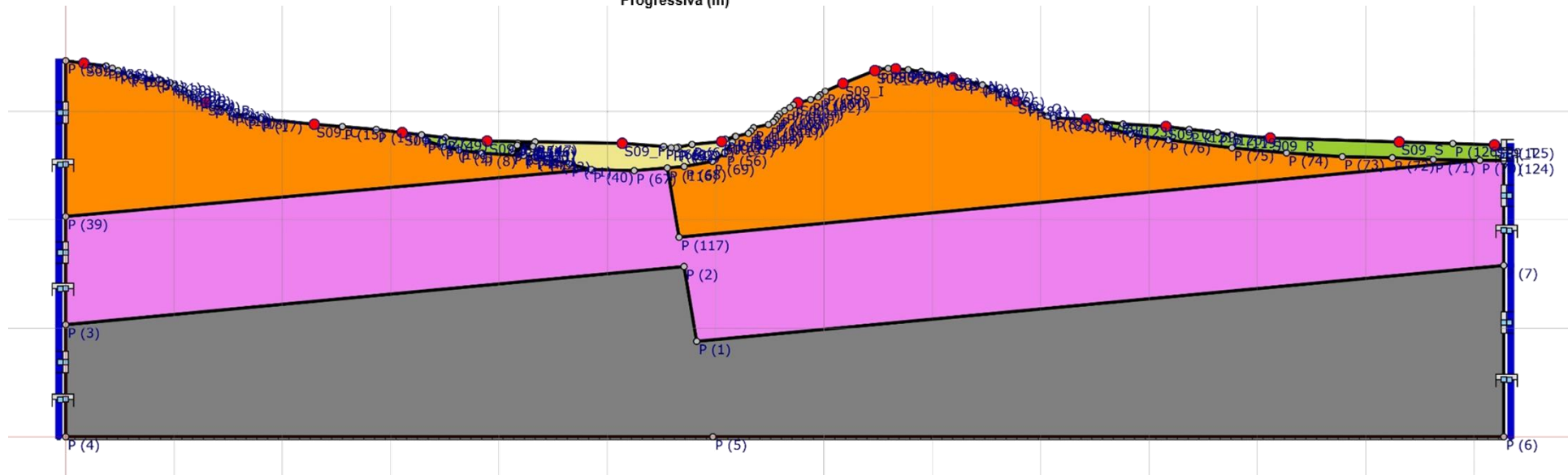
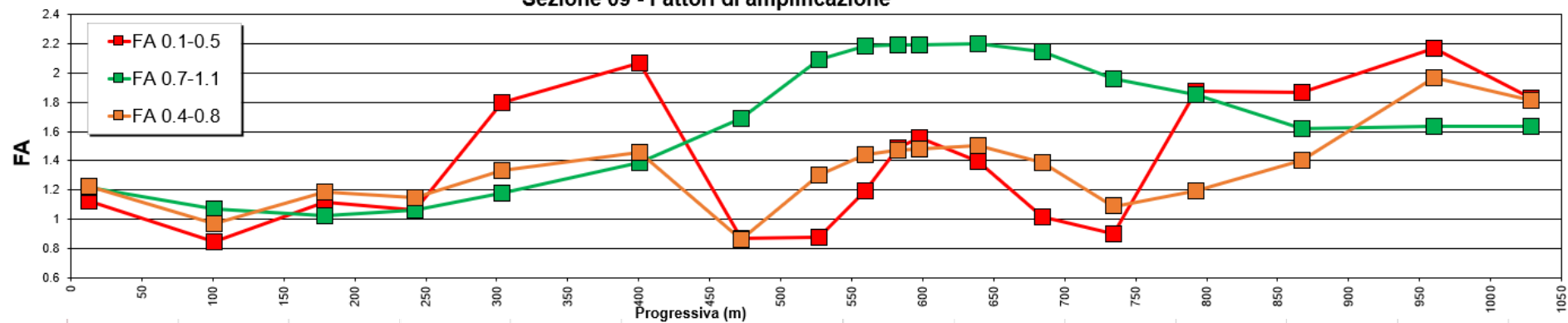


Sezione 08



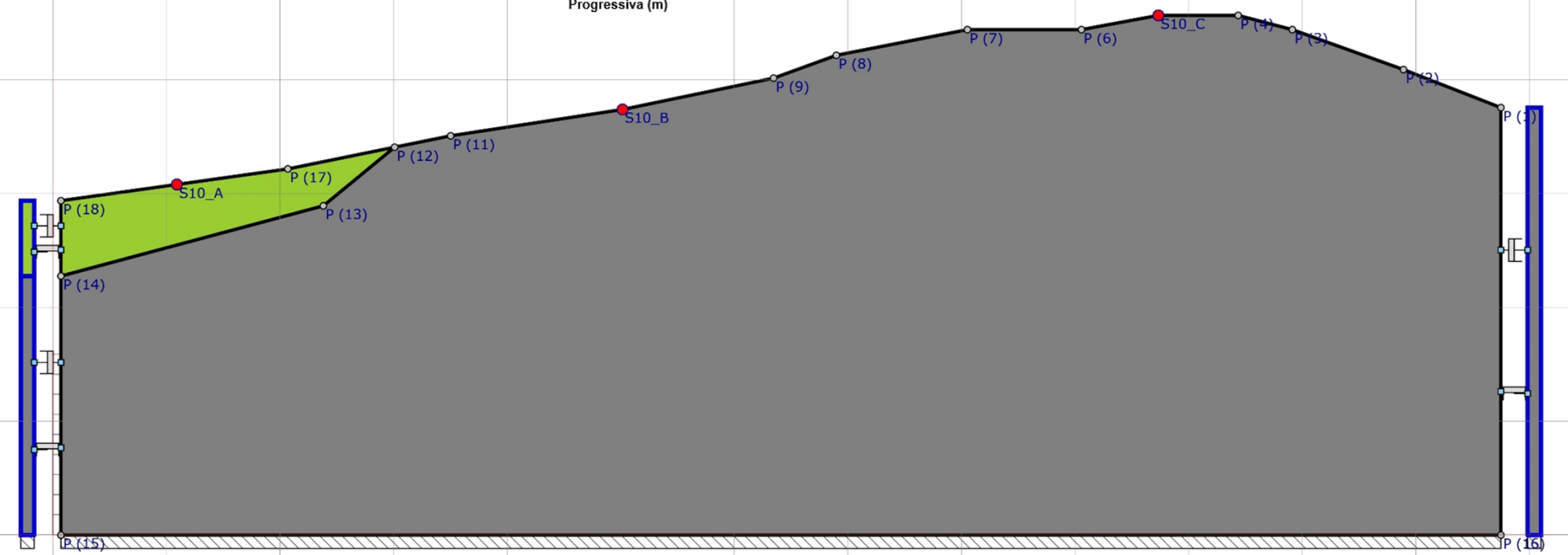
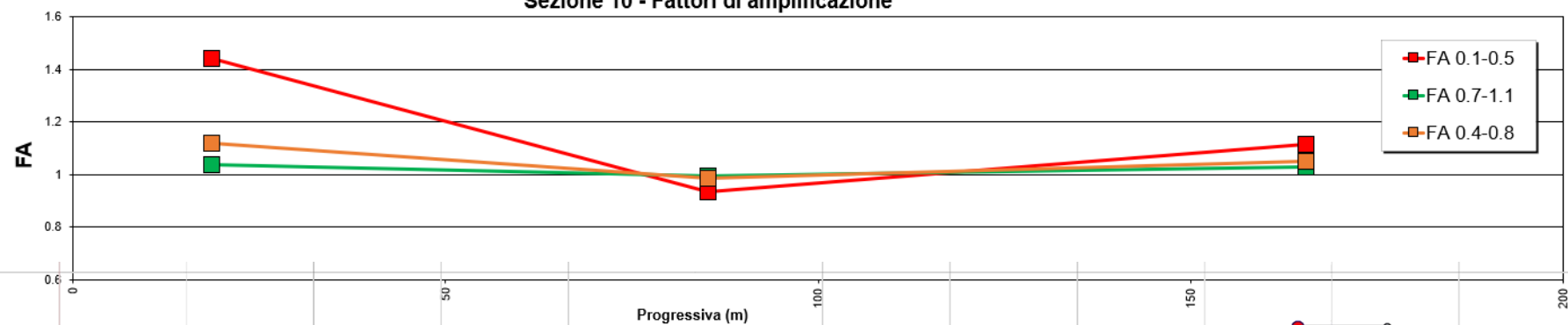
Sezione 09

Sezione 09 - Fattori di amplificazione



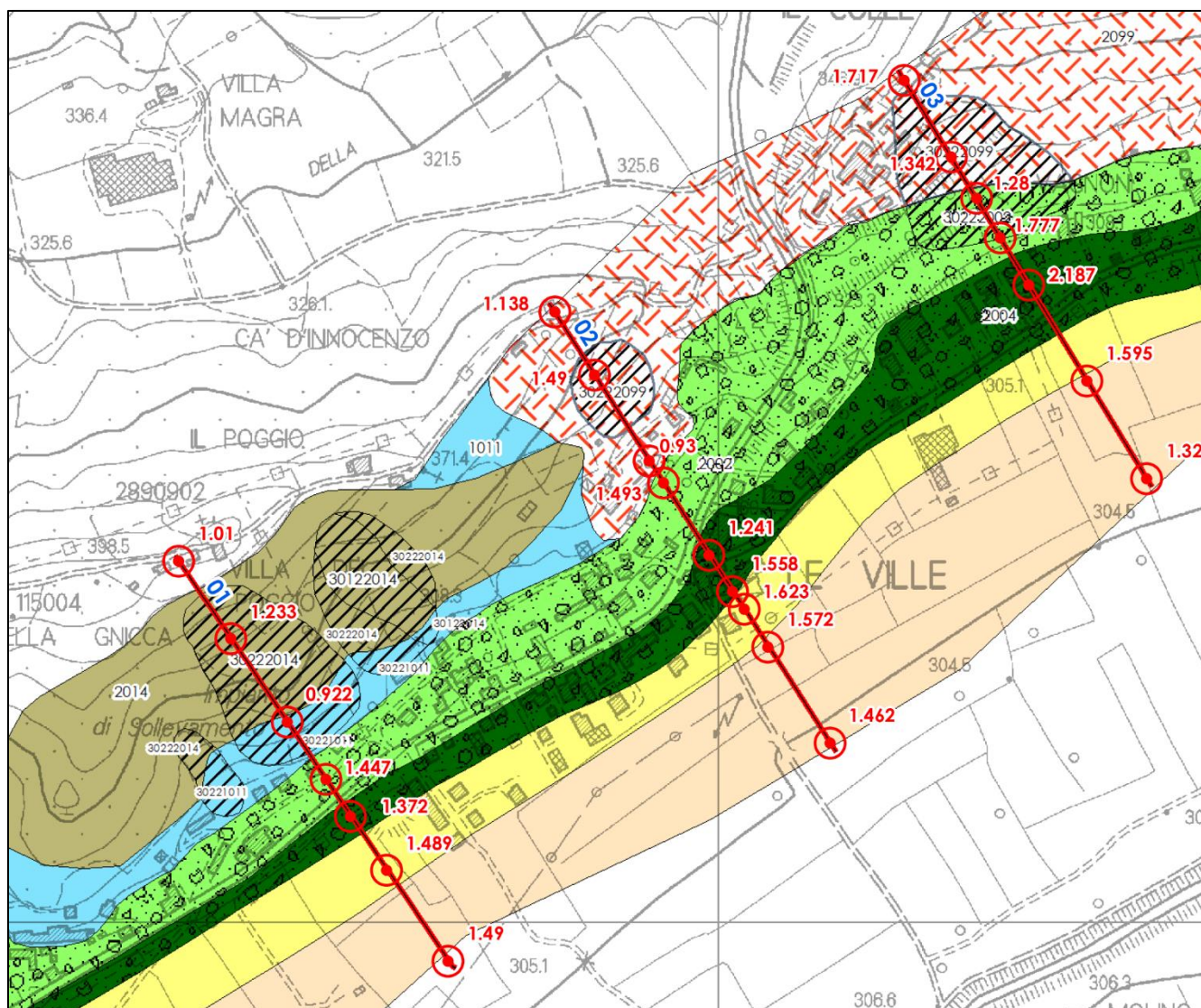
Sezione 10

Sezione 10 - Fattori di amplificazione



RAPPRESENTAZIONE SU CARTA

Le sezioni analizzate hanno permesso una omogenea copertura del territorio comunale oggetto di Microzonazione Sismica di Livello 3. L'interdistanza media tra i profili oggetto di modellazione sismica bidimensionale è stata di circa 450 metri.

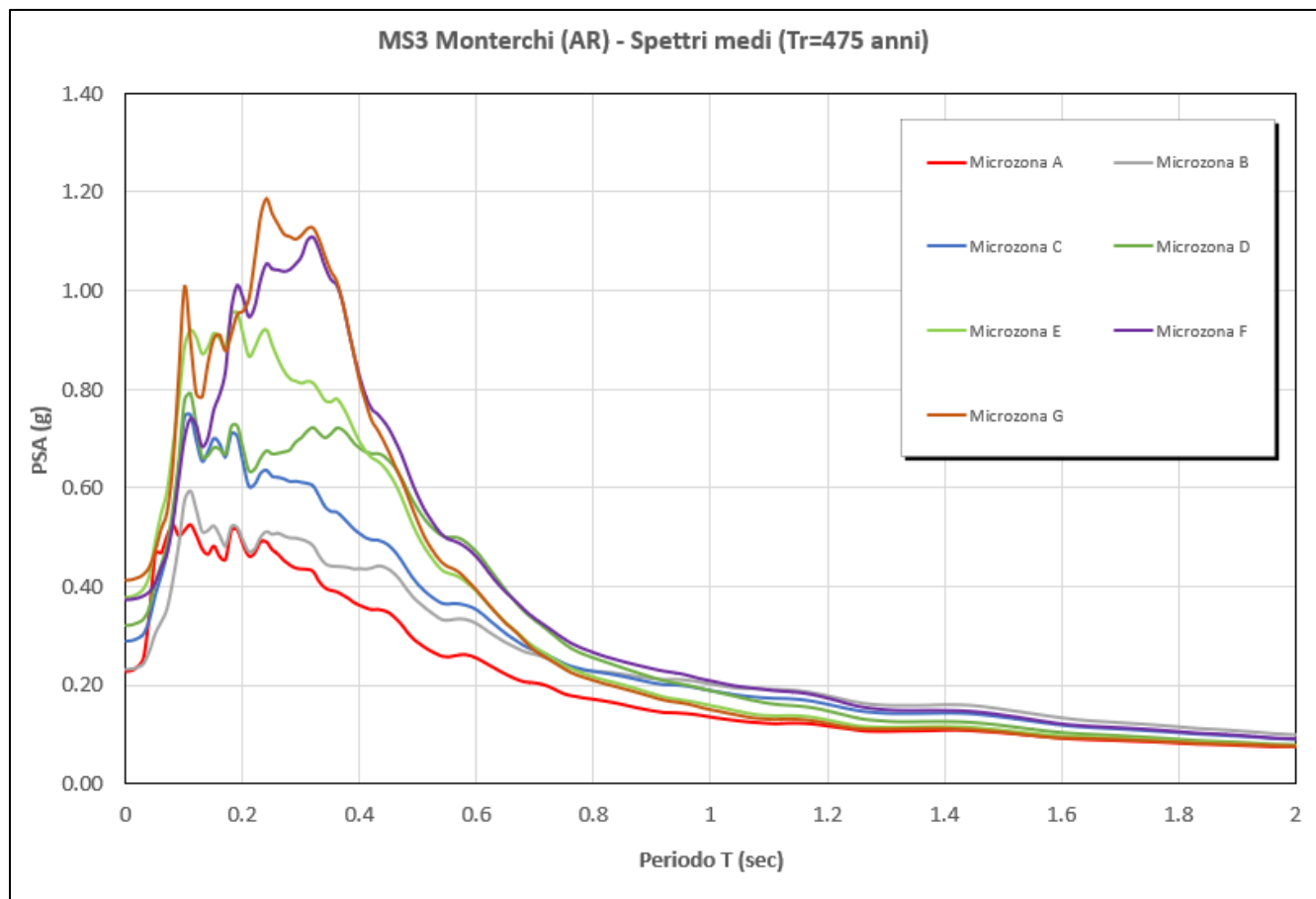


Le sezioni, con la posizione dei punti di controllo da cui sono stati estrapolati gli spettri di output e con il corrispondente valore del Fattore di Amplificazione nell'intervallo 0.1-0.5 sec, sono state riportate sulla cartografia delle MOPS e degli elementi riferiti al contesto geologico-tecnico.

Ad ogni valore di FA rigorosamente calcolato è stata fatta corrispondere la classe specifica (1.0 - 1.2 - ecc..). E' stata successivamente operata una delimitazione delle aree caratterizzate da medesima classe di Fattore di Amplificazione e dal medesimo contesto sismo-stratigrafico. Il discreto numero di sezioni ha limitato processi di estensiva estrapolazione del dato.

Sono state così identificate zone ad uguale Fattore di Amplificazione nelle aree oggetto di Microzonazione Sismica di Livello 3.

E' stato così possibile calcolare gli spettri di risposta elastici medi in termini di PSA, per ogni microzona. Di seguito una rappresentazione sinottica degli spettri medi calcolati.



12. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA FATTORE DI AMPLIFICAZIONE FA (0,1-0,5s)

L'elaborato è fornito alla scala 1:5.000, sulla carta di base C.T.R. in unica tavola che ricomprende l'intera area oggetto di studio. E' stata operata la rappresentazione grafica delle varie microzone ad uguale Fattore di Amplificazione per l'intervallo di periodo compreso tra 0.1 e 0.5 secondi, sulla base di quanto indicato dagli Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica di cui alla versione 4.2. Per una più facile lettura dei rapporti tra microzone di cui al Livello 3 e microzone di cui al Livello 1, in carta sono stati riportati – con tratto violetto – i limiti delle MOPS MS1.

13. INDICAZIONI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 PER LA FASE PROGETTUALE

Il regolamento 5R/2020 prevede la possibilità di utilizzo diretto dei risultati della microzonazione sismica di terzo livello per la progettazione di opere ordinarie.

La realizzazione di studi di microzonazione sismica di terzo livello prevede, infatti, per la stima delle amplificazioni locali, la realizzazione di adeguate analisi di risposta sismica locale. Il prodotto di output per tali analisi è solitamente costituito oltre che dai fattori di amplificazione, utilizzati per la quantificazione della minore o maggiore predisposizione dei terreni indagati all'amplificazione locale e qualitativamente rappresentati nella Carta di Microzonazione Sismica FA 0.1-0.5 sec., anche da spettri di risposta elastici (caratterizzati da uno smorzamento del 5%).

In aree di studio in cui la MS3 restituisce microzone stabili con amplificazione con limitata estensione areale ed in cui è presente una dettagliata definizione dell'azione sismica sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo, è possibile (in aggiunta a quanto previsto dagli ICMS) fornire per ogni microzona strumenti utili a rappresentare in quel determinato ambito areale l'azione sismica di progetto.

La metodologia (oggi operativa mediante Ordinanza n.55 nelle fasi di ricostruzione delle aree del Centro Italia colpite dai sismi del 2016) verte, quindi, sulla definizione di una procedura finalizzata alla definizione di spettri di risposta elastici, direttamente derivanti dagli studi di microzonazione sismica, da utilizzare nelle fasi progettuali successive a quella pianificatoria.

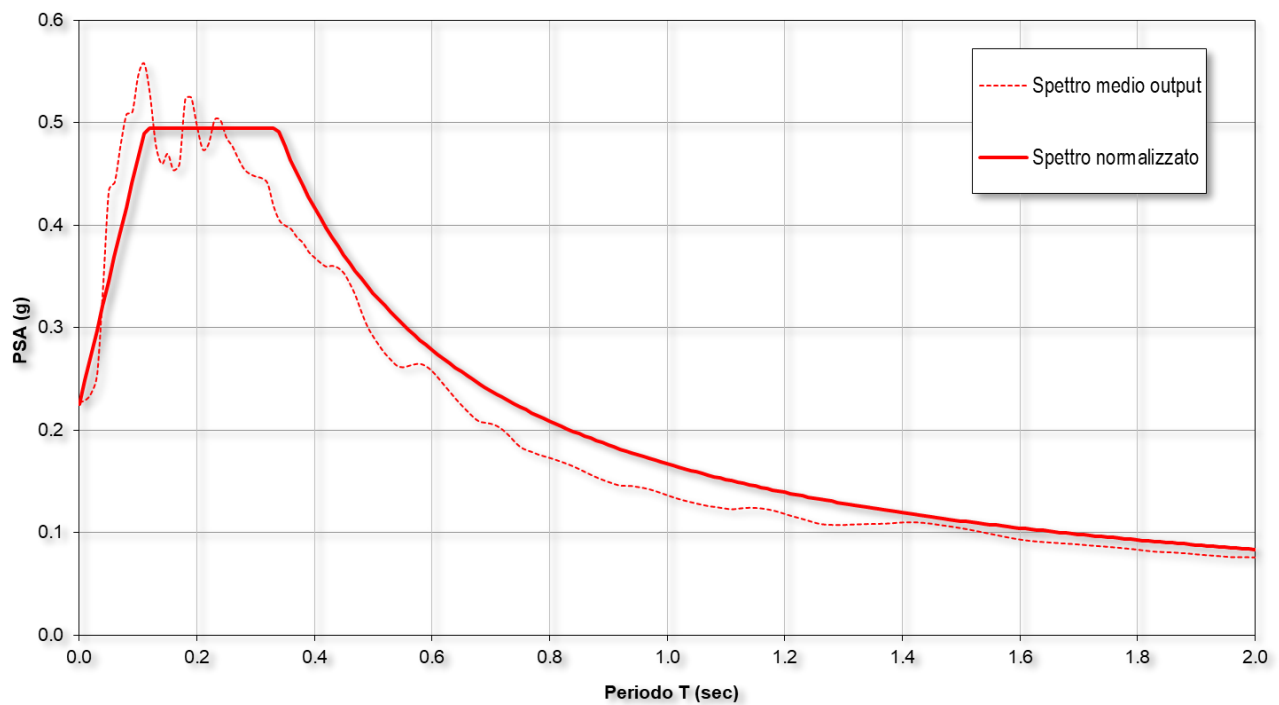
Effettuate le analisi di risposta sismica locale (tipicamente per un $T_r=475$ anni SLV e per un $T_r=50$ anni SLD) è possibile pervenire alla definizione di spettri caratteristici per ogni microzona operando una regolarizzazione dello spettro medio.

Questa operazione permette di definire sia uno spettro di forma simile a quelli semplificati di normativa sia, di conseguenza, i suoi parametri dipendenti (S , T_b e T_c), mentre i parametri indipendenti sono fissati, come noto, dalla localizzazione del sito e dalle scelte progettuali alla base funzione della progettazione. La regolarizzazione dello spettro viene effettuata secondo le procedure illustrate negli ICMS 2008 e meglio specificate da Pergalani e Compagnoni (2013). In sintesi, secondo tale metodo, dallo spettro medio si ricavano i valori di T_A (periodo per il quale è massimo il valore in accelerazione), S_A (valore medio dello spettro in accelerazione per periodi compresi tra $0.5T_A$ ed $1.5T_A$), T_V (periodo per il quale è massimo il valore in pseudo-velocità), S_V (valore medio dello spettro in pseudo-velocità per periodi compresi tra $0.8T_V$ ed $1.2T_V$). Ricavati tali valori si determinerà l'estensione del plateau (tratto dello spettro con accelerazione costante) tenendo conto che $T_c = 2\pi \cdot (S_V/S_A)$ e $T_b = 1/3T_c$. Noti i parametri indipendenti dalle condizioni di sito (a_g e T_d) è possibile, infine, ricavare il parametro S come a_{max}/a_g dove a_{max} è calcolata da analisi di risposta locale. Il parametro F_0 , indipendente dalle condizioni sismostratigrafiche del sito secondo l'approccio semplificato delle NTC2018, nel presente metodo viene reso, invece, dipendente dalle condizioni geologiche locali con valore pari al rapporto tra S_A ed a_{max} (accelerazione di ancoraggio dello spettro caratteristico). Vengono di seguito proposti gli spettri regolarizzati per ogni microzona identificata.

Tr = 475 anni - SLV

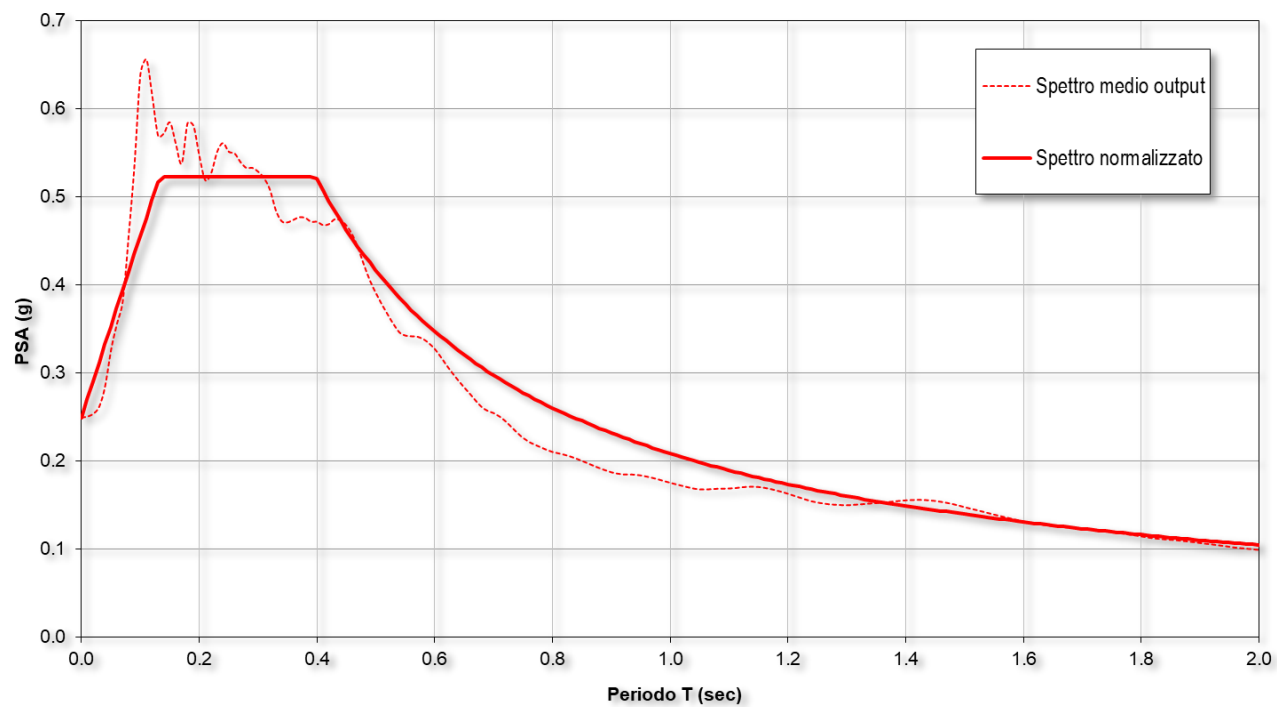
Microzona A – FA 1.0

Monterchi (AR) - MS3 - Microzona A - FA 1.0
Tr = 475 anni



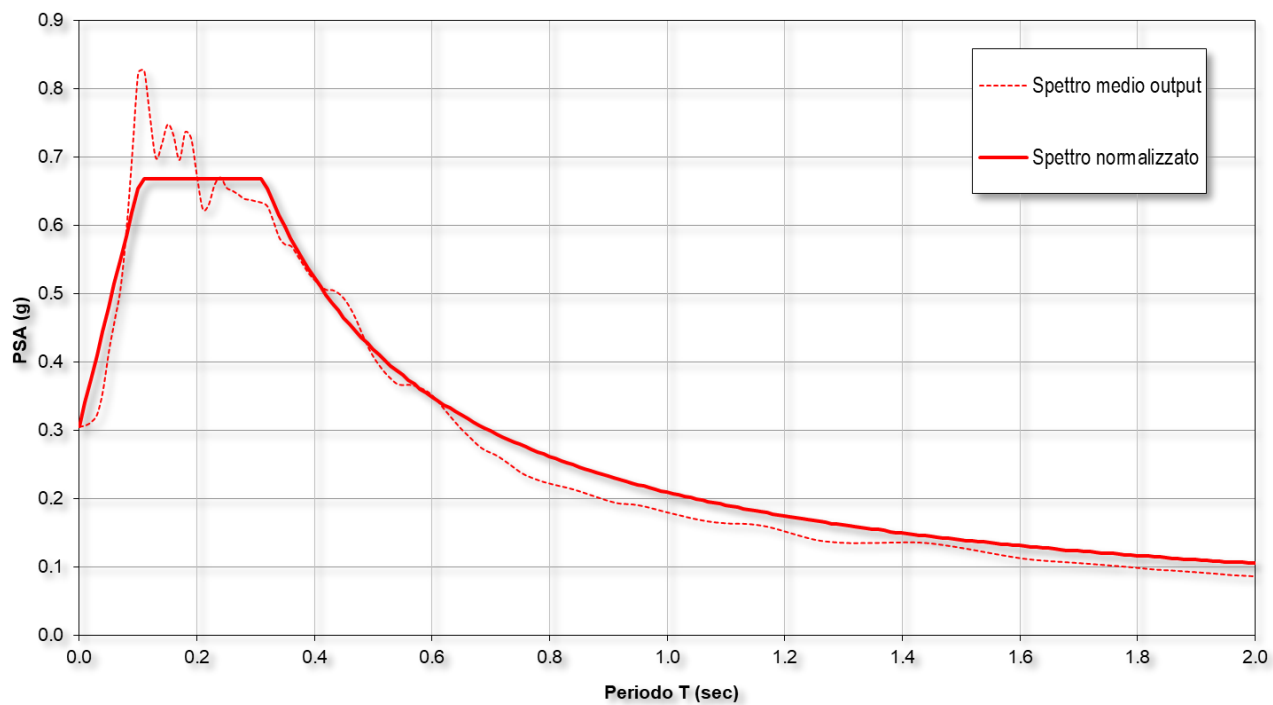
Microzona B – FA 1.2

Monterchi (AR) - MS3 - Microzona B - FA 1.2
Tr = 475 anni



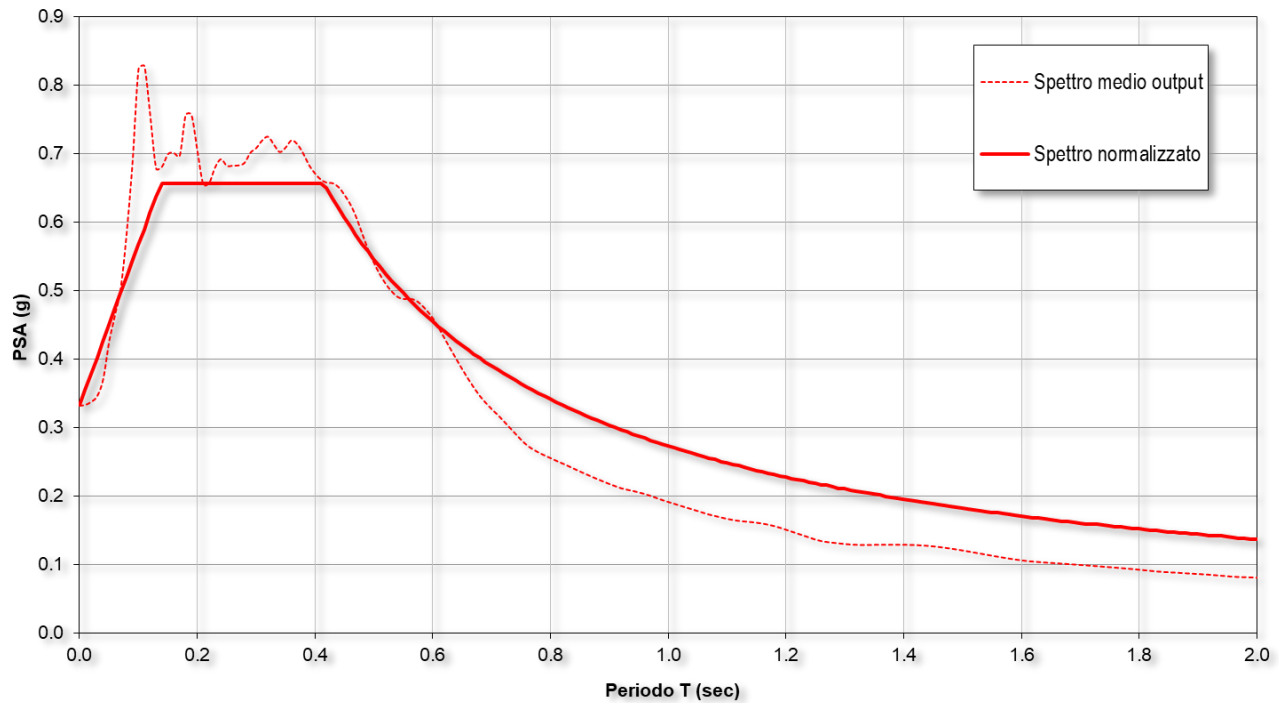
Microzona C – FA 1.4

Monterchi (AR) - MS3 - Microzona C - FA 1.4
Tr = 475 anni



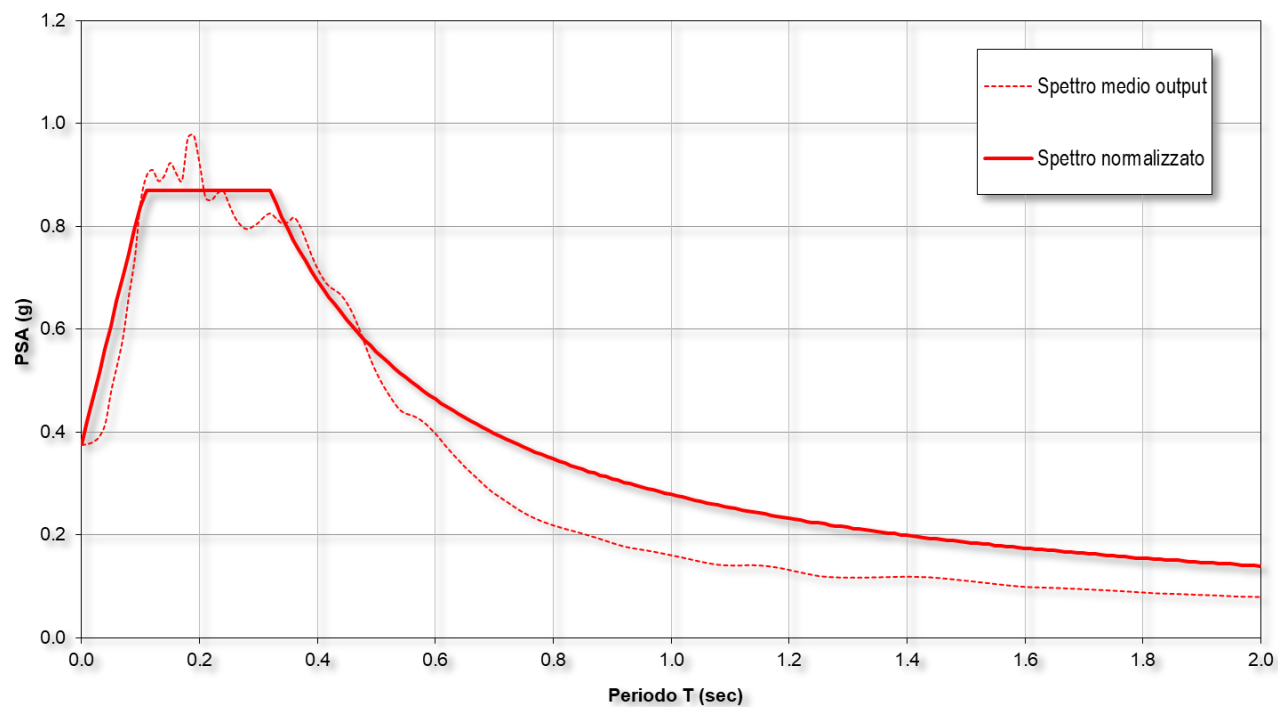
Microzona D – FA 1.6

Monterchi (AR) - MS3 - Microzona D - FA 1.6
Tr = 475 anni



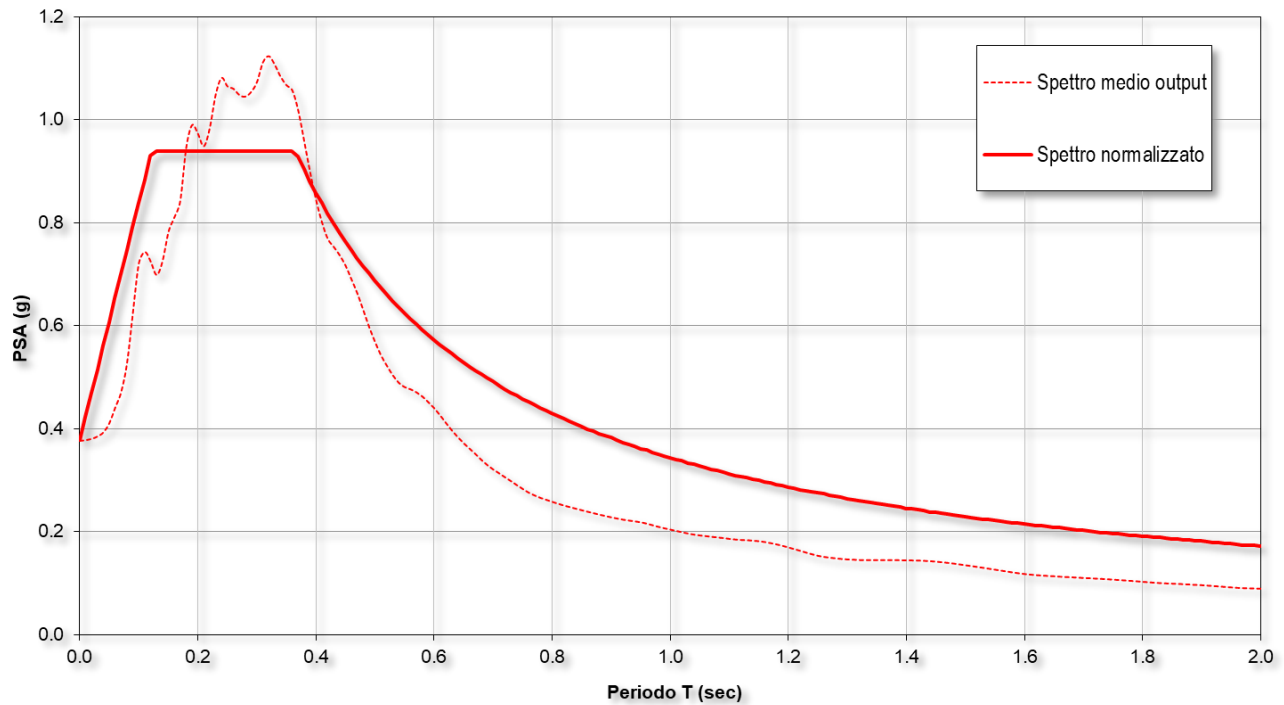
Microzona E – FA 1.8

Monterchi (AR) - MS3 - Microzona E - FA 1.8
Tr = 475 anni



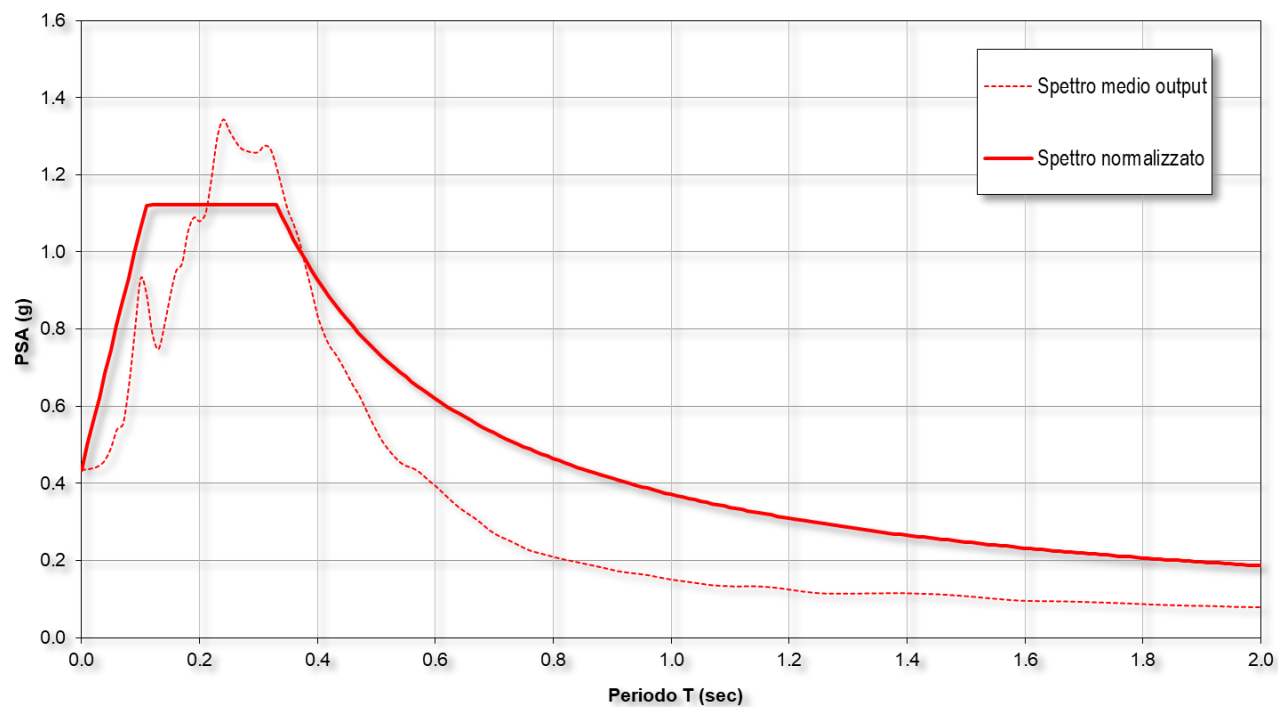
Microzona F – FA 2.0

Monterchi (AR) - MS3 - Microzona F - FA 2.0
Tr = 475 anni

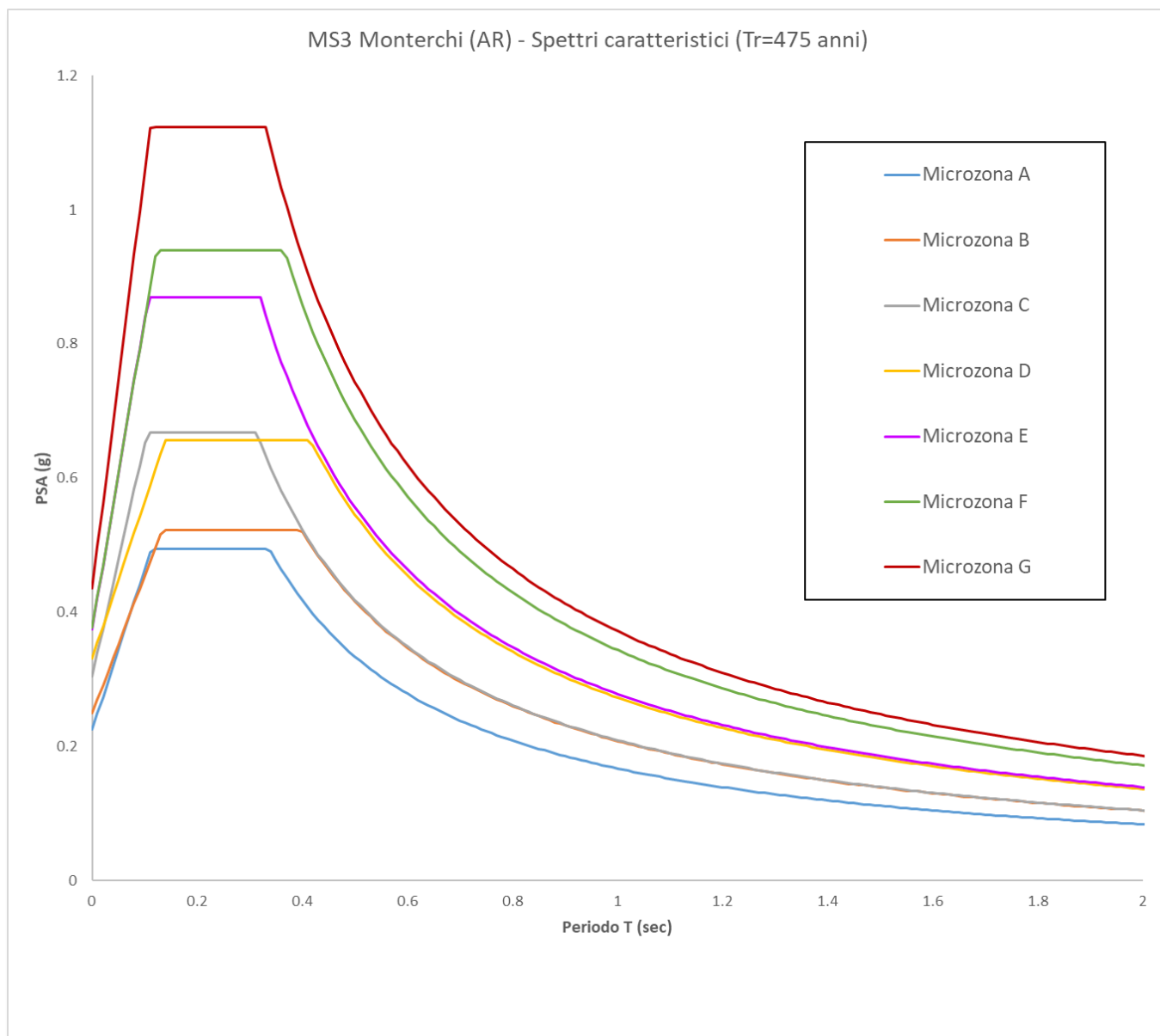


Microzona G – FA 2.2

Monterchi (AR) - MS3 - Microzona G - FA 2.2
Tr = 475 anni



SPETTRI CARATTERISTICI – SLV Tr 475 anni



PARAMETRI

SPETTRI CARATTERISTICI – SLV Tr 475 anni

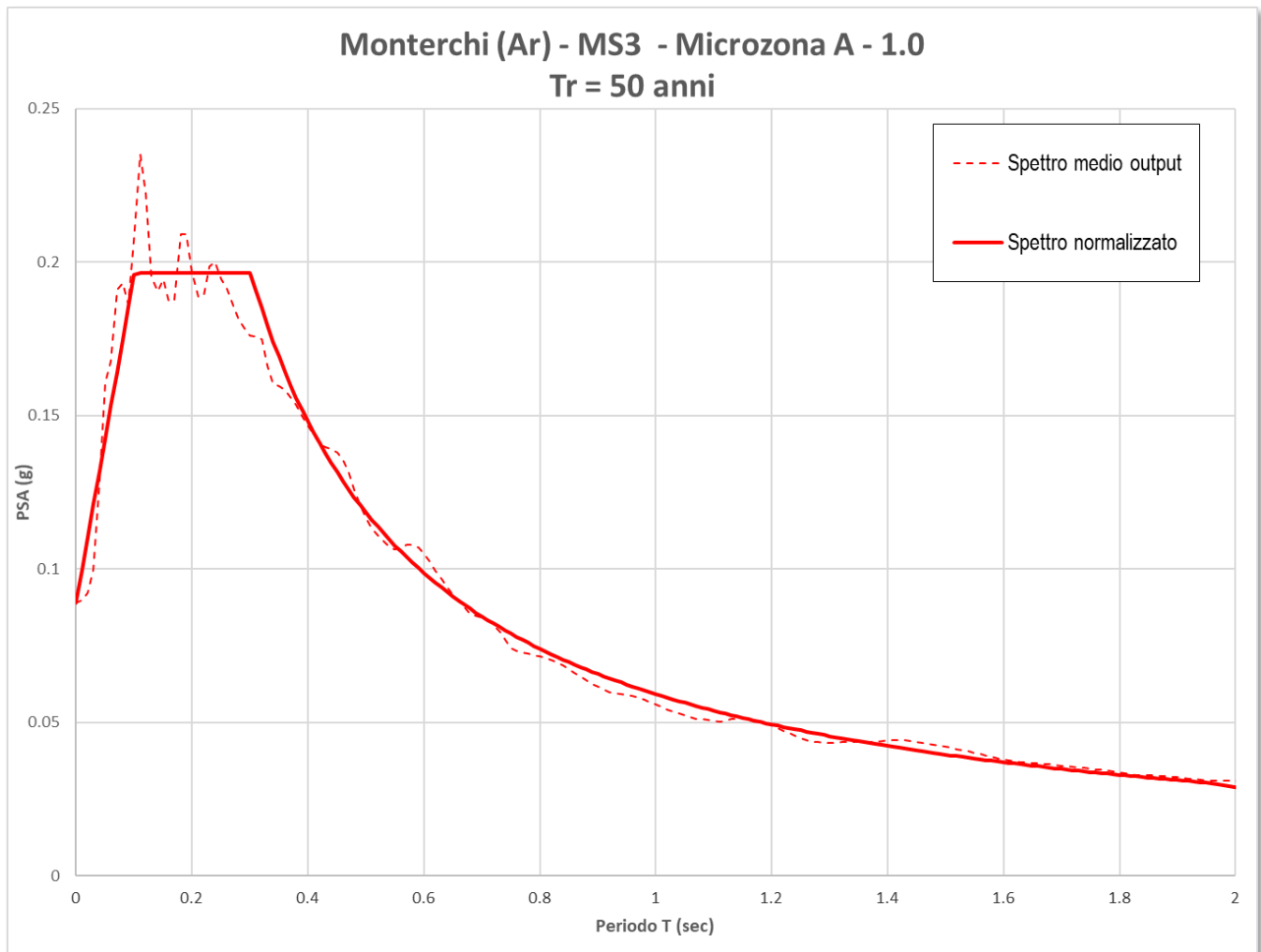
Microzonazione sismica di 3°livello - SLV (Tr=475 anni) Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri

ag = 0.216g

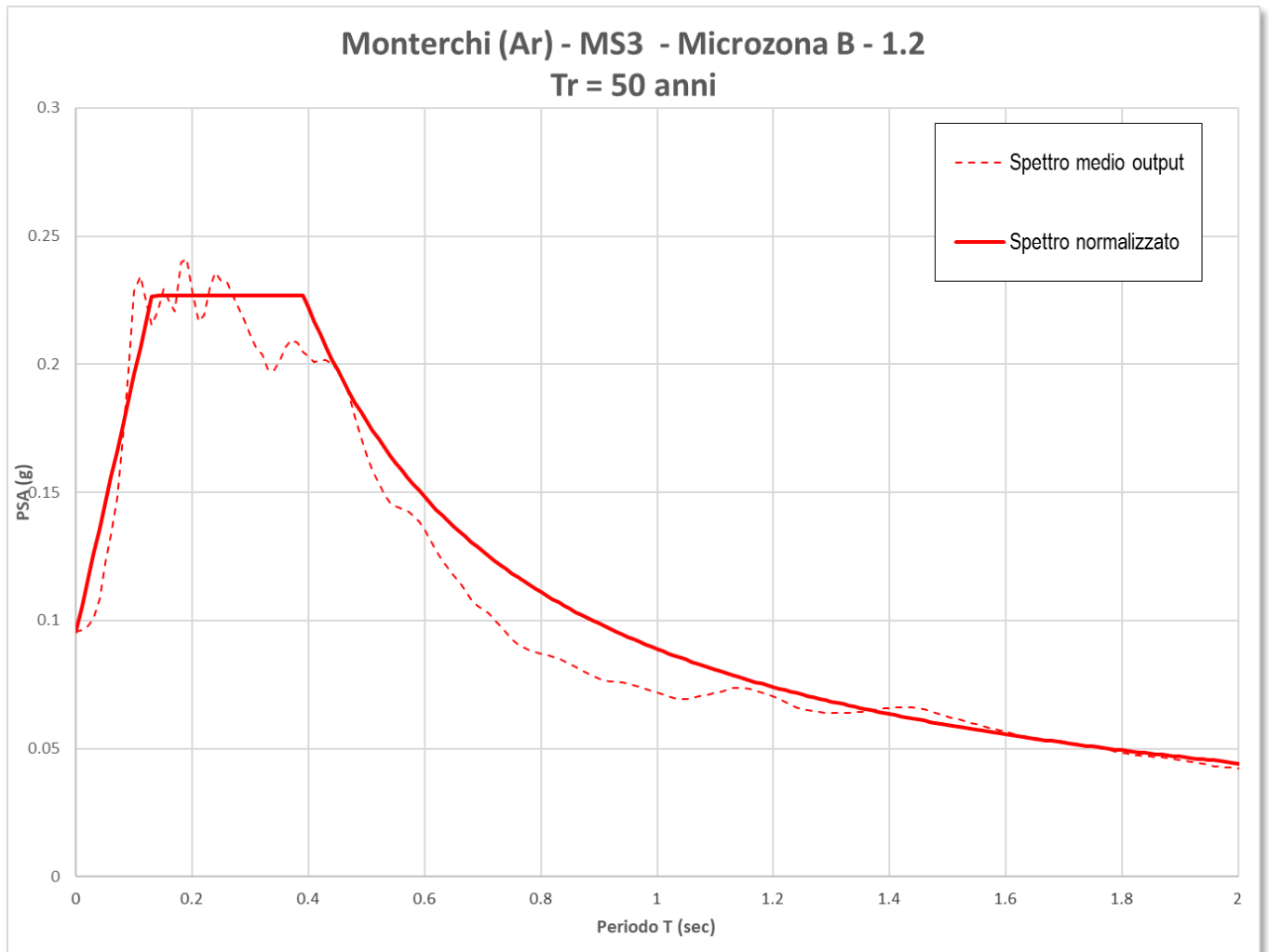
microzona	località	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	MONTERCHI	2.200	1.04	0.112	0.337	2.500
B		2.095	1.15	0.133	0.398	2.597
C		2.191	1.41	0.104	0.313	2.819
D		1.979	1.54	0.139	0.416	2.926
E		2.321	1.74	0.107	0.320	3.099
F		2.493	1.74	0.122	0.366	3.107
G		2.580	2.02	0.110	0.331	3.341

Tr = 50 anni - SLD

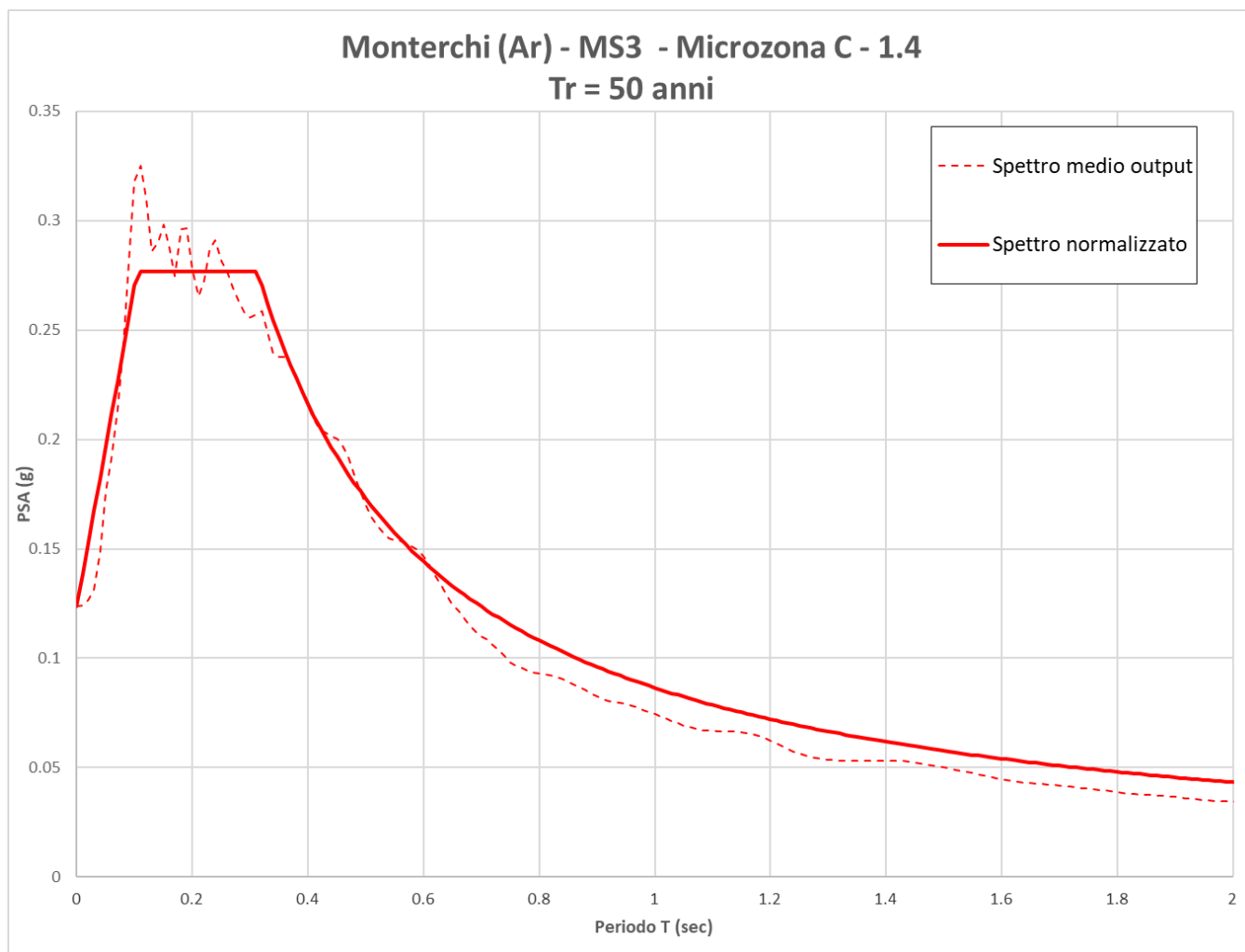
Microzona A – FA 1.0



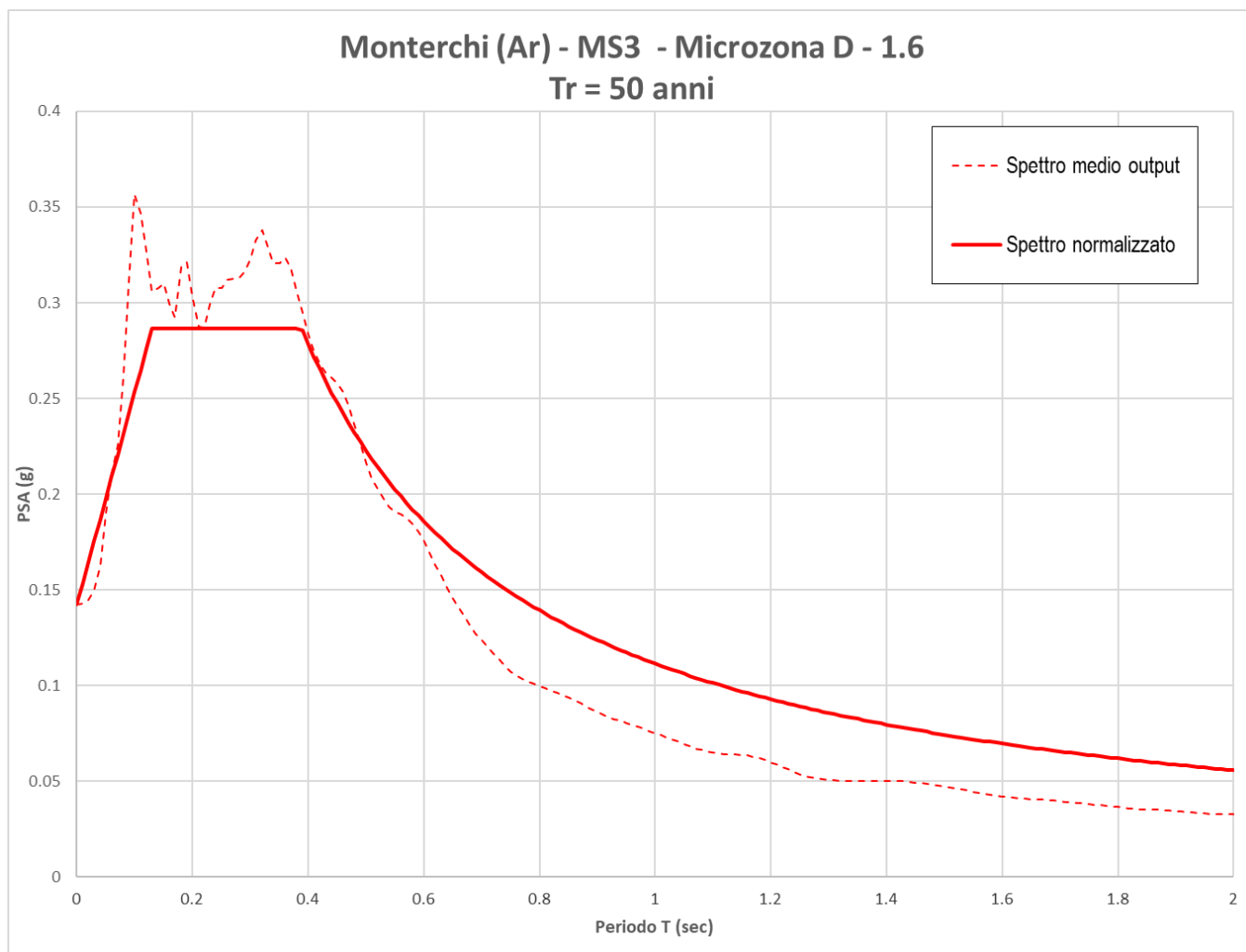
Microzona B – FA 1.2



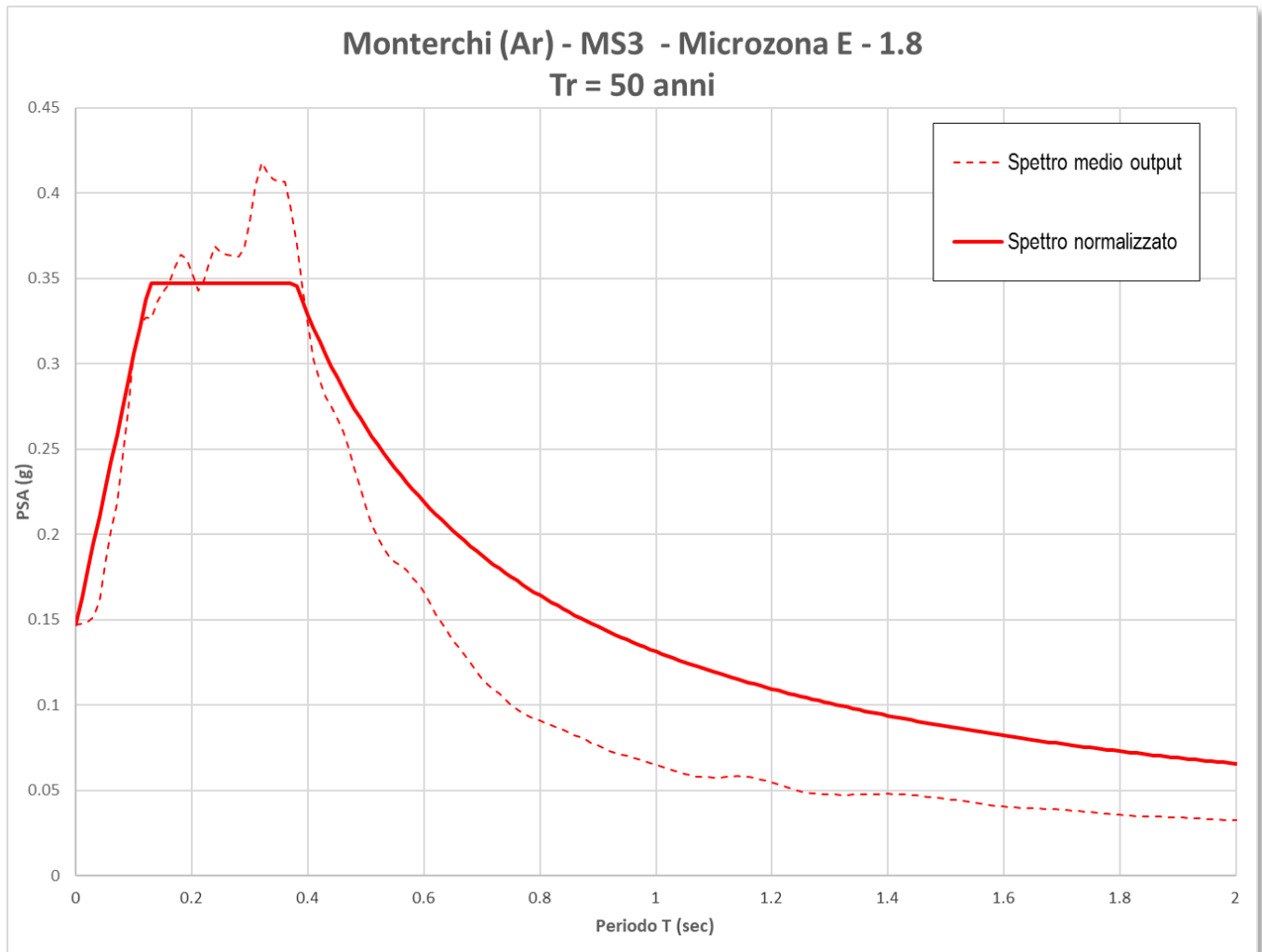
Microzona C – FA 1.4



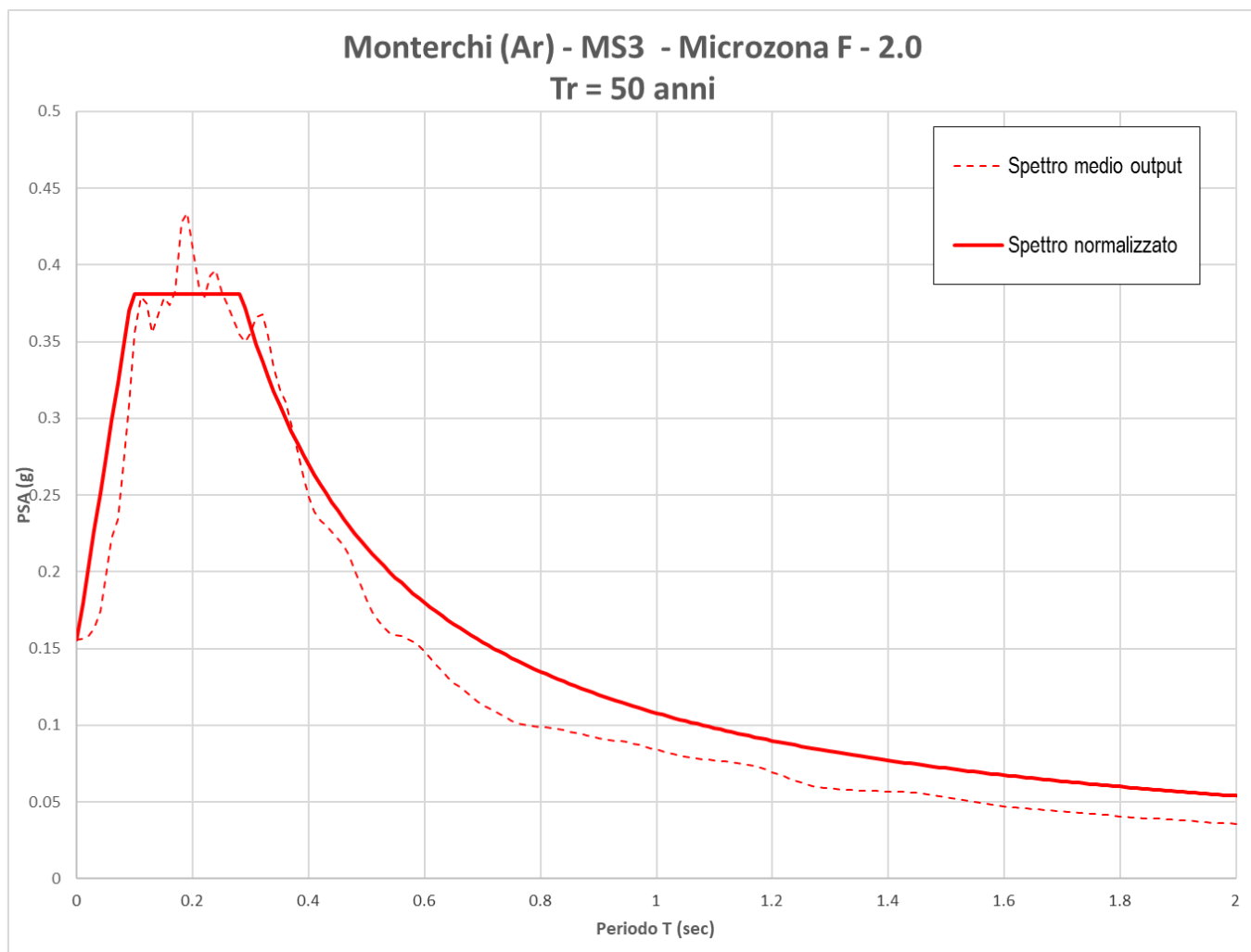
Microzona D – FA 1.6



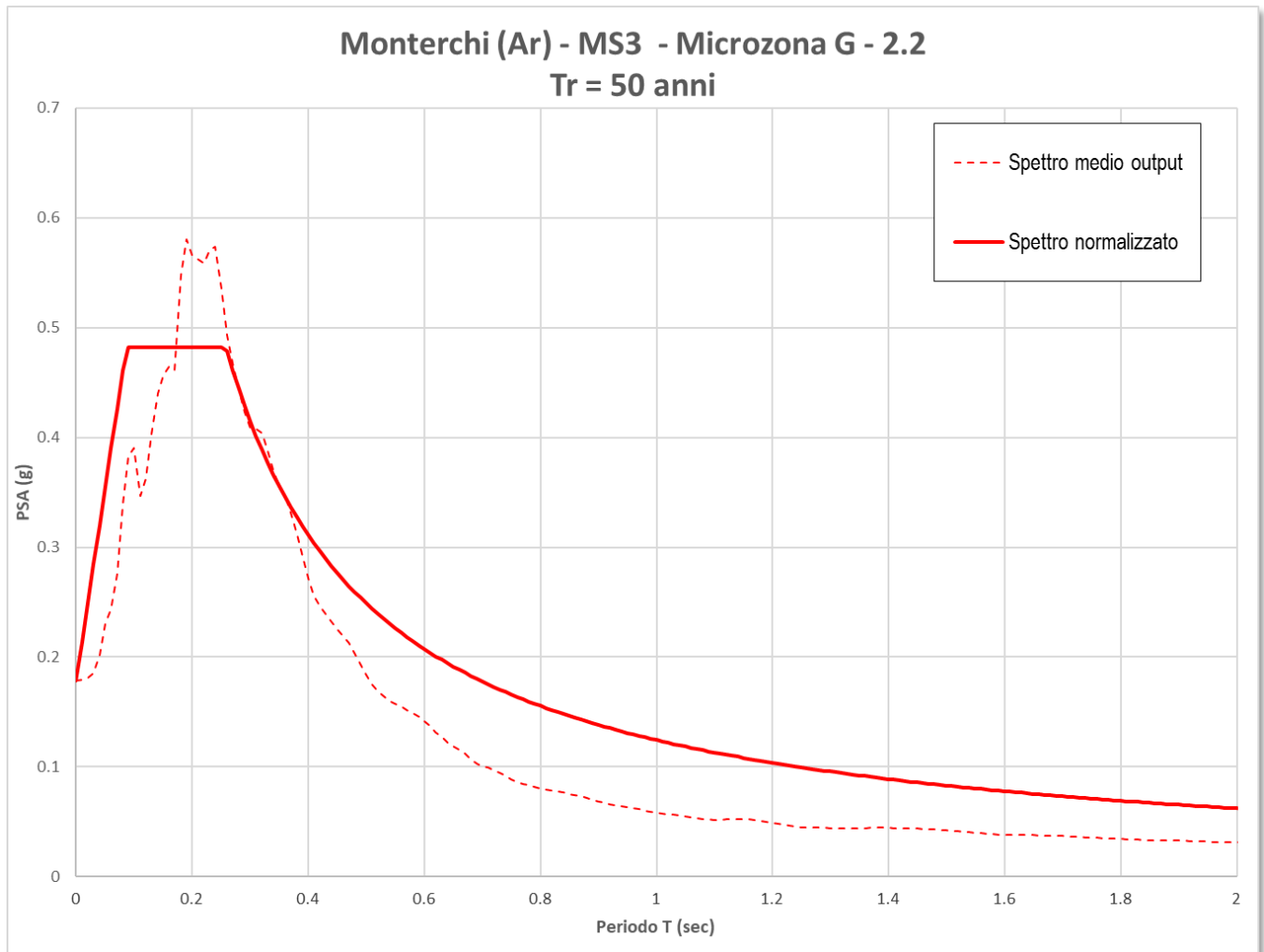
Microzona E – FA 1.8



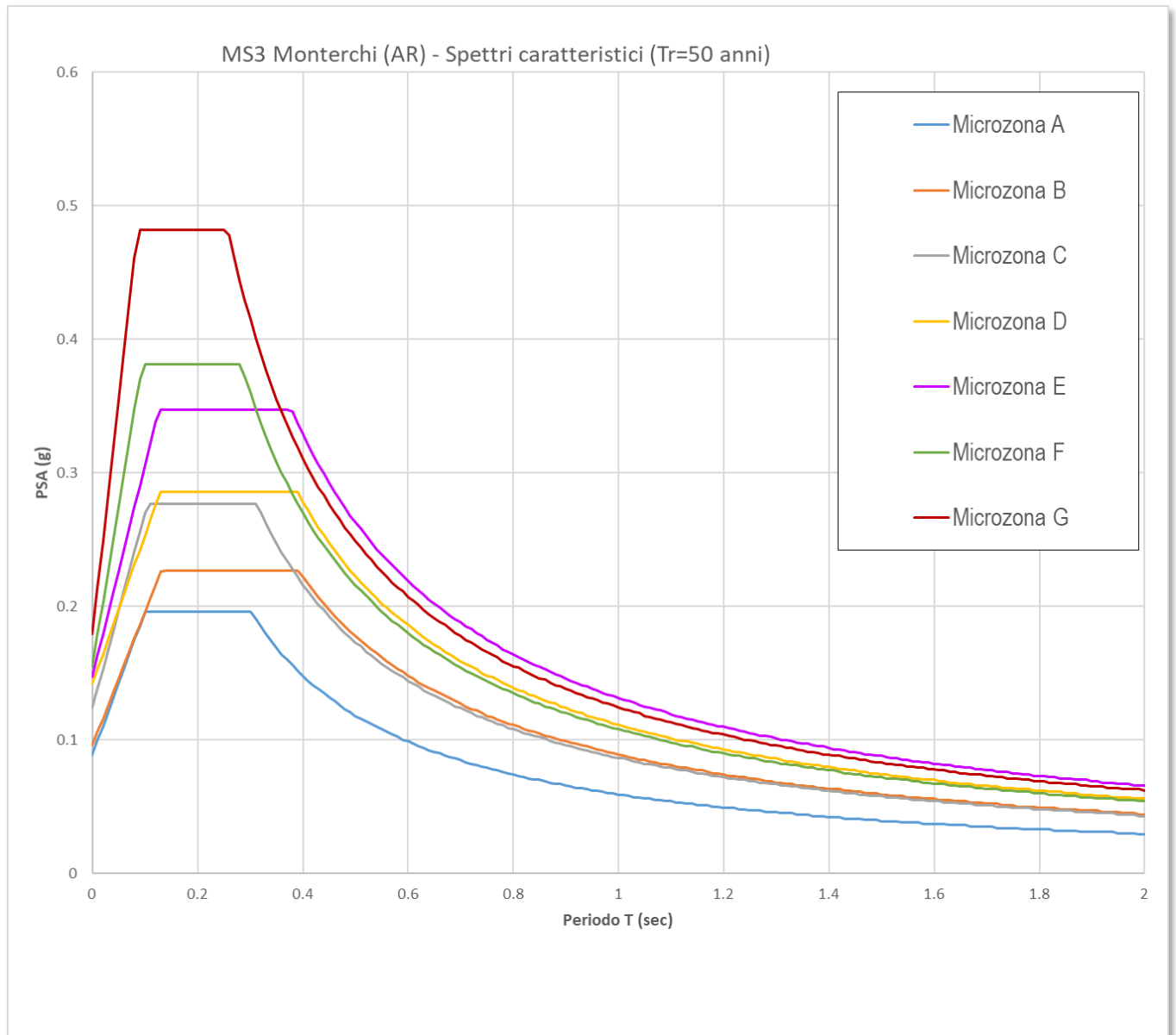
Microzona F – FA 2.0



Microzona G – FA 2.2



SPETTRI CARATTERISTICI – SLD Tr 50 anni



PARAMETRI

SPETTRI CARATTERISTICI – SLD Tr 50 anni

Microzonazione sismica di 3°livello - SLD (Tr=50 anni) Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri

ag = 0.087g

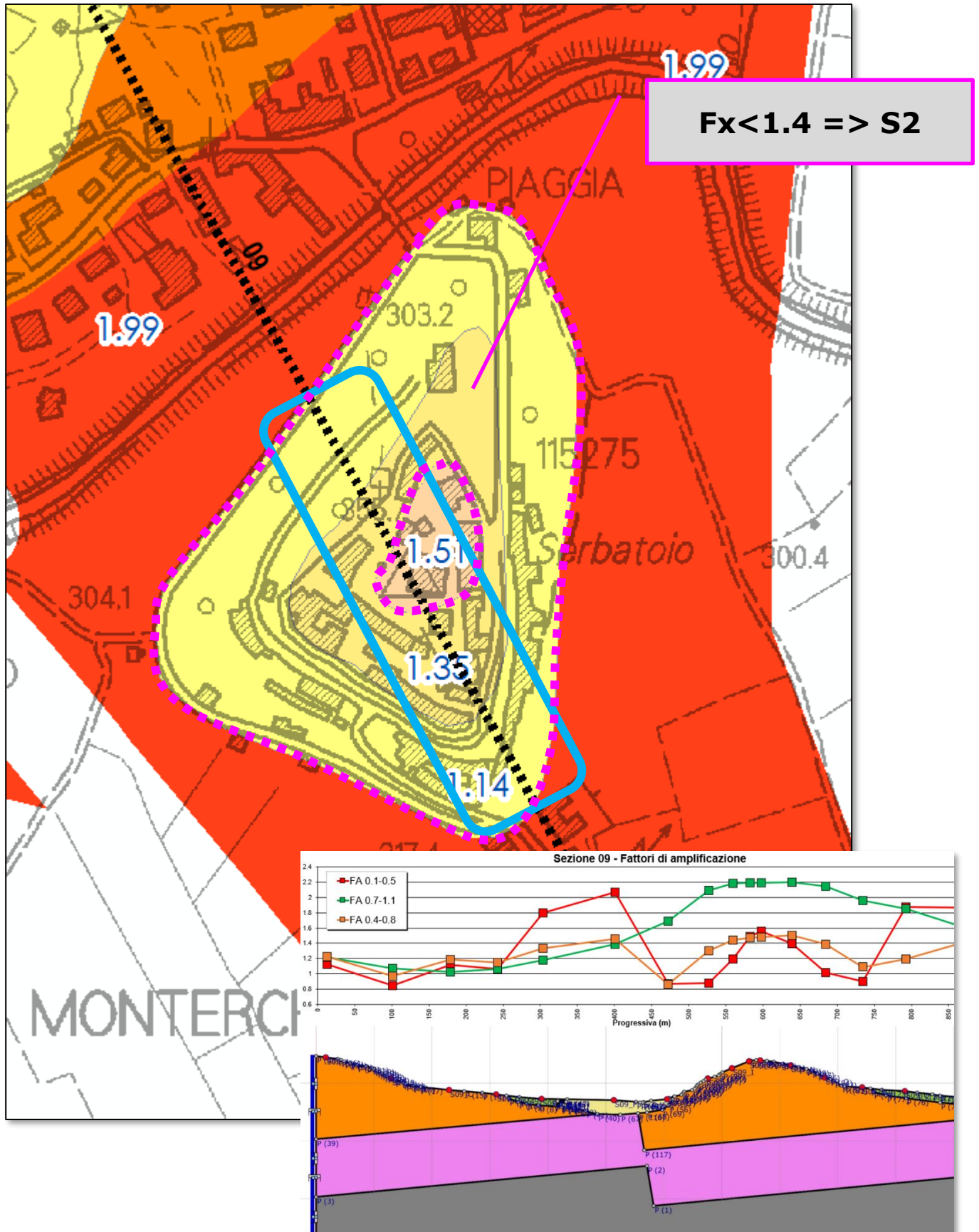
microzona	località	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	MONTERCHI	2.208	1.02	0.100	0.301	1.956
B		2.369	1.10	0.131	0.392	1.983
C		2.238	1.42	0.104	0.313	2.094
D		2.015	1.63	0.130	0.389	2.168
E		2.361	1.69	0.126	0.378	2.188
F		2.451	1.79	0.094	0.283	2.222
G		2.696	2.06	0.086	0.258	2.316

CONSIDERAZIONI SUI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Le aree di raccordo tra i fondivalle ed i margini dei bacini – per quanto limitati come quello del T. Cerfone o del Fosso della Centena – sono caratterizzate da fattori di amplificazione maggiori di 1.4. Ai sensi del disposto di cui al DPGR 5/2020 ne scaturirebbe pertanto una Pericolosità Sismica elevata S3. Nella zona delle Ville, in corrispondenza dell'areale coperto dalla microzona 2004 almeno fino alla sella de Il Colle Vagnoni, e nella zona di Pantaneto, in corrispondenza degli areali coperti dalle microzone 2005 e 2007, i fattori di amplificazione rigorosamente calcolati non eccederebbero il valore soglia di 1.4. Ciò andrebbe a determinare, nel pedissequo rispetto dei criteri di cui al DPGR 5/2020, limitatissime porzioni di territorio classificato in Pericolosità Sismica media S2 fraposte a zone – ben più estese – ricadenti invece in Pericolosità Sismica elevata S3.

Nella frazione di Padonchia, la rigorosa analisi numerica di risposta sismica bidimensionale – condotta su una sezione parallela al gradiente topografico – restituirebbe, anche laddove affiori substrato lapideo stratificato, un fattore di amplificazione superiore ad 1. Le indagini sismiche, essenzialmente consistenti in misure di microtremore a stazione singola, evidenziano del resto l'assenza di contrasti di impedenza. Si avanza pertanto l'ipotesi che il valore di fattore di amplificazione, ricadente nella classe 1.2, sia da riferire a fenomeni di amplificazione topografica. E' del resto vero come la frazione di Padonchia occupi la sommità di una seppur blanda dorsale. Il convincimento, da parte degli scriventi, che quel valore di F_a maggiore di 1.0 sia da riferire a fenomeni amplificativi dovuti alla conformazione topografica, consente di conservare nella Carta Geologico-Tecnica per la MS l'attribuzione di un substrato lapideo stratificato, e conseguentemente nella Carta delle MOPS della microzona stabile 1011.

La sezione 09, quella cioè passante per il rilievo su cui sorge l'abitato storico di Monterchi, evidenzia in maniera chiarissima l'occorrenza di fenomeni amplificativi dovuti ad effetti topografici. Lungo il profilo di Monterchi infatti si riscontrano, in tutti e tre gli intervalli di periodo, valori del fattore di amplificazione crescenti all'approssimarsi alla sommità del rilievo stesso. La Carta di Microzonazione Sismica di Livello 3 si basa sui valori di Fattore di Amplificazione nell'intervallo compreso tra 0.1 e 0.5 secondi: ne scaturirebbe pertanto, nel rilievo dell'abitato di Monterchi, una tripartizione in fasce concentriche caratterizzate da valori di F_a crescenti approssimandosi alla sommità. In realtà, ai sensi del disposto di cui al DPGR 5/2020, soltanto la microzona sommitale – invero piuttosto limitata arealmente – ricadrebbe in Pericolosità Sismica elevata S3. Si segnalano tuttavia significativi fenomeni amplificativi per periodi alti, e comunque superiori a 0.7 secondi. E' pertanto evidente come i fenomeni di amplificazione topografica vengano più facilmente portati alla luce dagli alti periodi.



Si rappresenta pertanto detta peculiare circostanza, a beneficio della successiva fase cui è finalizzato uno studio di Microzonazione Sismica di Livello 3, ovvero quella della pianificazione urbanistica.

In sintesi, lungo il profilo del rilievo su cui sorge l'abitato storico di Monterchi caratterizzato da fattori di amplificazione propri di una Pericolosità Sismica media S2 ai sensi del DPGR 5/2020, si riscontrano fenomeni di amplificazione assai significativi per periodi alti e comunque maggiori di 0.7 secondi. Di tale segnalazione potrà essere tenuto conto in fase di redazione delle carte di pericolosità nell'ambito della predisposizione del nuovo strumento urbanistico.

14. VERIFICHE DI STABILITA' NELLE ZONE INSTABILI

Le zone di attenzione per instabilità di versante derivano dalle carte MOPS di livello 1.

La valutazione dell'attività con forzante sismica tramite metodi semplificati ha previsto per le aree in frana la valutazione dei coefficienti K_c (coefficiente sismico critico) e K_{heq} (coefficiente sismico orizzontale equivalente) così come definiti nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte".

In particolare K_c corrisponde ad un coefficiente sismico critico in condizioni di collasso incipiente, posto $FS = 1.2$ (analisi pseudostatica inversa), mentre K_{heq} deriva da appropriata analisi numerica che presuppone il calcolo dell'accelerazione massima equivalente nella sezione di studio. In particolare come descritto nelle NTC 2018, § 7.11.3.5.2

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

Imponendo $\beta=0.24$ come da tabella seguente (Tab.7.11.I - NTC2018)

Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Si perviene al calcolo di K_{heq} , da confrontare con il valore di K_c , precedentemente descritto.

Sono state quindi definite suscettibili di instabilità le aree per le quali si è riconosciuto $K_{heq} > K_c$.

Per n.5 aree riconosciute come aree di suscettibilità da frana (in località Le Ville, Pocaia e

Mercatale), essendo state parametrizzate dal punto di vista geotecnico tramite indagini geognostiche e di laboratorio geotecnico realizzate in seno allo studio di MS3, si è proceduto al calcolo in condizioni dinamiche dello spostamento sismoindotto; in realtà solo per tre frane si è verificato il superamento, da parte del $K_{h\ eq}$, del $K_{critico}$. Queste ultime sono state inserite tra le Zone di rispetto per instabilità di versante. Le due frane invece per cui il K_c è risultato maggiore del $K_{h\ eq}$ non sono state riportate nella Carta delle MOPS e nella Carta di Microzonazione Sismica, mentre il loro perimetro è stato conservato nella Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica.

Lo spostamento massimo corrisponde in cartografia ad un buffer di equivalente valore rispetto all'area originaria dell'area di instabilità. Per tutte le altre aree non indagate tramite metodi di analisi dinamica (in realtà soltanto due), il buffer è cautelativamente considerato, nel caso delle frane di scivolamento, di 10 m. Di seguito si riportano le procedure di analisi relative alle due aree in frana modellate analiticamente.

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

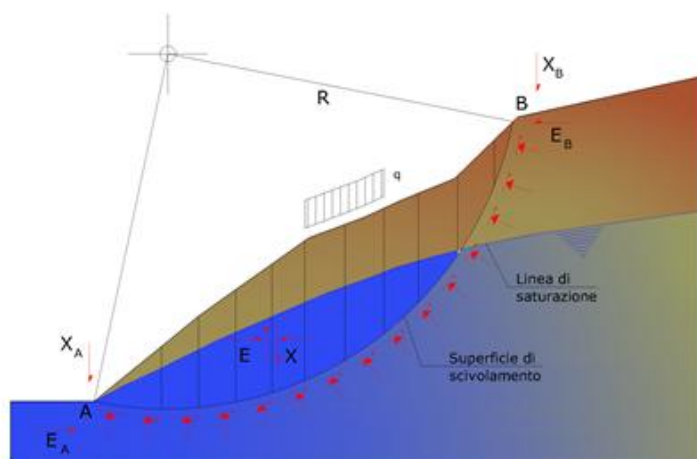
Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (t) e confrontate con la resistenza disponibile (t_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;
- equazioni relative al criterio di rottura n .

Totale numero di equazioni $4n$.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

Metodo di Sarma (1973)

Il metodo di Sarma è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica K_c) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisca nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

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

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$

$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = K W_i + \Delta E_i$$

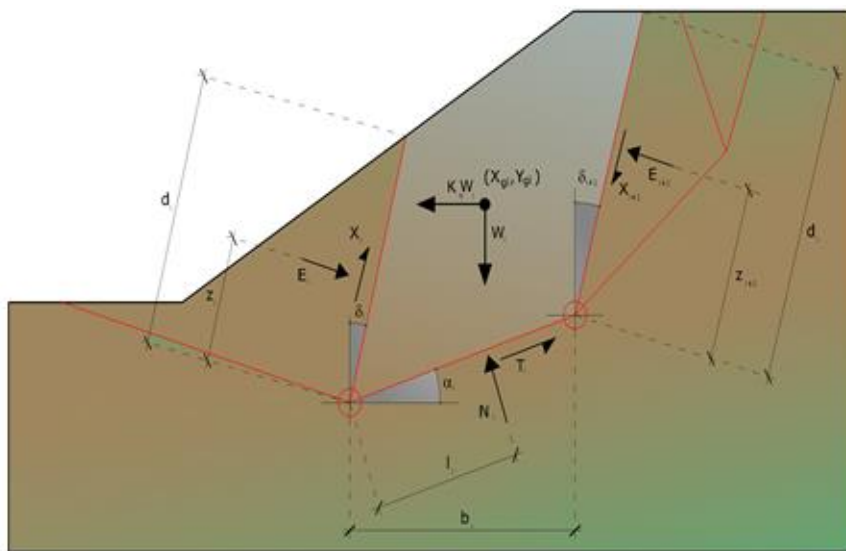
Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum \Delta X_i = 0$$

dove E_i e X_i rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i-esima del concio generico i.

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel **metodo di Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:



Azioni sull' i-esimo concio, metodo di Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di **K** (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di

sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione **K** corrispondente al fattore di sicurezza **F = 1** , ossia l'accelerazione critica.

Si ha pertanto:

$K=K_c$ **Accelerazione critica** se $F=1$

$F=F_s$ **Fattore di sicurezza in condizioni statiche**

se $K=0$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne X_i ed E_i tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

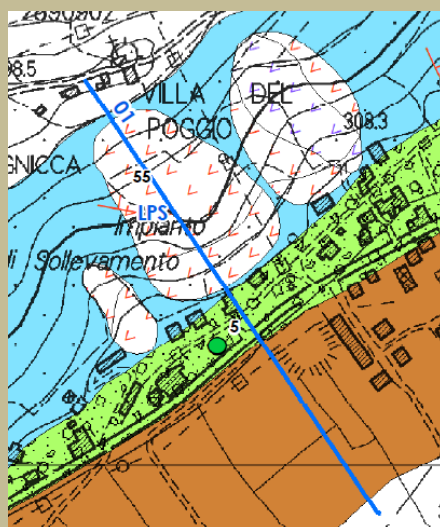
E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze X_i :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove Q_i è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla i-esima faccia del concio i , e λ rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di K_c , λ e F , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

Frana in Loc. Le Ville indagata dalla Sezione 01



Analisi di stabilità dei pendii con: SARMA (1973)

Lat./Long.

43,484175/12,073366

Calcolo eseguito secondo

NTC 2018

Numero di strati

4,0

Numero dei conci 10,0
 Grado di sicurezza ritenuto accettabile 1,2
 Coefficiente parziale resistenza 1,0
 Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito: Picco
 Analisi Condizione drenata
 Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi 2729,79 m
 Ordinata vertice sinistro inferiore yi 1858,48 m
 Ascissa vertice destro superiore xs 2988,75 m
 Ordinata vertice destro superiore ys 1883,83 m
 Passo di ricerca 10,0
 Numero di celle lungo x 10,0
 Numero di celle lungo y 10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
 Classe d'uso: Classe II
 Vita nominale: 50,0 [anni]
 Vita di riferimento: 50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: E
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,63	2,45	0,27
S.L.D.	50,0	0,81	2,39	0,27
S.L.V.	475,0	2,02	2,4	0,29
S.L.C.	975,0	2,57	2,42	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,008	0,2	0,0206	0,0103
S.L.D.	1,296	0,2	0,0264	0,0132
S.L.V.	2,9415	0,28	0,084	0,042
S.L.C.	3,347	0,28	0,0956	0,0478

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,084
 Coefficiente azione sismica verticale 0,042

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	2552,72	1675,92
2	2552,72	1775,92
3	2670,64	1777,02
4	2718,04	1782,09
5	2741,12	1784,56
6	2764,2	1788,63
7	2792,35	1791,07
8	2797,73	1793,0
9	2800,01	1793,82
10	2805,48	1794,77
11	2811,85	1795,88
12	2815,13	1797,89
13	2827,38	1801,33
14	2835,19	1807,76
15	2840,44	1811,18
16	2871,31	1815,93
17	2882,53	1819,14
18	2902,08	1822,77
19	2917,33	1827,04
20	2928,4	1830,76
21	2932,21	1832,8
22	2939,28	1834,85
23	2948,27	1838,85
24	2969,85	1844,89
25	2976,83	1846,66
26	2984,09	1848,98
27	2989,08	1851,19
28	3001,82	1854,07
29	3010,31	1855,72
30	3010,31	1675,92

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	2552,72	1675,92
2	2552,72	1775,92
3	2670,64	1777,02
4	2718,04	1782,09
5	2741,12	1784,56
6	2764,2	1788,63
7	2792,35	1791,07
8	2797,73	1793,0
9	2800,01	1793,82
10	2805,48	1794,77
11	2814,59	1794,65
12	2826,2	1797,92
13	2837,55	1802,95
14	2846,21	1805,95
15	2866,78	1810,37

16	2888,01	1813,92
17	2900,04	1816,25
18	2909,03	1818,36
19	2919,43	1821,26
20	2936,44	1827,26
21	2948,74	1832,28
22	2971,14	1838,91
23	2976,83	1846,66
24	2984,09	1848,98
25	2989,08	1851,19
26	3001,82	1854,07
27	3010,31	1855,72
28	3010,31	1675,92

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	2552,72	1675,92
2	2552,72	1775,92
3	2670,64	1777,02
4	2718,04	1782,09
5	2718,14	1780,82
6	2741,2	1782,57
7	2731,31	1779,98
8	2729,96	1778,51
9	2749,03	1782,0
10	2783,99	1785,11
11	2797,22	1790,85
12	2797,73	1793,0
13	2797,73	1793,0
14	2800,01	1793,82
15	2805,48	1794,77
16	2814,59	1794,65
17	2826,2	1797,92
18	2837,55	1802,95
19	2846,21	1805,95
20	2866,78	1810,37
21	2888,01	1813,92
22	2900,04	1816,25
23	2909,03	1818,36
24	2919,43	1821,26
25	2936,44	1827,26
26	2948,74	1832,28
27	2971,14	1838,91
28	2976,83	1846,66
29	2984,09	1848,98
30	2989,08	1851,19
31	3001,82	1854,07
32	3010,31	1855,72
33	3010,31	1675,92

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	2552,72	1675,92
2	2552,72	1745,72
3	2606,53	1746,61
4	2660,97	1753,54
5	2701,37	1760,82
6	2732,4	1768,1
7	2744,71	1773,99
8	2749,03	1782,0
9	2783,99	1785,11
10	2797,22	1790,85
11	2797,73	1793,0
12	2797,73	1793,0
13	2800,01	1793,82
14	2805,48	1794,77
15	2814,59	1794,65
16	2826,2	1797,92
17	2837,55	1802,95
18	2846,21	1805,95
19	2866,78	1810,37
20	2888,01	1813,92
21	2900,04	1816,25
22	2909,03	1818,36
23	2919,43	1821,26
24	2936,44	1827,26
25	2948,74	1832,28
26	2971,14	1838,91
27	2976,83	1846,66
28	2984,09	1848,98
29	2989,08	1851,19
30	3001,82	1854,07
31	3010,31	1855,72
32	3010,31	1675,92

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.06		29	1800,00	1900		
2			33	1800	1900		
3			28	1800	1900		
4	1		38	1800	1900		

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

=====

Fs minimo individuato 1,25

Ascissa centro superficie 2924,01 m

Ordinata centro superficie 1867,35 m

Raggio superficie 40,37 m

=====

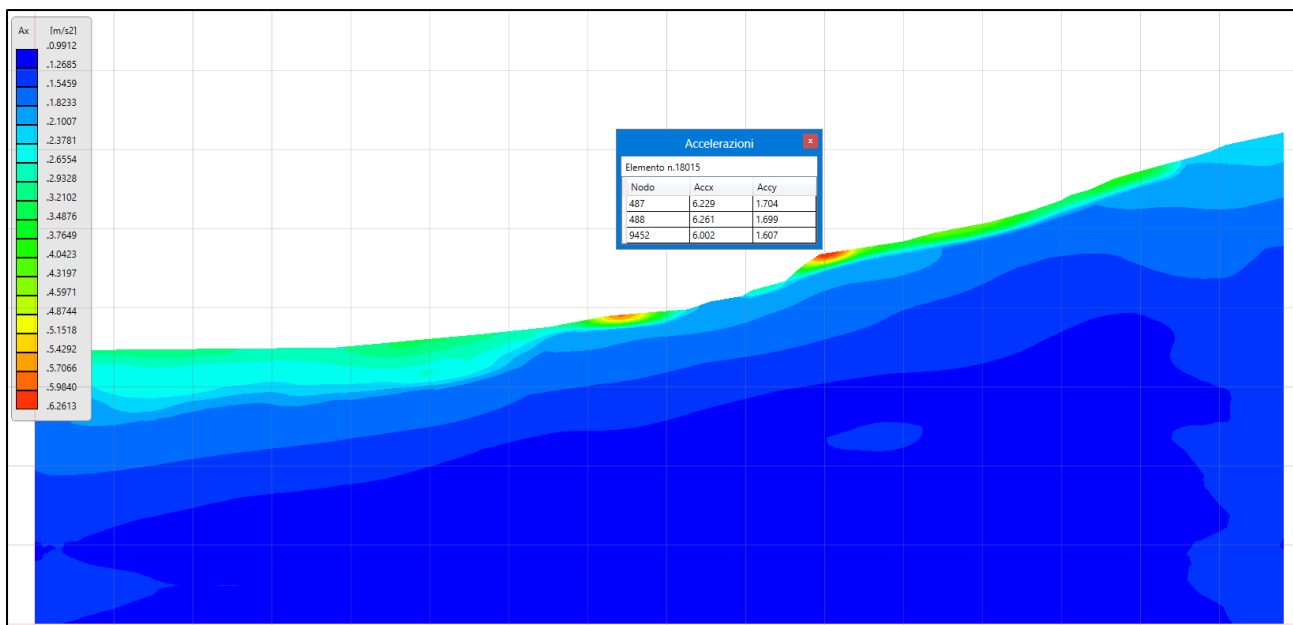
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali.

xc = 2924,007 yc = 1867,349 Rc = 40,368 Fs=1,25

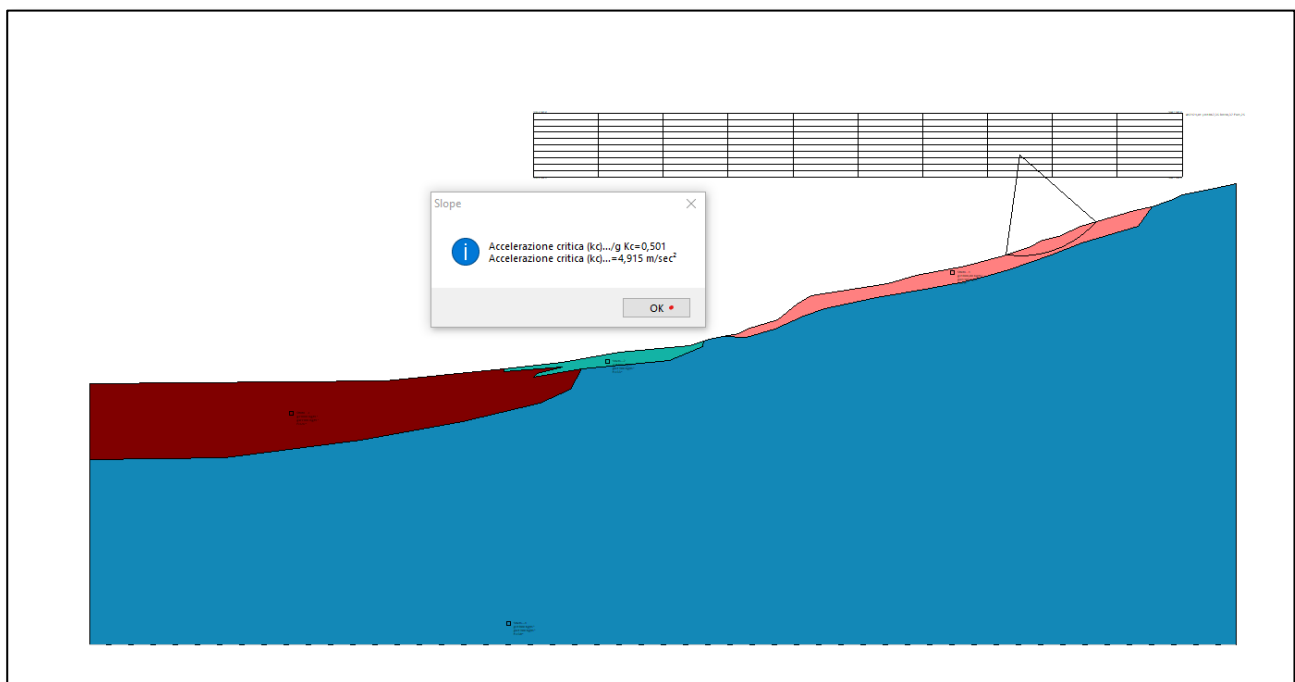
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	3,58	-5,86	3,6	5179,55
2	3,58	0,0	3,58	14196,4
3	2,9	4,17	2,9	16575,05
4	3,81	8,8	3,86	29612,17
5	4,02	14,81	4,16	36906,39
6	3,04	19,77	3,24	27471,48
7	4,11	25,54	4,56	35998,64
8	4,88	32,7	5,8	38486,34
9	2,28	39,35	2,94	13118,58
10	3,58	44,8	5,04	9083,07

Sforzi sui concii

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	-944,08	3921,67	0,0	0,0	6535,14	3699,6	0,0
2	-3155,2	9950,54	-944,08	3921,67	16407,51	7194,6	0,0
3	-4936,33	14721,4	-3155,2	9950,54	17861,29	7451,45	0,0
4	-7126,69	19741,34	-4936,33	14721,4	30289,03	12227,07	0,0
5	-8221,17	21362,01	-7126,69	19741,34	35549,6	14210,07	0,0
6	-7386,15	20165,86	-8221,17	21362,01	24707,74	10007,56	0,0
7	-6481,81	15173,53	-7386,15	20165,86	32542,45	13294,55	0,0
8	-5123,69	5483,92	-6481,81	15173,53	34771,86	14562,1	0,0
9	-3189,36	1509,54	-5123,69	5483,92	10485,92	4850,42	0,0
10	0,0	0,0	-3189,36	1509,54	4720,25	3610,86	0,0

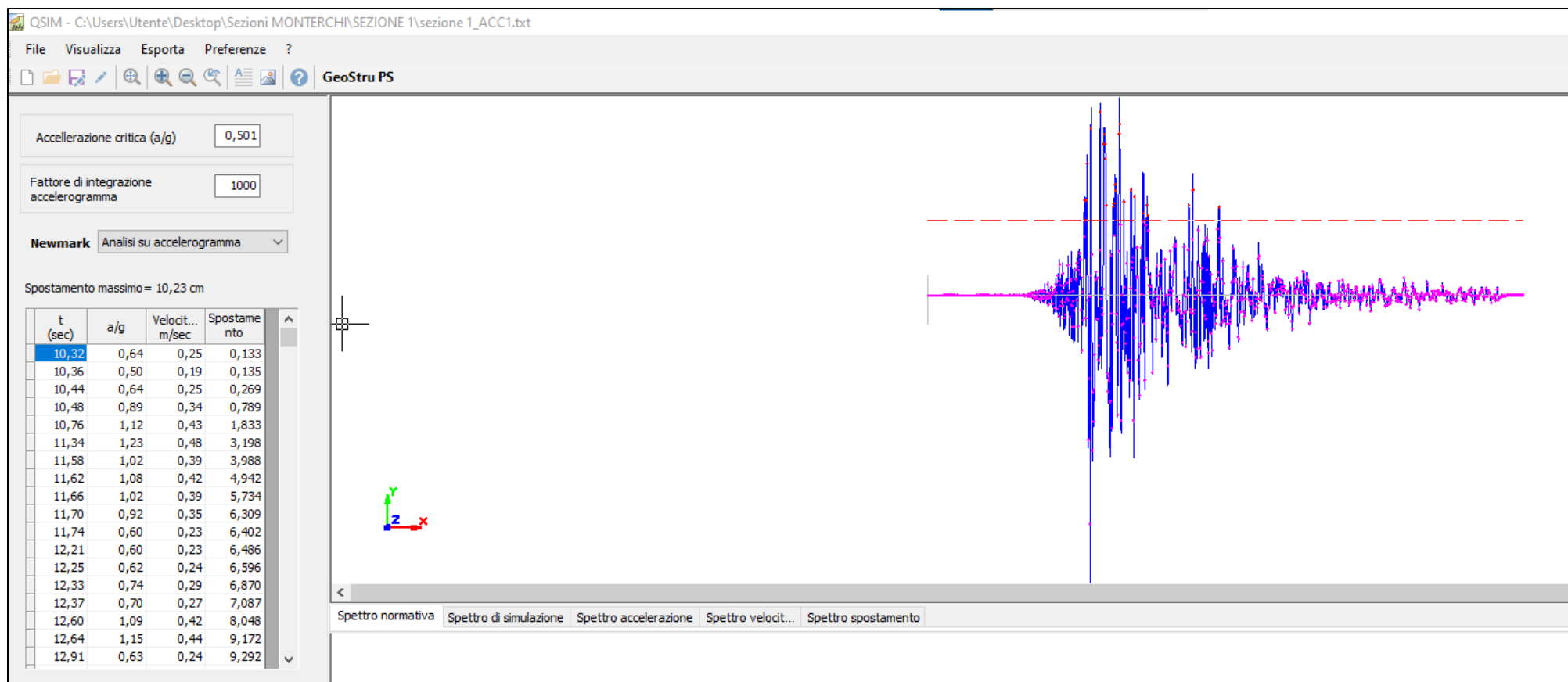


L'accelerazione massima osservabile al suolo, direttamente ricavata da risposta sismica bidimensionale eseguita nella medesima direttrice topografica, ammonta ad oltre 6,2 m/sec².

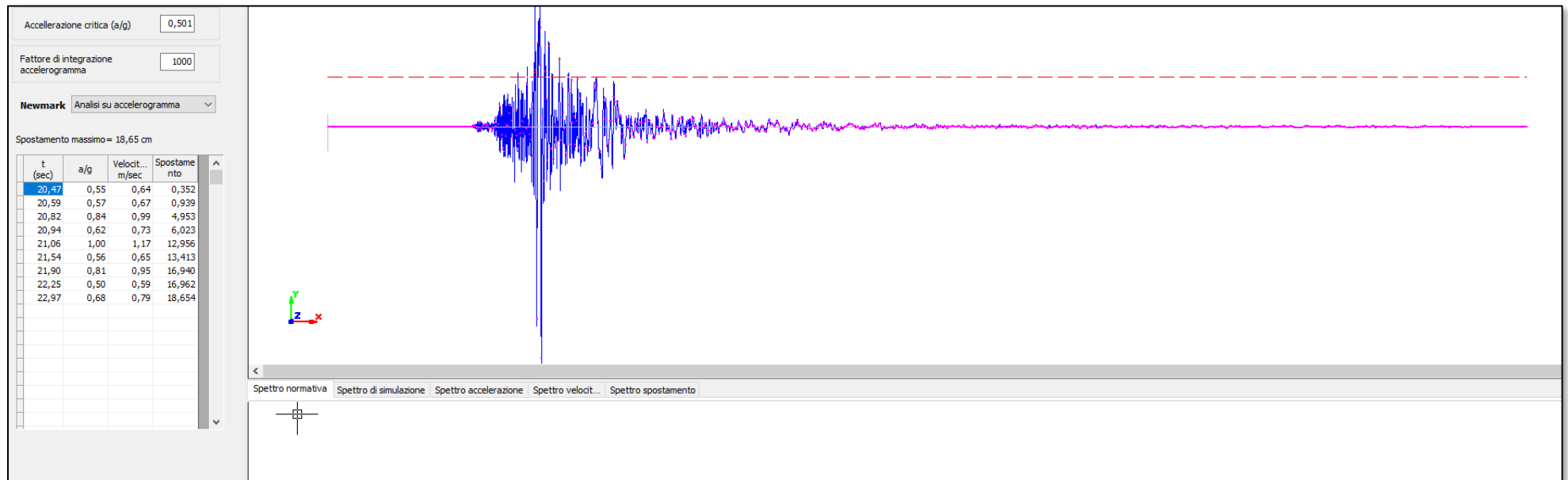


Essendo la locale accelerazione critica 4,9 m/s², appare opportuno eseguire la verifica dinamica inserendo 7 accelerogrammi di input ricavati per lo SLV.

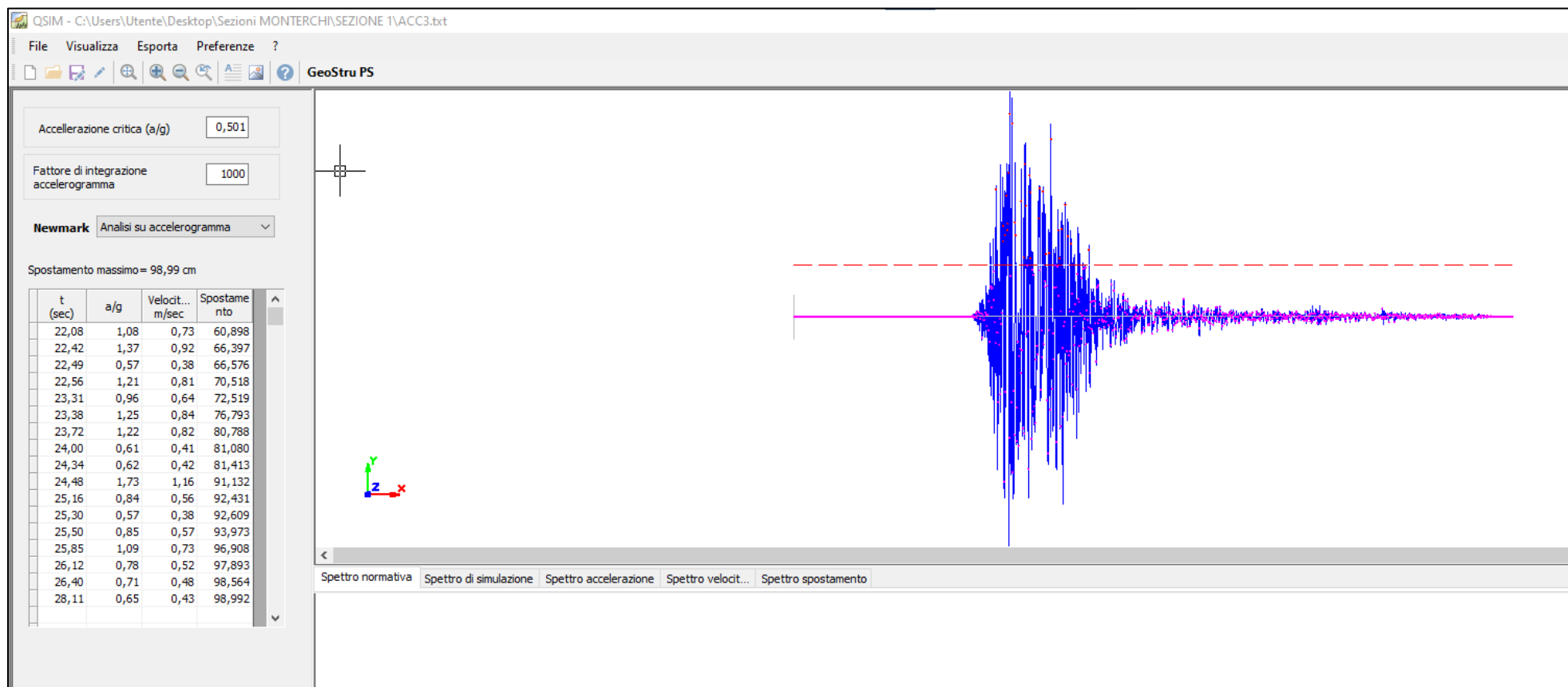
Di seguito gli esiti del calcolo, distinto per ogni accelerogramma importato.



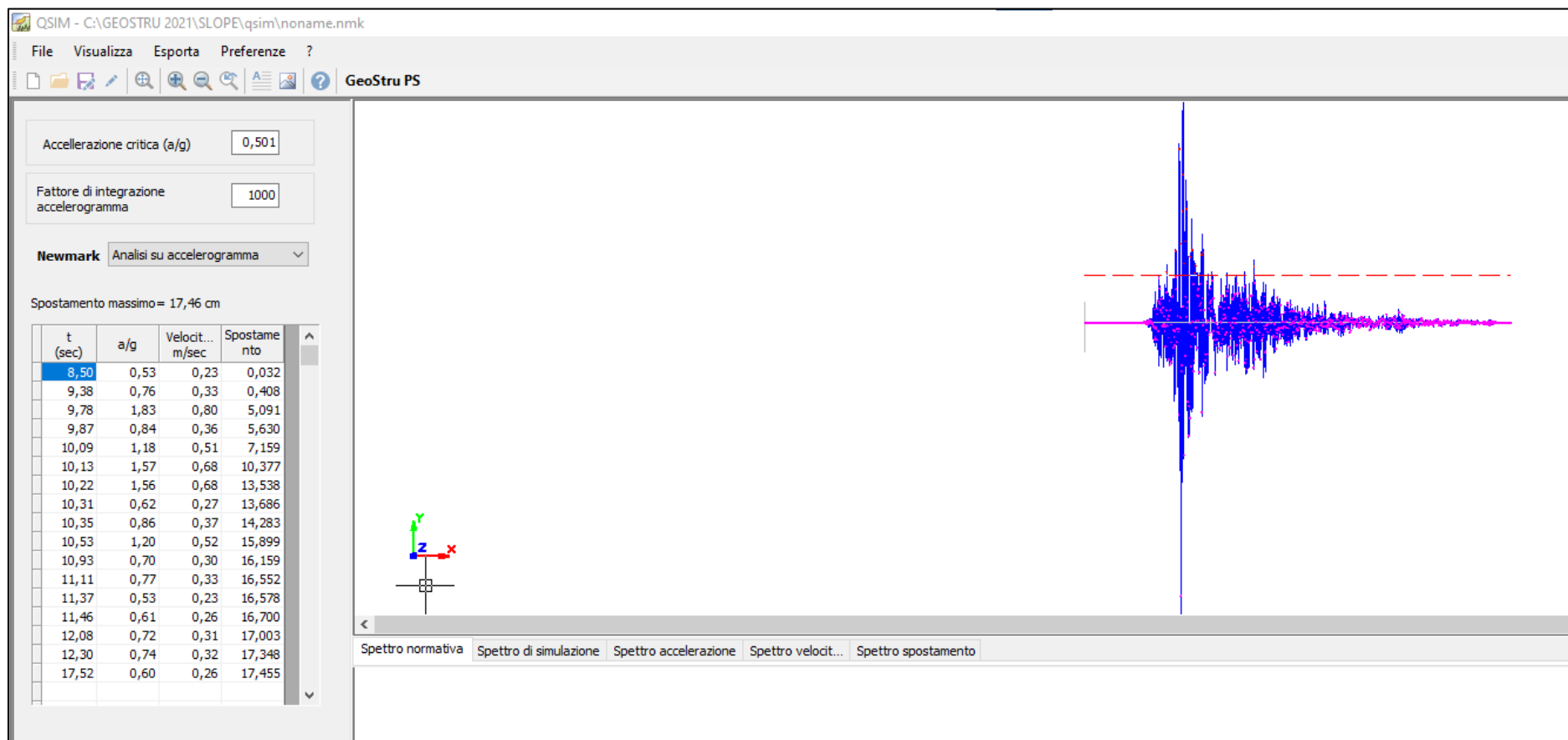
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 1: 10,23cm



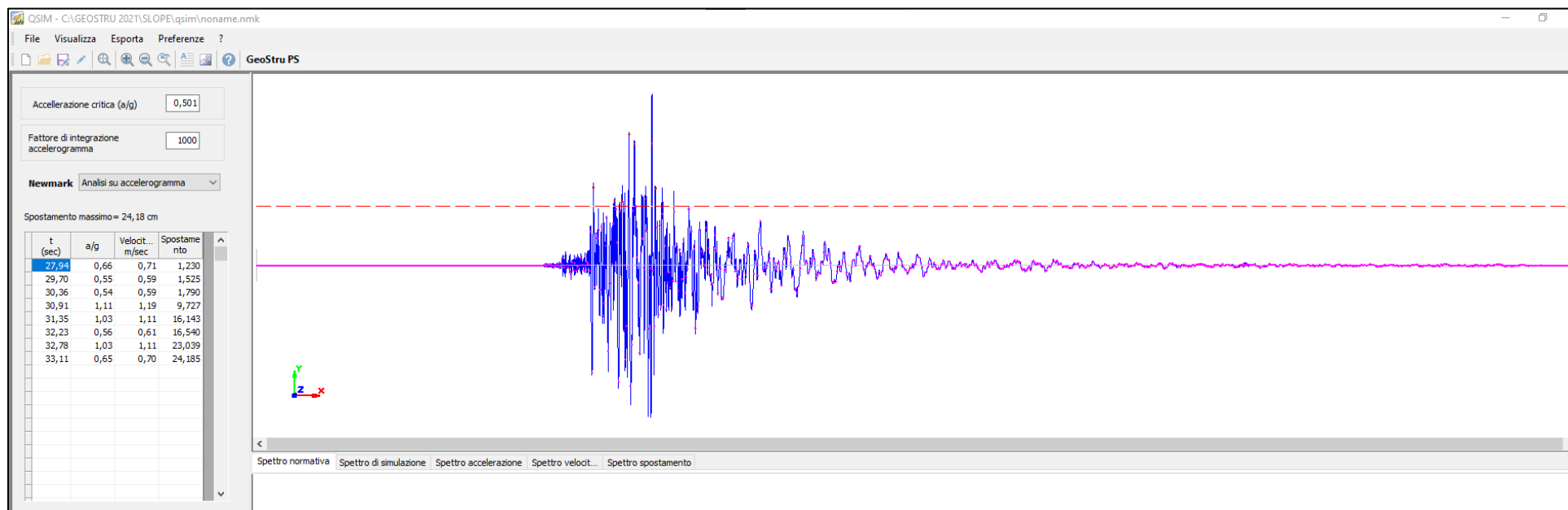
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 2: 18,65cm



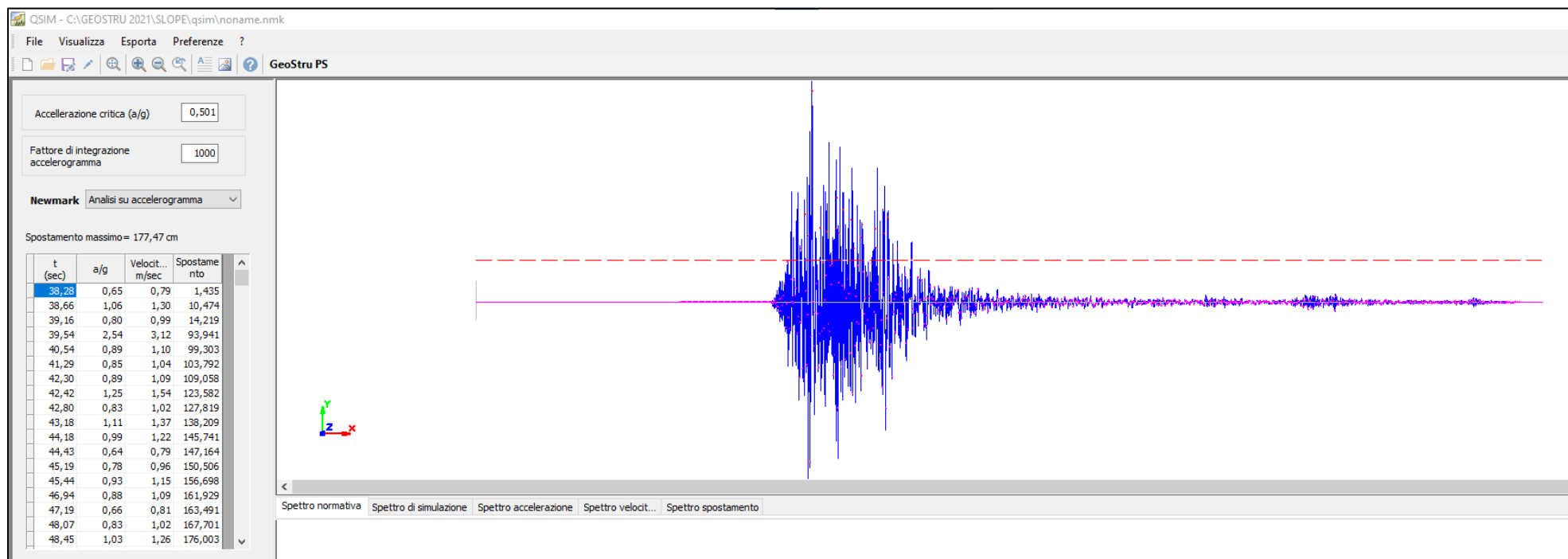
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 3: 98,99cm



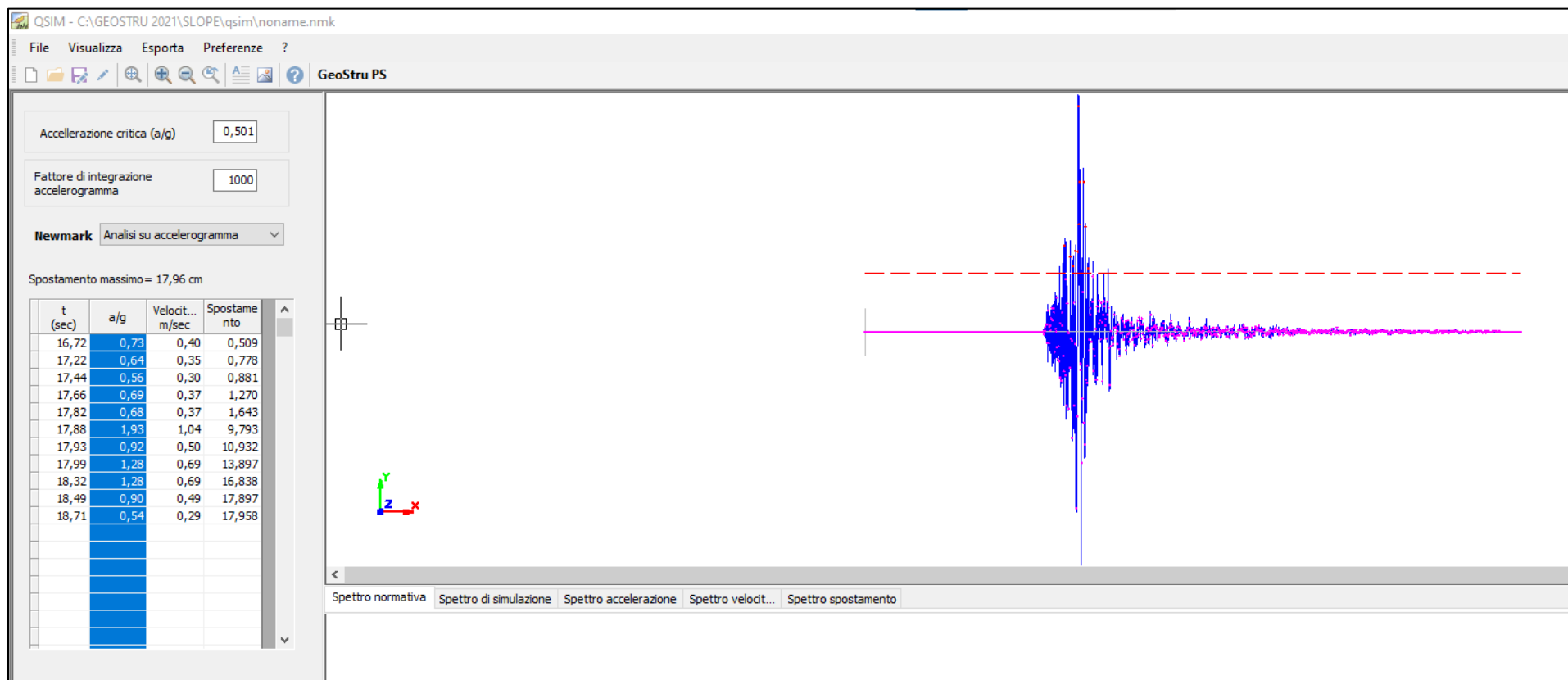
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 4: 17,46cm



Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 5: 24,18cm



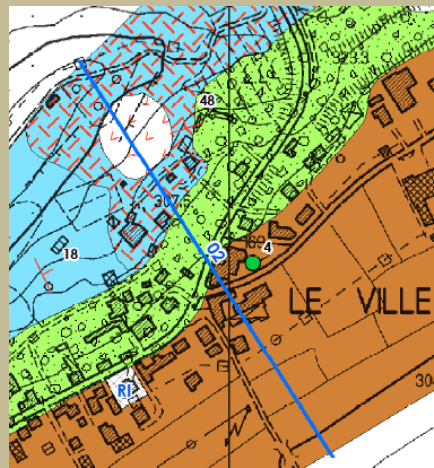
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 6: 177,47cm



Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 7: 17,96cm

Lo spostamento massimo calcolato nell'ambito della verifica di stabilità dinamica ammonta a 177,47 cm (arrotondato a 178 cm).

Frana in Loc. Le Ville indagata dalla Sezione 02



Analisi di stabilità dei pendii con: SARMA (1973)

Lat./Long.	43,486381/12,07778
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3068,3 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1728,67 m
Ascissa vertice destro superiore xs	3358,14 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1777,75 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,63	2,45	0,27
S.L.D.	50,0	0,81	2,39	0,27
S.L.V.	475,0	2,03	2,4	0,29
S.L.C.	975,0	2,58	2,42	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Opere di sostegno

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,008	0,18	0,0185	0,0093
S.L.D.	1,296	0,18	0,0238	0,0119
S.L.V.	2,9506	0,31	0,0933	0,0466
S.L.C.	3,353	0,31	0,106	0,053

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0185

Coefficiente azione sismica verticale 0,0093

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	2912,27	1554,72
2	2912,27	1654,72
3	3067,58	1656,1
4	3107,26	1656,45
5	3146,35	1659,92
6	3168,1	1662,06
7	3178,58	1663,81
8	3186,22	1665,55
9	3193,65	1667,74
10	3198,23	1669,92
11	3202,16	1671,66
12	3213,96	1672,86
13	3225,75	1674,06
14	3240,16	1676,02
15	3246,71	1677,77
16	3249,11	1679,51
17	3258,87	1682,18
18	3268,11	1683,88
19	3282,74	1687,8
20	3297,81	1691,73
21	3304,79	1693,69
22	3312,65	1696,09
23	3320,52	1698,27
24	3330,56	1700,24
25	3333,33	1701,2
26	3342,01	1704,13
27	3347,92	1706,32
28	3352,46	1708,11
29	3358,64	1709,76
30	3364,83	1711,82
31	3373,77	1712,64
32	3378,17	1712,37

33	3387,66	1711,68
34	3387,66	1711,68
35	3387,66	1554,72

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	2912,27	1554,72
2	2912,27	1654,72
3	3067,58	1656,1
4	3107,26	1656,45
5	3146,35	1659,92
6	3168,1	1662,06
7	3178,58	1663,81
8	3186,22	1665,55
9	3193,65	1667,74
10	3198,23	1669,92
11	3202,16	1671,66
12	3213,96	1672,86
13	3225,75	1674,06
14	3240,16	1676,02
15	3246,71	1677,77
16	3249,11	1679,51
17	3258,87	1682,18
18	3271,88	1683,12
19	3291,64	1686,22
20	3300,54	1687,77
21	3317,08	1692,43
22	3332,73	1697,95
23	3333,33	1701,2
24	3333,33	1701,2
25	3342,01	1704,13
26	3347,92	1706,32
27	3352,46	1708,11
28	3358,64	1709,76
29	3364,83	1711,82
30	3373,77	1712,64
31	3378,17	1712,37
32	3387,66	1711,68
33	3387,66	1711,68
34	3387,66	1554,72

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	2912,27	1554,72
2	2912,27	1654,72
3	3067,58	1656,1
4	3075,55	1655,51
5	3075,71	1654,58
6	3069,87	1654,15
7	3070,55	1652,97
8	3102,19	1654,55
9	3102,25	1653,66
10	3095,22	1653,17
11	3094,63	1651,7
12	3114,07	1652,96

13	3178,29	1654,86
14	3195,28	1658,51
15	3206,2	1667,02
16	3210,87	1670,65
17	3213,96	1672,86
18	3225,75	1674,06
19	3240,16	1676,02
20	3246,71	1677,77
21	3249,11	1679,51
22	3258,87	1682,18
23	3271,88	1683,12
24	3291,64	1686,22
25	3300,54	1687,77
26	3317,08	1692,43
27	3332,73	1697,95
28	3333,33	1701,2
29	3333,33	1701,2
30	3342,01	1704,13
31	3347,92	1706,32
32	3352,46	1708,11
33	3358,64	1709,76
34	3364,83	1711,82
35	3373,77	1712,64
36	3378,17	1712,37
37	3387,66	1711,68
38	3387,66	1711,68
39	3387,66	1554,72

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	2912,27	1554,72
2	2912,27	1623,98
3	2961,58	1625,96
4	3003,23	1629,25
5	3034,22	1634,28
6	3063,86	1636,61
7	3093,11	1639,9
8	3109,97	1644,74
9	3112,11	1647,95
10	3114,07	1652,96
11	3178,29	1654,86
12	3195,28	1658,51
13	3206,2	1667,02
14	3210,87	1670,65
15	3213,96	1672,86
16	3225,75	1674,06
17	3240,16	1676,02
18	3246,71	1677,77
19	3249,11	1679,51
20	3258,87	1682,18
21	3271,88	1683,12
22	3291,64	1686,22
23	3300,54	1687,77
24	3317,08	1692,43
25	3332,73	1697,95
26	3333,33	1701,2

27	3333,33	1701,2
28	3342,01	1704,13
29	3347,92	1706,32
30	3352,46	1708,11
31	3358,64	1709,76
32	3364,83	1711,82
33	3373,77	1712,64
34	3378,17	1712,37
35	3387,66	1711,68
36	3387,66	1711,68
37	3387,66	1554,72

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1,25
Coesione efficace 1,25
Coesione non drenata 1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0,06		29	1800	1900		
2			33	1800	1900		
3			28	1800	1900		
4	1		38	1800	1900		

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato 1,92
Ascissa centro superficie 3271,19 m
Ordinata centro superficie 1728,67 m
Raggio superficie 110,19 m

xc = 3271,185 yc = 1728,674 Rc = 110,191 Fs=1,92

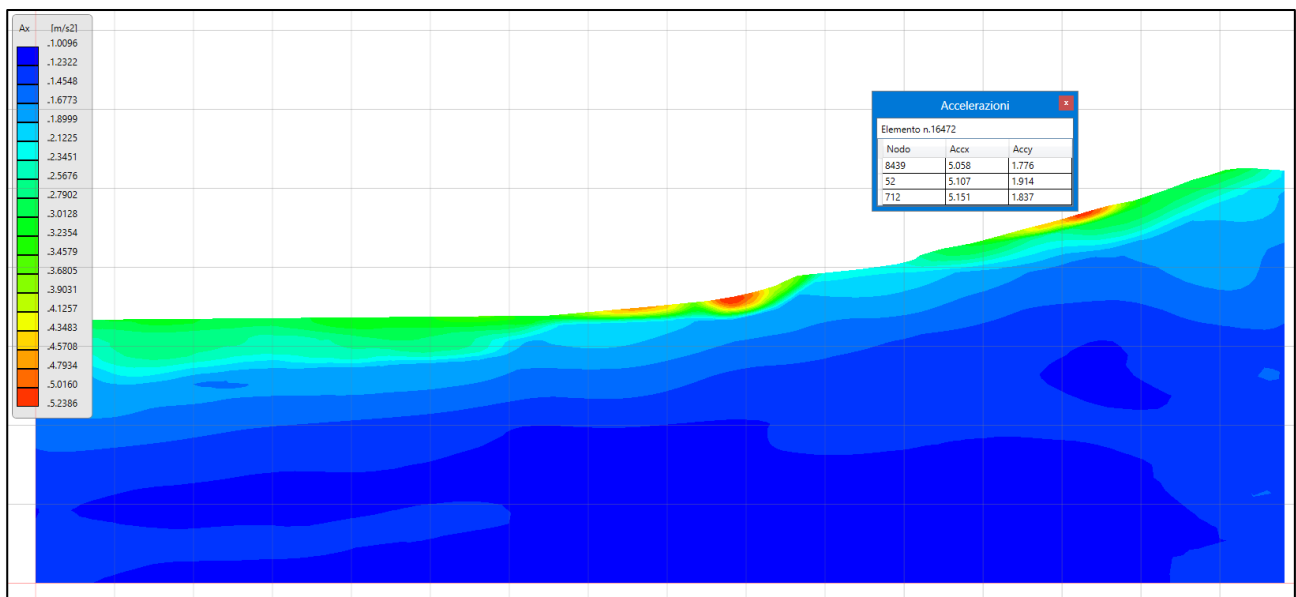
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	4,62	-52,42	7,57	30151,93
2	7,42	-47,57	11,0	165818,7
3	4,59	-43,09	6,28	170490,7
4	3,93	-40,17	5,14	186741,3
5	11,79	-35,04	14,4	719726,6
6	11,79	-27,79	13,33	897559,1
7	14,41	-20,37	15,37	1289845,0
8	6,55	-14,61	6,77	646916,3
9	2,4	-12,21	2,46	249327,2

10	131,04	34,93	159,83	16330610,0
----	--------	-------	--------	------------

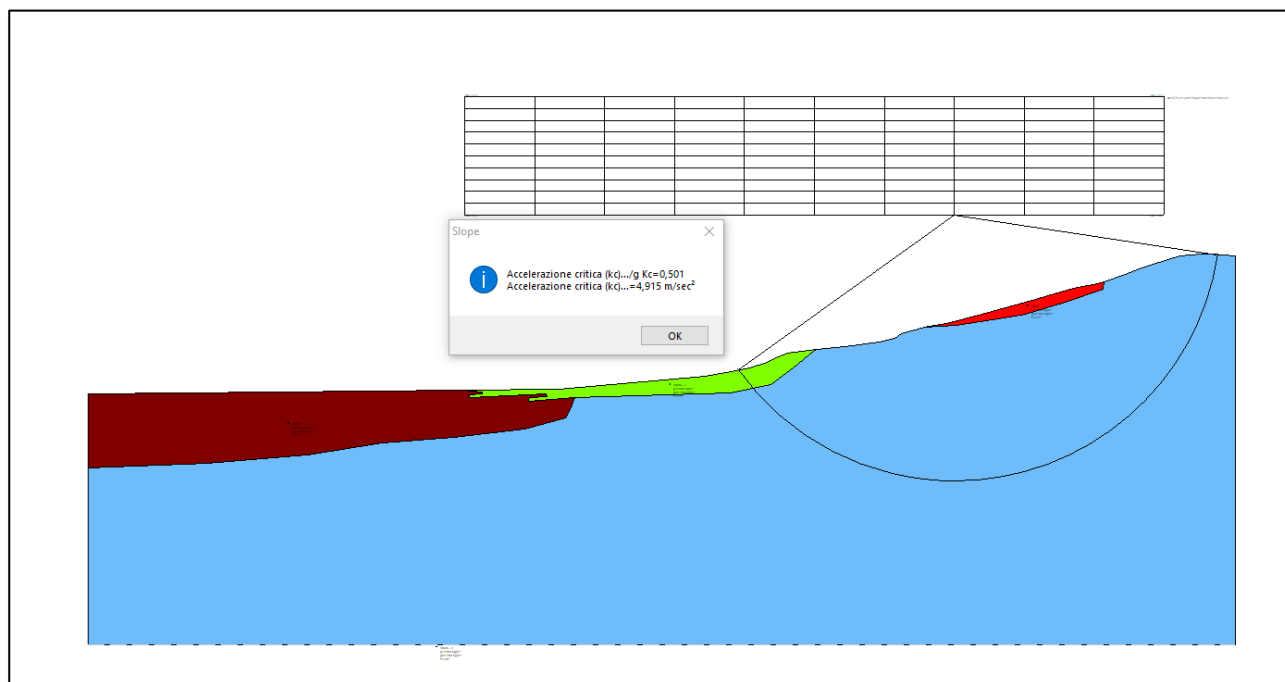
Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	1034,35	70007,52	0,0	0,0	73620,97	19920,85	0,0
2	16408,12	504636,3	1034,35	70007,52	424277,6	183970,3	0,0
3	42154,0	815805,4	16408,12	504636,3	320139,7	130378,0	0,0
4	67989,2	1110981,0	42154,0	815805,4	315285,2	124068,7	0,0
5	113704,8	2091149,0	67989,2	1110981,0	1121235,0	425011,5	0,0
6	173769,3	3014396,0	113704,8	2091149,0	1178066,0	439037,2	0,0
7	217547,3	4059111,0	173769,3	3014396,0	1538997,0	565054,1	0,0
8	232191,4	4485572,0	217547,3	4059111,0	722012,5	263248,9	0,0
9	239527,6	4633941,0	232191,4	4485572,0	268748,8	97726,86	0,0
10	-0,02	0,0	239527,6	4633941,0	16088310,0	5903280,0	0,0

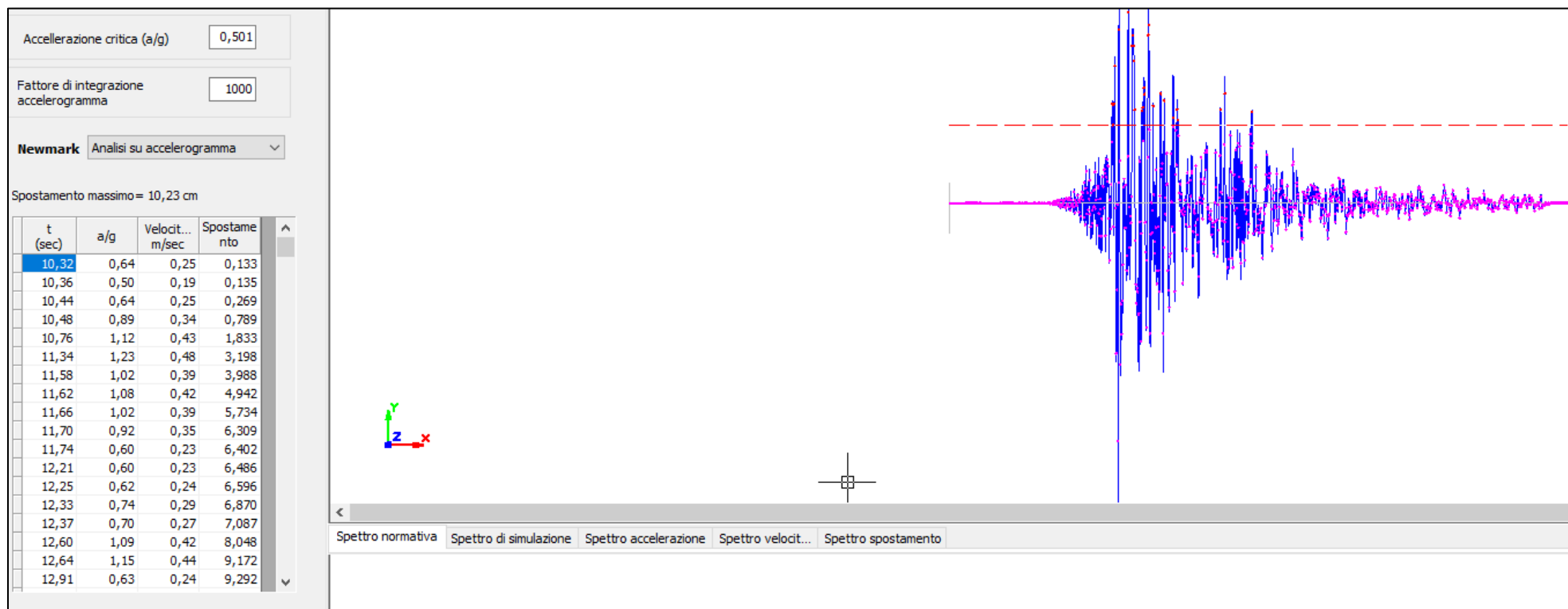
L'accelerazione massima osservabile al suolo, direttamente ricavata da risposta sismica bidimensionale eseguita nella medesima direttrice topografica, ammonta ad oltre 5,0 m/sec².



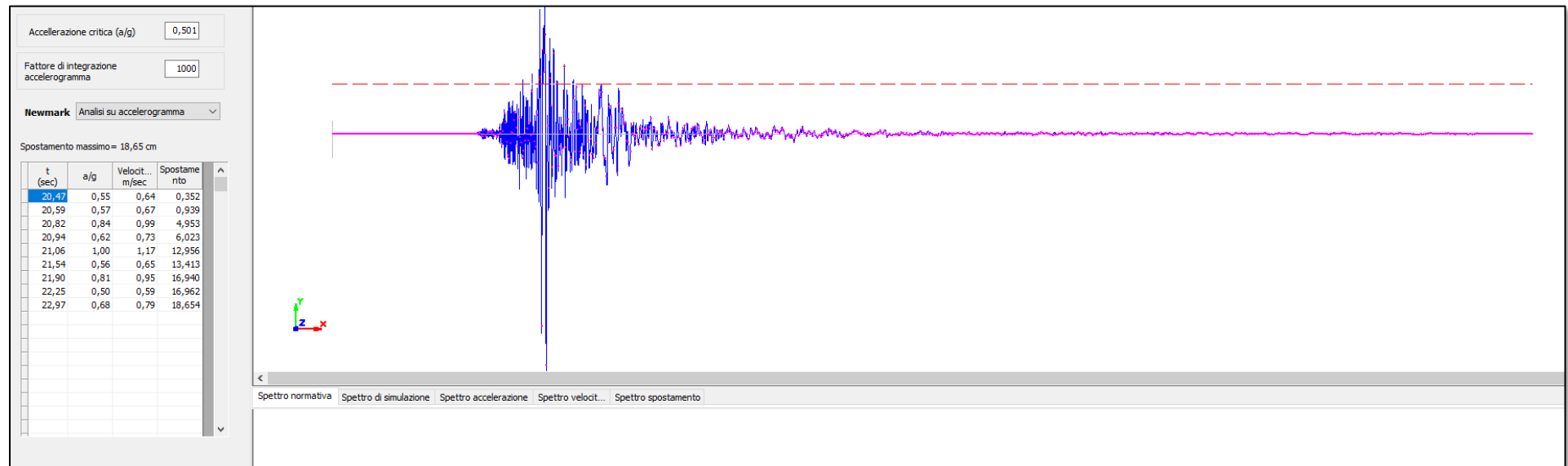
Essendo la locale accelerazione critica circa 4,915 m/sec², appare opportuno eseguire la verifica dinamica inserendo 7 accelerogrammi di input ricavati per lo SLV.



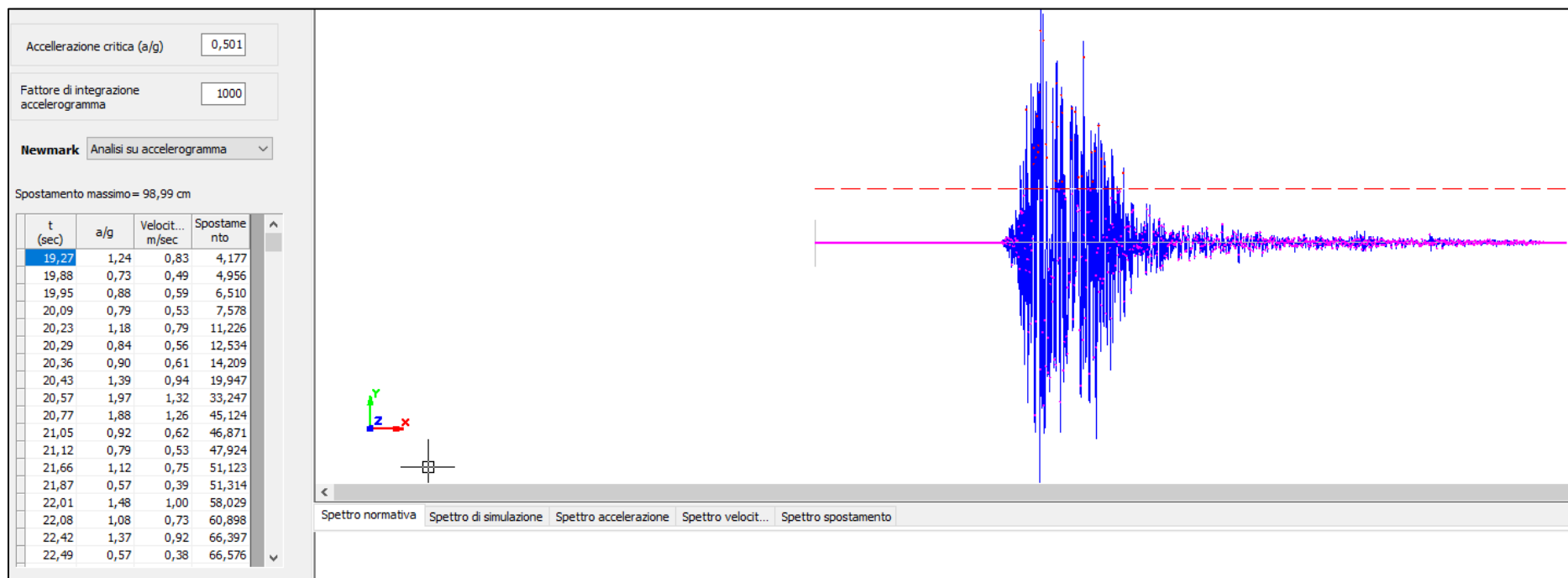
Di seguito gli esiti del calcolo, distinto per ogni accelerogramma importato.



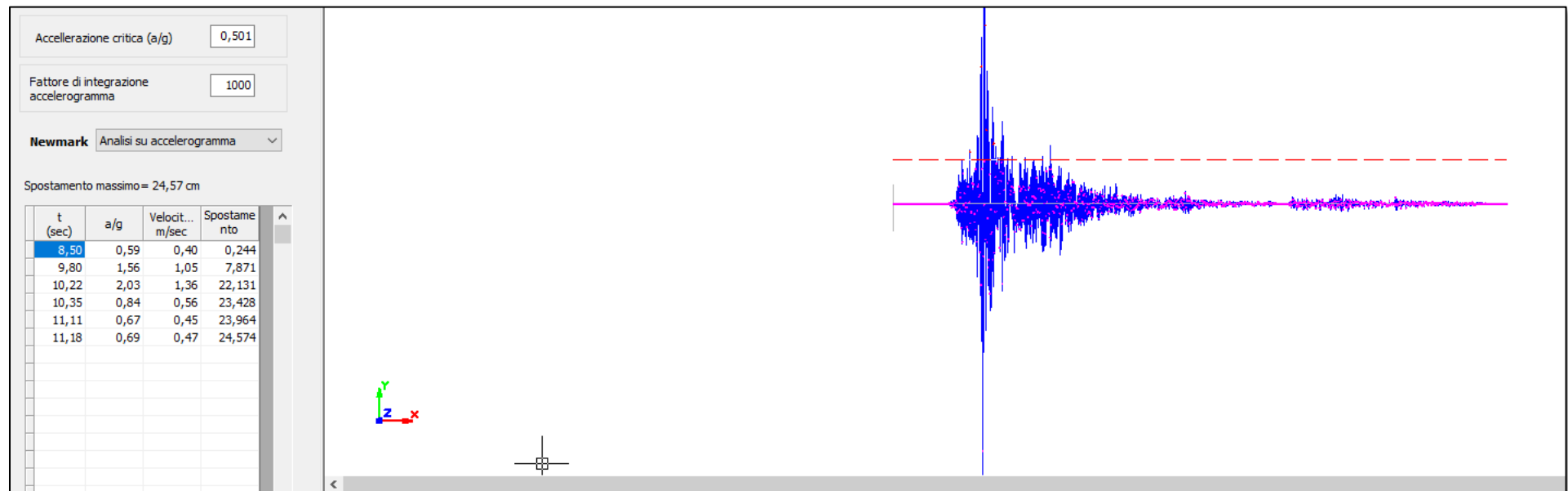
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 1: 10,23cm



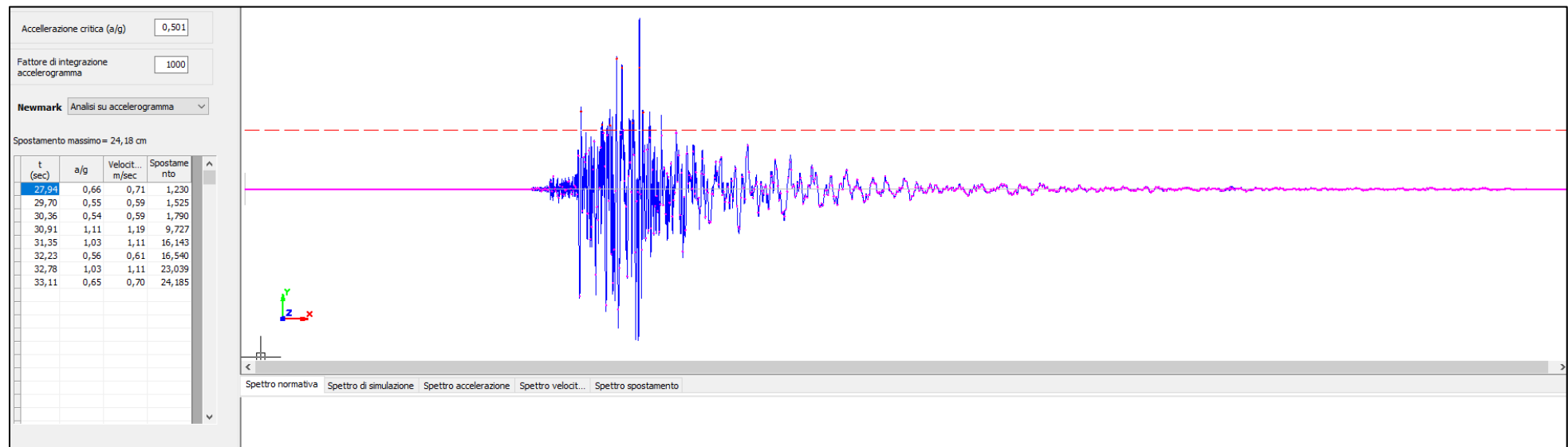
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 2: 18,65cm



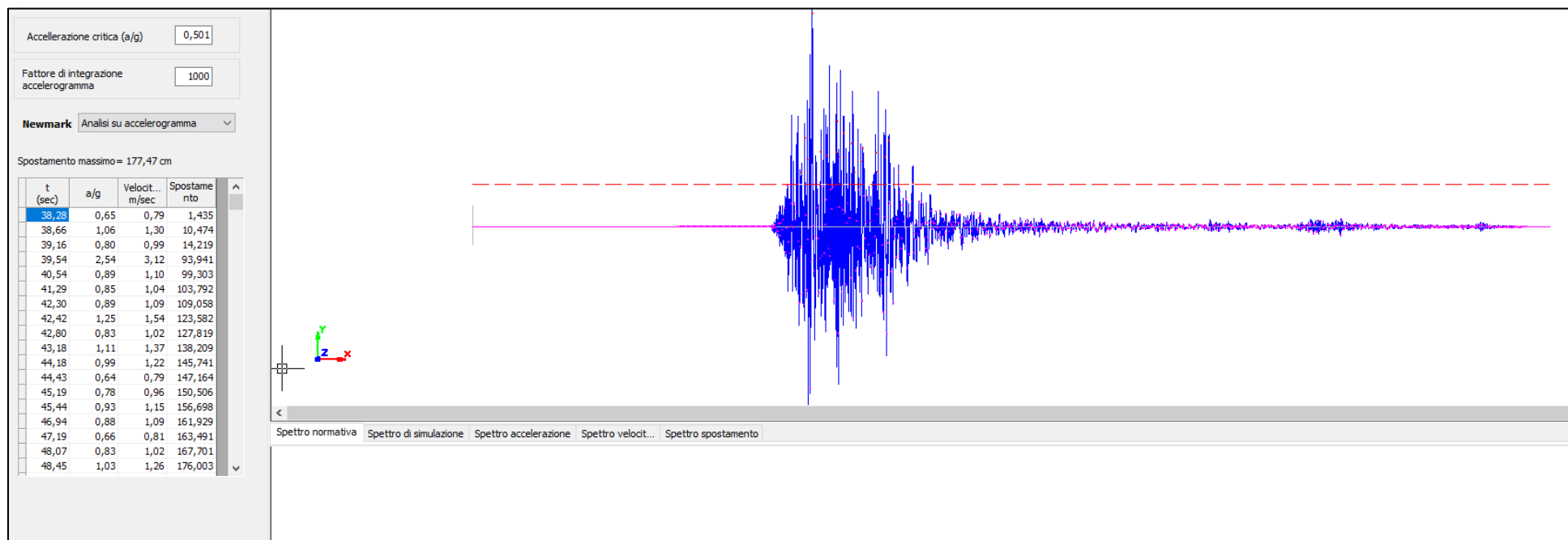
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 3: 98,99cm



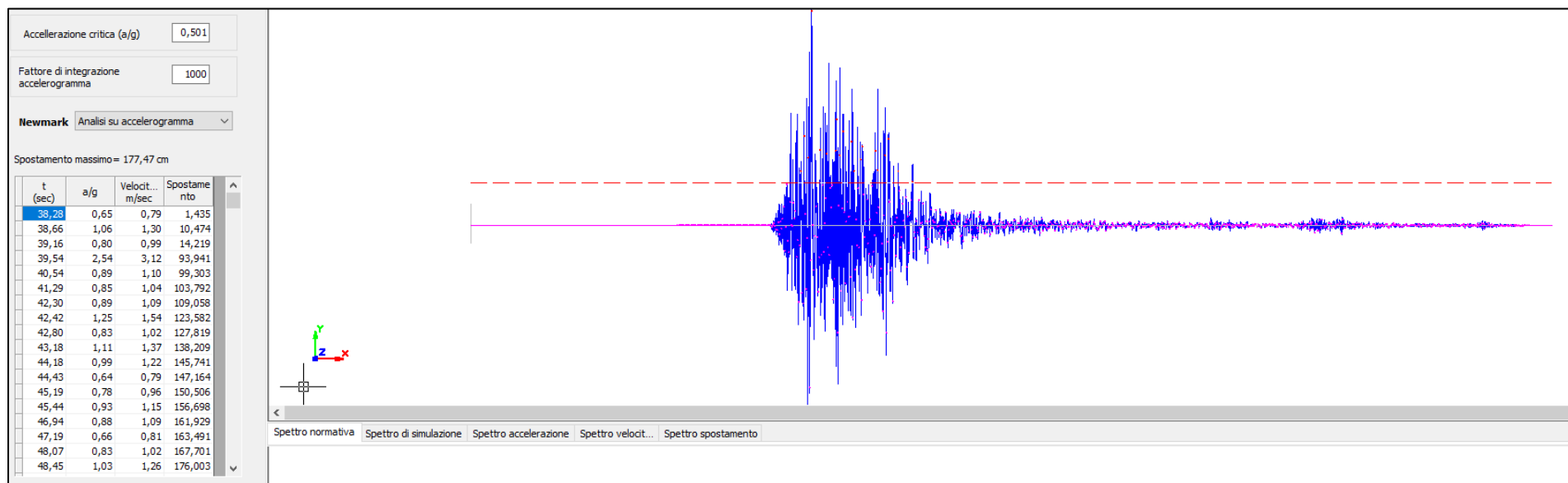
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 4: 24,57cm



Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 5: 24,18cm



Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 6: 177,47cm



Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 7: 177,47cm

Lo spostamento massimo calcolato nell'ambito della verifica di stabilità dinamica ammonta a 177,47 cm (arrotondato a 178 cm)

Frana in Loc. Le Ville indagata dalla Sezione 03



Analisi di stabilità dei pendii con: SARMA (1973)

Lat./Long.	43,488324/12,08314
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2796,67 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1694,14 m
Ascissa vertice destro superiore xs	2994,12 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1733,56 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:

B

Categoria topografica:

T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,63	2,45	0,27
S.L.D.	50,0	0,82	2,38	0,27
S.L.V.	475,0	2,04	2,4	0,29
S.L.C.	975,0	2,59	2,42	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Opere di sostegno

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,756	0,18	0,0139	0,0069
S.L.D.	0,984	0,18	0,0181	0,009
S.L.V.	2,448	0,31	0,0774	0,0387
S.L.C.	2,9638	0,31	0,0937	0,0468

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,014

Coefficiente azione sismica verticale

0,007

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	2571,28	1539,1
2	2570,09	1639,09
3	2833,78	1645,83
4	2920,2	1668,47
5	2962,72	1678,43
6	2989,68	1679,73
7	2995,15	1679,73

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	2571,28	1539,1
2	2570,1	1638,41
3	2852,63	1646,36
4	2866,64	1648,54
5	2885,21	1654,51
6	2946,8	1668,9
7	2987,12	1677,34
8	2989,68	1679,73
9	2995,15	1679,73
10	2995,15	1539,1

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	2571,28	1539,1
2	2570,51	1603,55
3	2707,34	1620,08
4	2744,85	1624,96
5	2763,09	1629,04
6	2786,09	1644,49

7	2852,63	1646,36
8	2866,64	1648,54
9	2885,21	1654,51
10	2946,8	1668,9
11	2987,12	1677,34
12	2989,68	1679,73
13	2995,15	1679,73
14	2995,15	1539,1

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	2571,28	1539,1
2	2570,51	1603,55
3	2707,34	1620,08
4	2757,82	1623,31
5	2858,53	1640,52
6	2885,21	1654,51
7	2946,8	1668,9
8	2987,12	1677,34
9	2989,68	1679,73
10	2995,15	1679,73
11	2995,15	1539,1

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturato (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.06		29	1800,00	1900		
2			28	1800	1900		
3			33	1800	1900		
4	1		38	1800	1900		

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	2,03
Ascissa centro superficie	2836,16 m
Ordinata centro superficie	1733,56 m
Raggio superficie	88,04 m

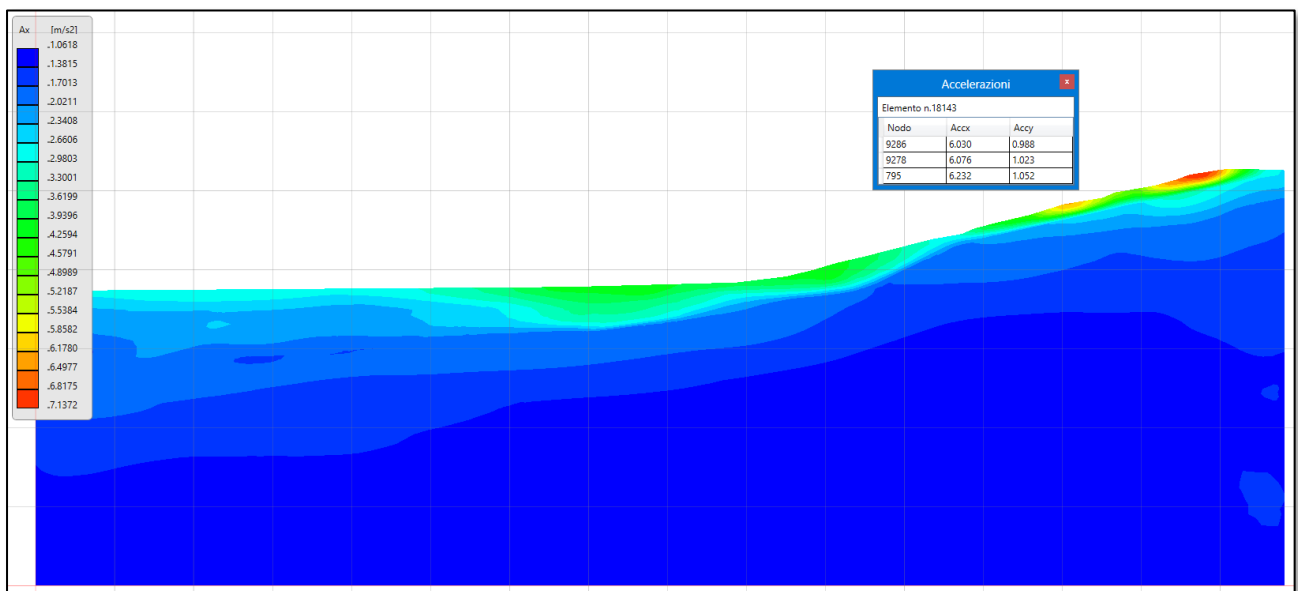
xc = 2836,162 yc = 1733,556 Rc = 88,036 Fs=2,03

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	3,68	-2,83	3,68	1085,06
2	6,74	0,68	6,74	14439,22
3	5,21	4,51	5,22	23241,44
4	5,21	7,93	5,26	30725,47
5	5,21	11,42	5,31	35165,5
6	5,21	14,86	5,39	36606,79
7	5,21	18,41	5,49	34803,23
8	5,21	22,04	5,62	29624,61
9	5,21	25,71	5,78	20801,77
10	5,21	29,57	5,99	8034,77

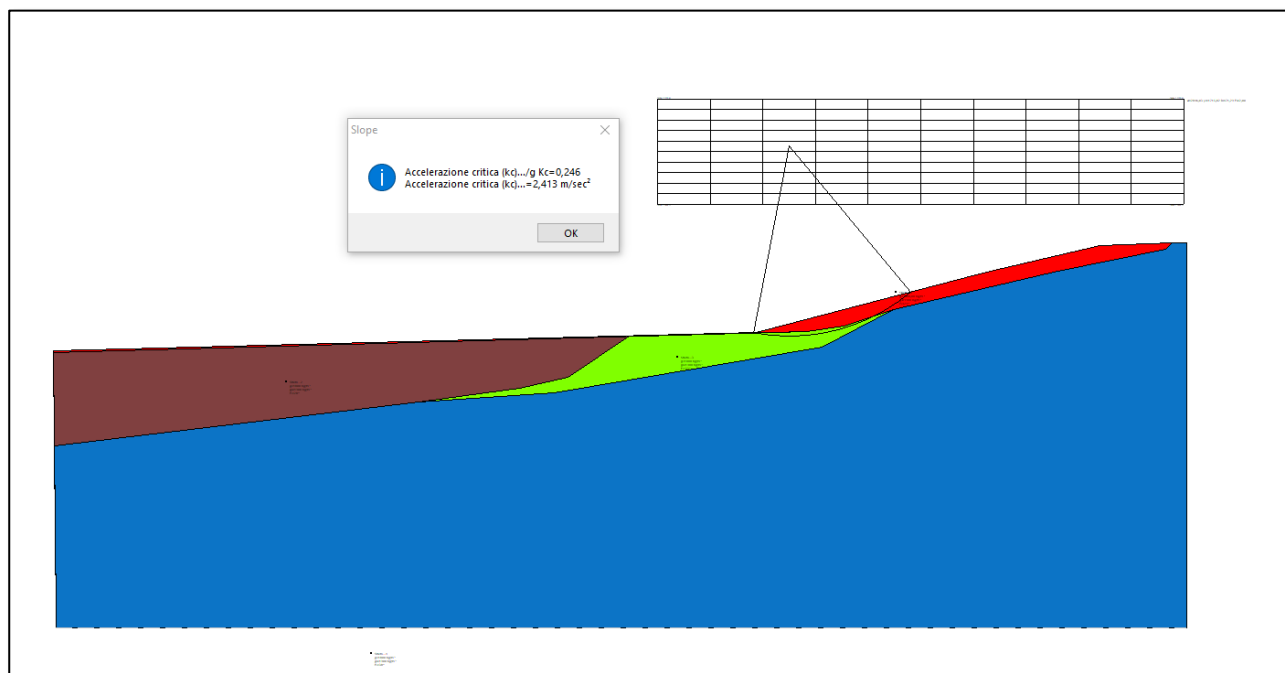
Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	-69,36	342,66	0,0	0,0	1170,63	299,59	0,0
2	-657,58	3809,44	-69,36	342,66	14983,2	3834,57	0,0
3	-1691,96	7717,56	-657,58	3809,44	23869,7	6108,84	0,0
4	-2373,67	10940,56	-1691,96	7717,56	30605,67	7929,07	0,0
5	-2720,03	12263,42	-2373,67	10940,56	34454,98	8782,91	0,0
6	-2723,69	11405,11	-2720,03	12263,42	35482,56	9025,17	0,0
7	-2398,02	8542,09	-2723,69	11405,11	33471,66	8609,74	0,0
8	-1824,79	4491,18	-2398,02	8542,09	28301,31	7510,91	0,0
9	-1102,1	809,92	-1824,79	4491,18	19569,04	5641,57	0,0
10	0,0	0,0	-1102,1	809,92	6377,07	2808,98	0,0

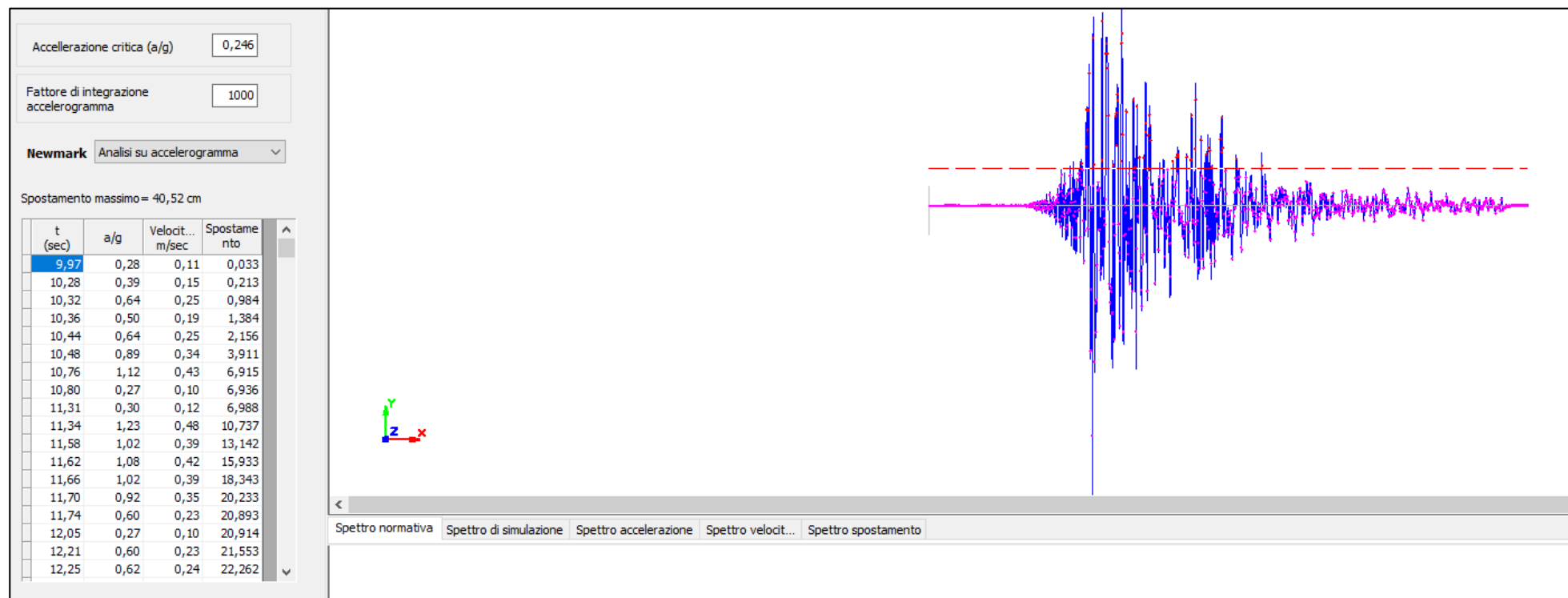
L'accelerazione massima osservabile al suolo, direttamente ricavata da risposta sismica bidimensionale eseguita nella medesima direttrice topografica, ammonta ad oltre 7,0 m/sec².



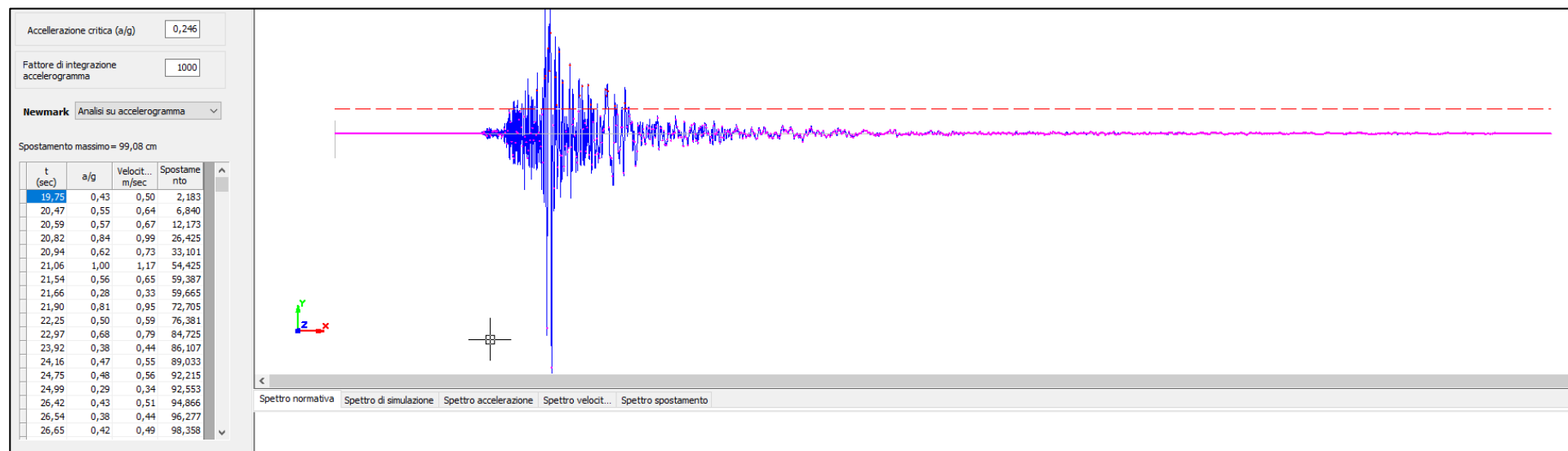
Essendo la locale accelerazione critica circa 2,4 m/sec², appare opportuno eseguire la verifica dinamica inserendo 7 accelerogrammi di input ricavati per lo SLV.



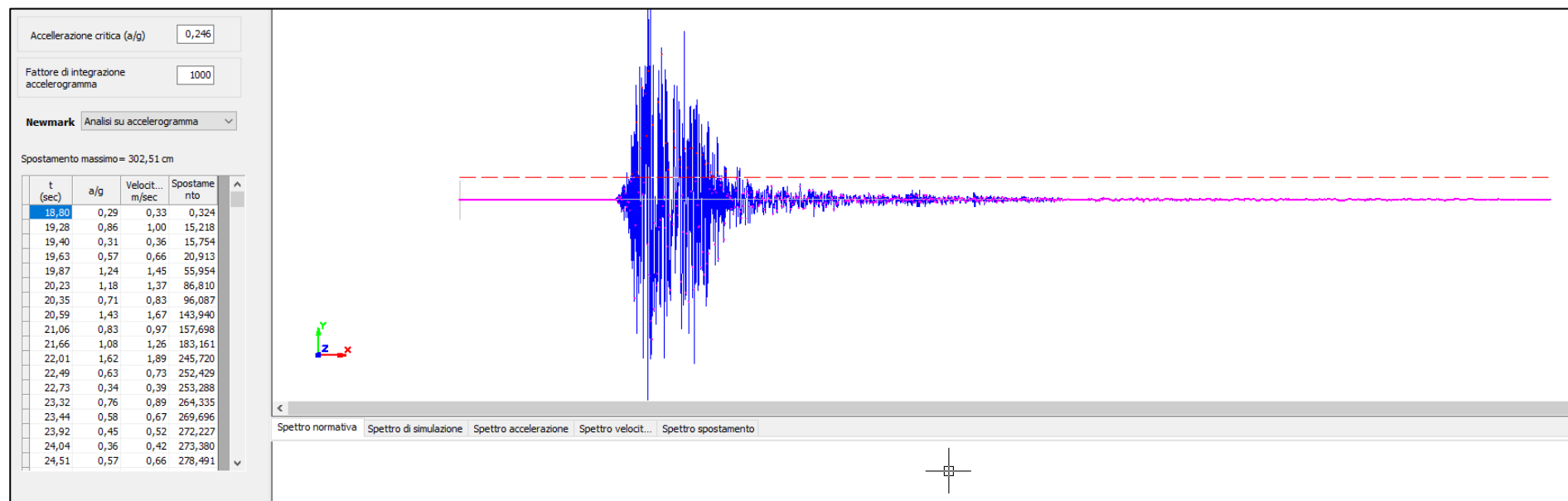
Di seguito gli esiti del calcolo, distinto per ogni accelerogramma importato.



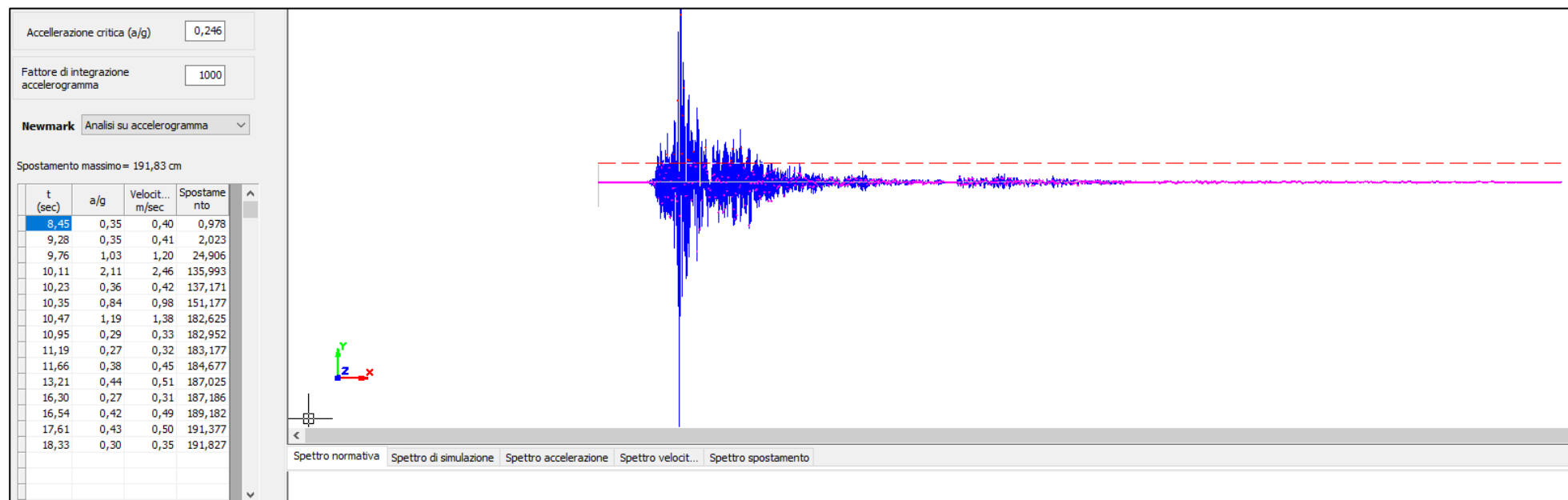
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 1: 40,52 cm



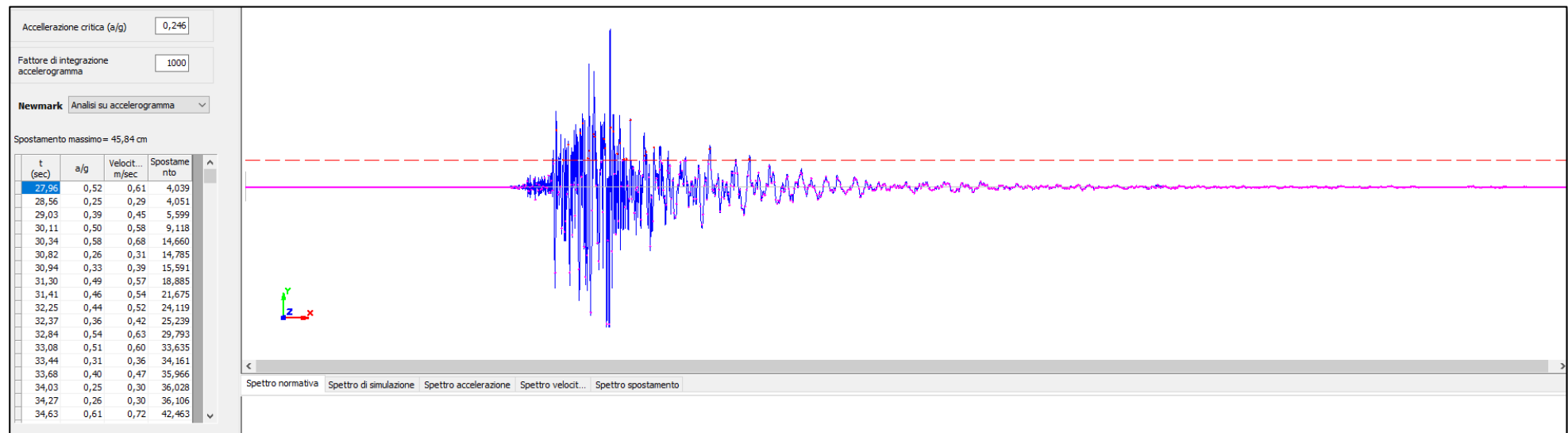
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 2: 99,08 cm



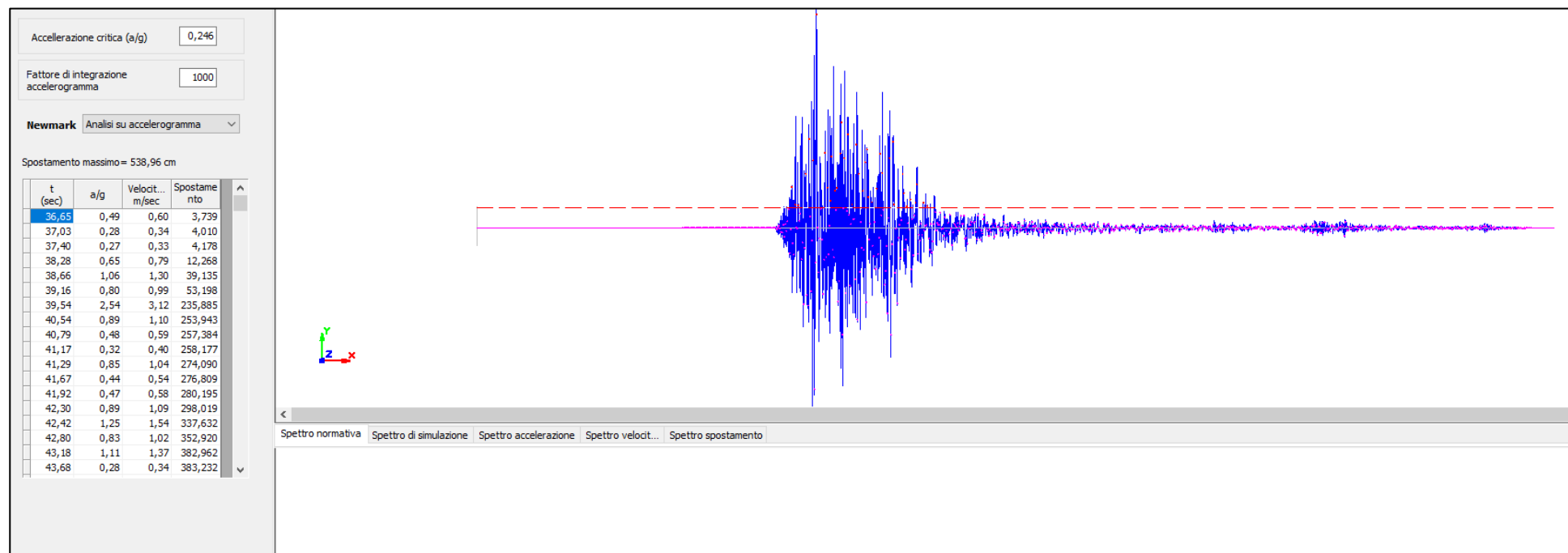
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 3: 302,51 cm



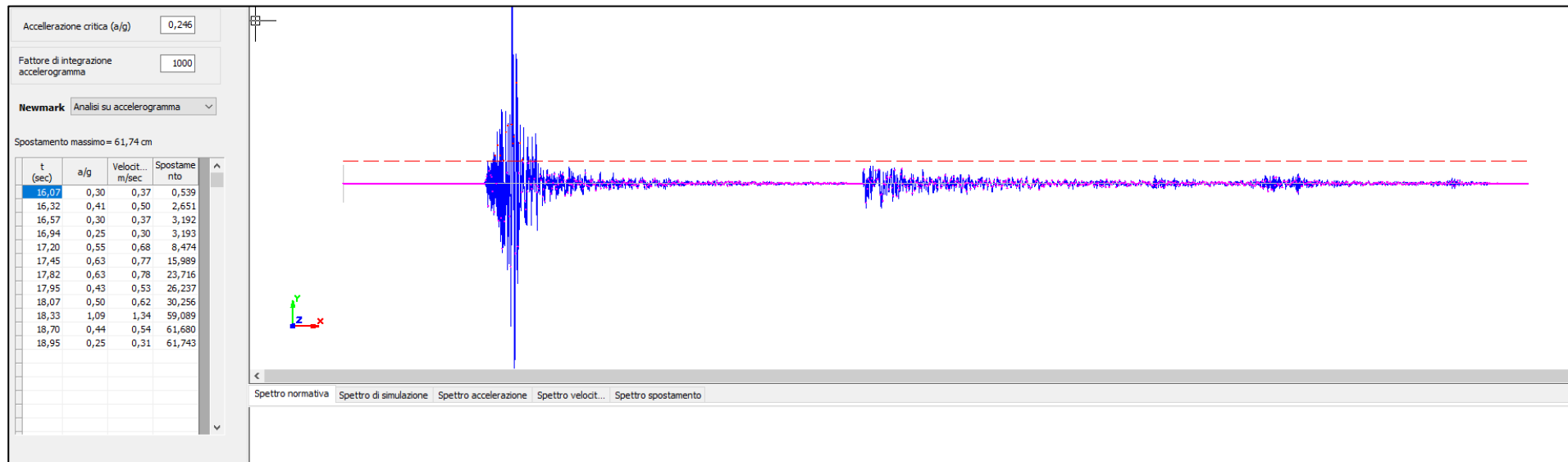
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 4: 191,83 cm



Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 5: 45,84 cm



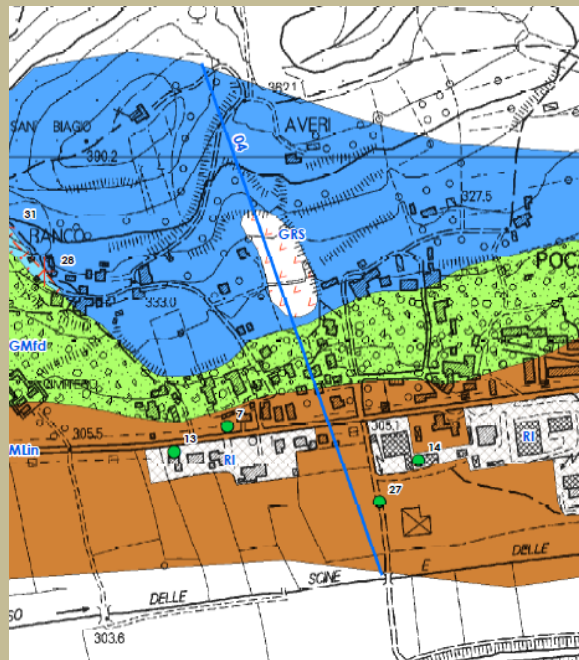
Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 6: 538,96 cm



Spostamento massimo indotto dal sisma di cui all'accelerogramma 7: 61,74 cm

Lo spostamento massimo calcolato nell'ambito della verifica di stabilità dinamica ammonta a 538,96 cm (arrotondato a 539 cm)

Frana in Loc. Pocaia indagata dalla Sezione 04



Analisi di stabilità dei pendii con: SARMA (1973)

Lat./Long.	43,489777/12,090471
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	1887,75 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1887,88 m
Ascissa vertice destro superiore xs	2335,67 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1957,17 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:

E

Categoria topografica:

T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,63	2,44	0,27
S.L.D.	50,0	0,82	2,38	0,27
S.L.V.	475,0	2,04	2,4	0,29
S.L.C.	975,0	2,61	2,42	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,008	0,2	0,0206	0,0103
S.L.D.	1,312	0,2	0,0268	0,0134
S.L.V.	2,9596	0,28	0,0845	0,0423
S.L.C.	3,3707	0,28	0,0962	0,0481

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,0206

Coefficiente azione sismica verticale

0,0103

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	1734,86	1711,71
2	1734,86	1811,71
3	1943,97	1816,72
4	1953,17	1818,35
5	2049,93	1822,82
6	2059,65	1824,4
7	2073,84	1825,8
8	2098,44	1828,5
9	2139,68	1832,52
10	2153,83	1834,45
11	2170,95	1838,32
12	2206,24	1844,26
13	2211,0	1846,05
14	2213,68	1847,83
15	2227,93	1850,39
16	2255,03	1854,25
17	2275,28	1859,16
18	2335,43	1868,23
19	2347,2	1872,84
20	2372,51	1878,42
21	2416,35	1883,21
22	2448,69	1885,36
23	2448,69	1711,71

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	1734,86	1711,71
2	1734,86	1809,95

3	2109,79	1826,63
4	2148,97	1829,02
5	2204,79	1839,86
6	2208,91	1843,4
7	2210,12	1845,72
8	2211,0	1846,05
9	2213,68	1847,83
10	2227,93	1850,39
11	2255,03	1854,25
12	2275,28	1859,16
13	2335,43	1868,23
14	2347,2	1872,84
15	2372,51	1878,42
16	2416,35	1883,21
17	2448,69	1885,36
18	2448,69	1711,71

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	1734,86	1711,71
2	1734,86	1809,95
3	1935,2	1818,86
4	1972,25	1809,8
5	1980,13	1809,66
6	2004,64	1813,09
7	2037,31	1817,35
8	2055,96	1821,98
9	2059,65	1824,4
10	2109,79	1826,63
11	2148,97	1829,02
12	2204,79	1839,86
13	2208,91	1843,4
14	2210,12	1845,72
15	2211,0	1846,05
16	2213,68	1847,83
17	2227,93	1850,39
18	2255,03	1854,25
19	2275,28	1859,16
20	2335,43	1868,23
21	2347,2	1872,84
22	2372,51	1878,42
23	2416,35	1883,21
24	2448,69	1885,36
25	2448,69	1711,71

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	1734,86	1711,71
2	1734,86	1780,49
3	1879,88	1793,72
4	1934,2	1806,05
5	1941,19	1810,24
6	1944,12	1813,42
7	1943,97	1816,72
8	1972,25	1809,8
9	1980,13	1809,66

10	2004,64	1813,09
11	2037,31	1817,35
12	2055,96	1821,98
13	2059,65	1824,4
14	2109,79	1826,63
15	2148,97	1829,02
16	2204,79	1839,86
17	2208,91	1843,4
18	2210,12	1845,72
19	2211,0	1846,05
20	2213,68	1847,83
21	2227,93	1850,39
22	2255,03	1854,25
23	2275,28	1859,16
24	2335,43	1868,23
25	2347,2	1872,84
26	2372,51	1878,42
27	2416,35	1883,21
28	2448,69	1885,36
29	2448,69	1711,71

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.06		29	1800,00	1900		
2			33	1800	1900		
3			28	1800	1900		
4	1		38	1800	1900		

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

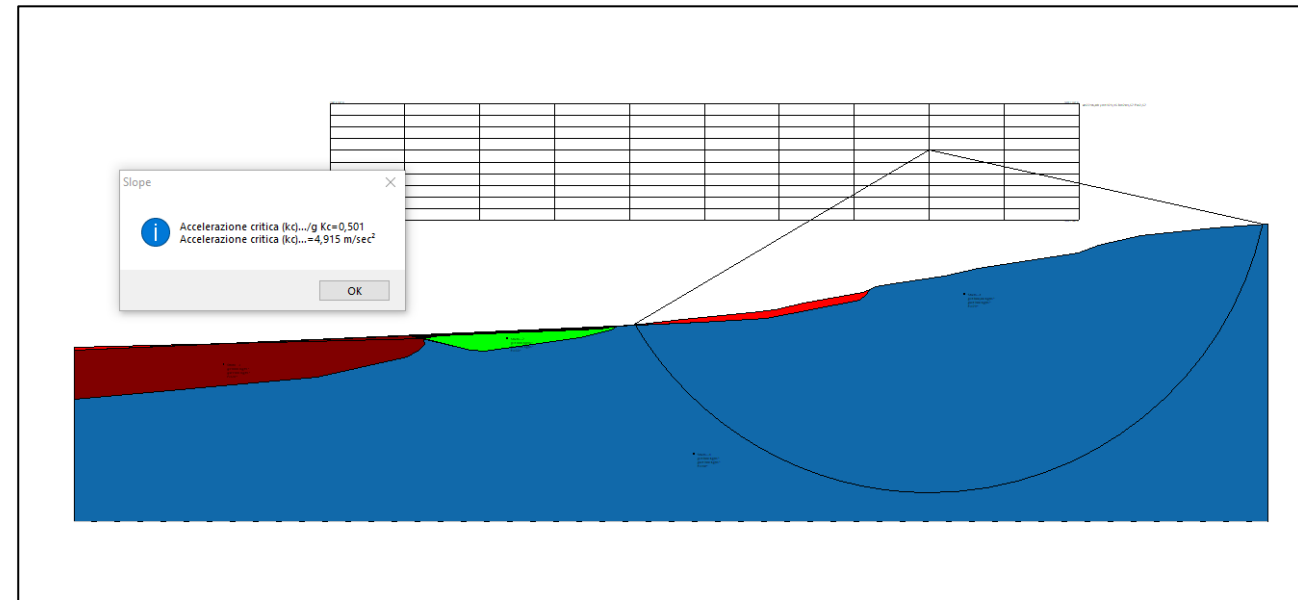
Fs minimo individuato	1,04
Ascissa centro superficie	2268,48 m
Ordinata centro superficie	1905,2 m
Raggio superficie	161,47 m

xc = 2268,48 yc = 1905,202 Rc = 161,472 Fs=1,04

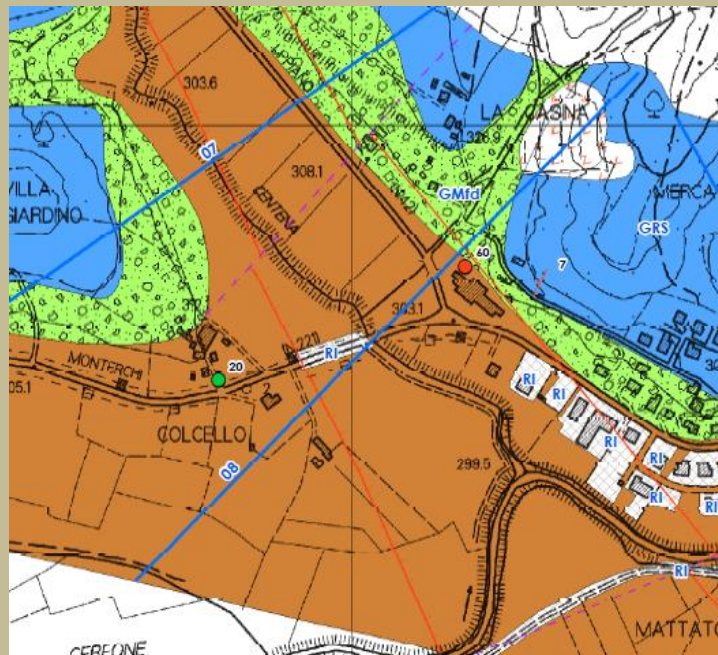
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	14,66	-57,79	27,5	354888,9
2	14,14	-49,08	21,59	875189,4
3	17,12	-41,2	22,76	1630606,0
4	35,29	-29,91	40,71	4853509,0
5	4,76	-21,77	5,13	771199,9
6	2,68	-20,35	2,86	449285,4
7	14,25	-17,19	14,92	2518747,0
8	27,1	-9,66	27,49	5185599,0
9	20,25	-1,18	20,25	4116565,0
10	153,27	42,44	207,68	29498690,0

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	-723485,2	- 129880900,0	0,0	0,0	- 109318900,0	- 70138020,0	0,0
2	- 4430939,0	- 95628230,0	-723485,2	- 129880900,0	28884430,0	18975980,0	0,0
3	- 11628320,0	- 63697780,0	-4430939,0	- 95628230,0	27676620,0	18214270,0	0,0
4	- 26143640,0	- 24947300,0	- 11628320,0	- 63697780,0	36119240,0	23939890,0	0,0
5	- 33748120,0	- 13046070,0	- 26143640,0	- 24947300,0	12192480,0	7948703,0	0,0
6	- 35265500,0	- 10357290,0	- 33748120,0	- 13046070,0	2779440,0	1837996,0	0,0
7	- 36672570,0	-5379522,0	- 35265500,0	- 10357290,0	5223628,0	3601173,0	0,0
8	- 34892750,0	-1790112,0	- 36672570,0	- 5379522,0	3961991,0	2980202,0	0,0
9	- 29143780,0	-2586784,0	- 34892750,0	- 1790112,0	-1648254,0	-752290,8	0,0
10	-1,95	7,32	- 29143780,0	- 2586784,0	-1534781,0	2204477,0	0,0



Frana in Loc. Mercatale indagata dalla Sezione 08



Analisi di stabilità dei pendii con: SARMA (1973)

Lat./Long.	43,490156/12,106452
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3587,98 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1796,84 m
Ascissa vertice destro superiore xs	3819,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1870,11 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:

B

Categoria topografica:

T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,64	2,44	0,27
S.L.D.	50,0	0,83	2,37	0,27
S.L.V.	475,0	2,06	2,4	0,29
S.L.C.	975,0	2,63	2,42	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,768	0,2	0,0157	0,0078
S.L.D.	0,996	0,2	0,0203	0,0102
S.L.V.	2,4686	0,28	0,0705	0,0352
S.L.C.	2,9992	0,28	0,0856	0,0428

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,016

Coefficiente azione sismica verticale

0,008

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	3024,29	1549,22
2	3024,29	1726,44
3	3215,89	1728,31
4	3228,92	1730,28
5	3259,48	1730,25
6	3288,55	1730,29
7	3292,03	1730,05
8	3328,45	1727,11
9	3381,92	1727,36
10	3414,24	1728,09
11	3480,51	1728,09
12	3633,29	1738,89
13	3673,76	1744,03
14	3717,54	1754,44
15	3774,76	1764,04
16	3842,76	1769,91
17	3842,76	1549,22

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	3024,29	1549,22
2	3024,29	1726,44
3	3215,89	1728,31
4	3228,92	1730,28
5	3259,48	1730,25
6	3288,55	1730,29
7	3292,03	1730,05
8	3328,45	1727,11

9	3381,92	1727,36
10	3414,24	1728,09
11	3480,51	1728,09
12	3633,29	1738,89
13	3668,9	1743,41
14	3683,97	1743,19
15	3749,85	1754,47
16	3765,71	1758,08
17	3773,58	1760,91
18	3776,75	1764,21
19	3842,76	1769,91
20	3842,76	1549,22

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	3024,29	1549,22
2	3024,29	1726,44
3	3215,89	1728,31
4	3228,92	1730,28
5	3259,48	1730,25
6	3288,55	1730,29
7	3292,03	1730,05
8	3328,45	1727,11
9	3381,92	1727,36
10	3414,24	1728,09
11	3462,52	1728,09
12	3482,74	1717,2
13	3506,53	1715,09
14	3529,15	1718,46
15	3529,15	1718,46
16	3564,13	1723,12
17	3615,22	1728,91
18	3633,29	1738,89
19	3668,9	1743,41
20	3683,97	1743,19
21	3749,85	1754,47
22	3765,71	1758,08
23	3773,58	1760,91
24	3776,75	1764,21
25	3842,76	1769,91
26	3842,76	1549,22

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	3024,29	1549,22
2	3024,29	1699,41
3	3169,1	1699,41
4	3271,08	1694,83
5	3397,64	1712,31
6	3462,52	1728,09
7	3482,74	1717,2
8	3506,53	1715,09
9	3529,15	1718,46
10	3529,15	1718,46
11	3564,13	1723,12
12	3615,22	1728,91

13	3633,29	1738,89
14	3668,9	1743,41
15	3683,97	1743,19
16	3749,85	1754,47
17	3765,71	1758,08
18	3773,58	1760,91
19	3776,75	1764,21
20	3842,76	1769,91
21	3842,76	1549,22

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.06		29	1800,00	1900		
2			33	1800	1900		
3			28	1800	1900		
4	1		38	1800	1900		

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	2,97
Ascissa centro superficie	3703,49 m
Ordinata centro superficie	1804,17 m
Raggio superficie	53,42 m

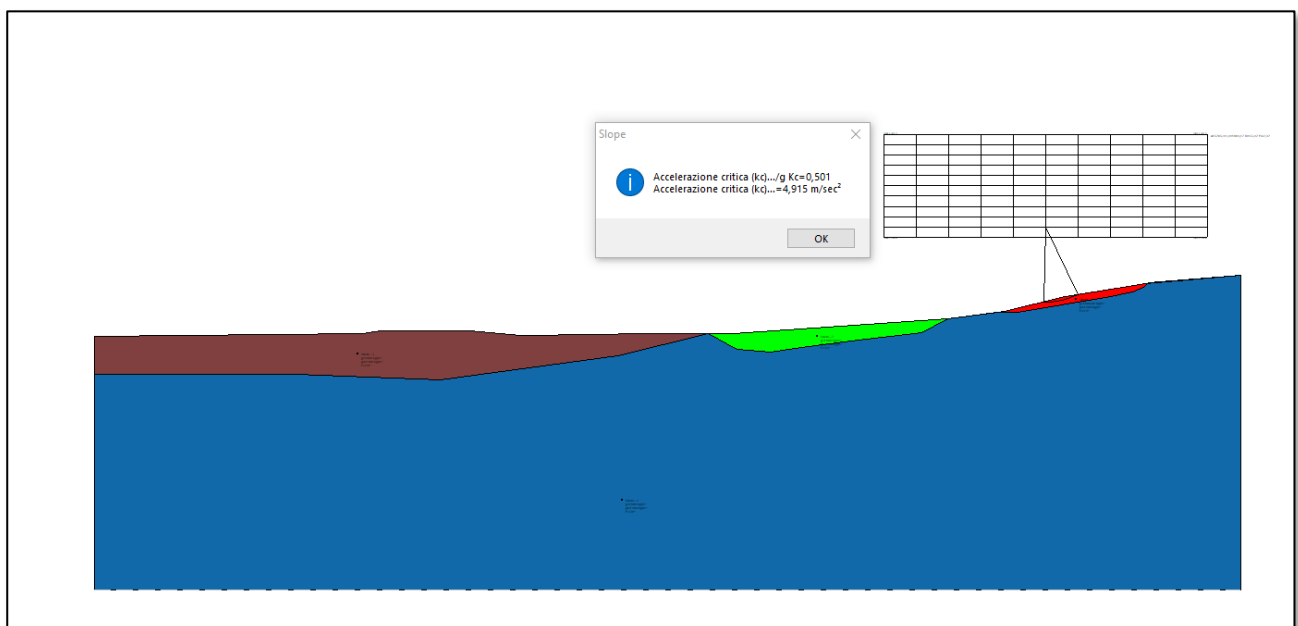
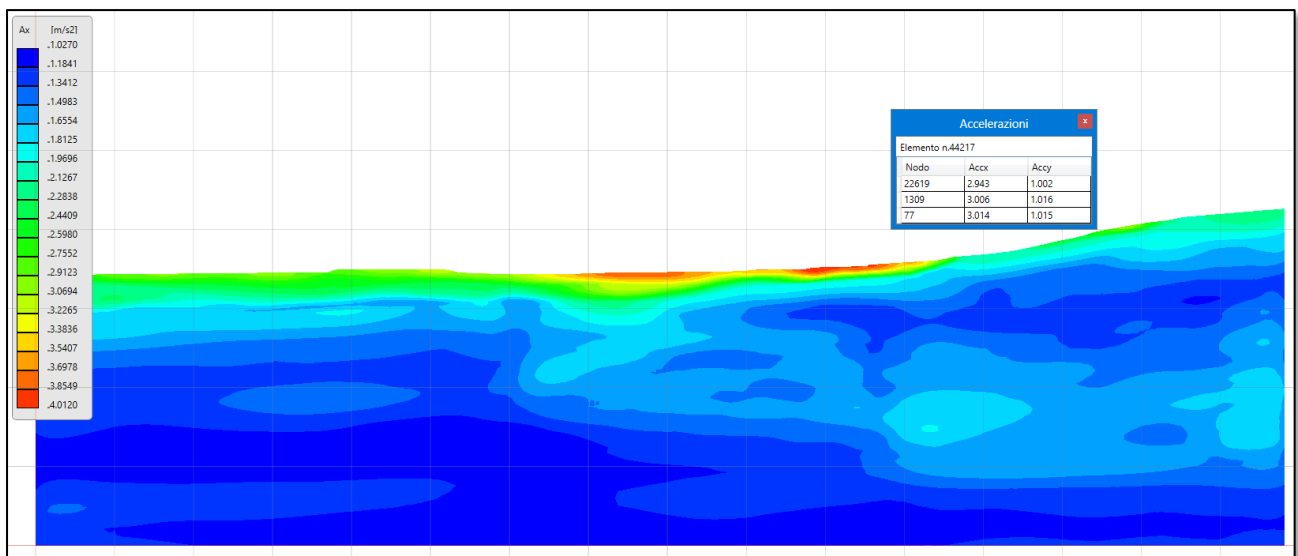
xc = 3703,487 yc = 1804,166 Rc = 53,419 Fs=2,97

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	2,45	-0,04	2,45	1320,67
2	2,45	2,19	2,45	3676,23
3	2,45	5,05	2,46	5576,18
4	2,45	7,7	2,47	6933,79
5	2,45	10,58	2,49	7827,29
6	3,26	13,28	3,35	10893,28
7	1,63	16,35	1,7	5068,96
8	2,45	18,31	2,58	6315,26
9	2,45	21,31	2,63	4220,68
10	2,45	23,85	2,67	1560,94

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	-57,48	580,92	0,0	0,0	1378,55	601,19	0,0
2	-176,63	1334,68	-57,48	580,92	3761,52	957,24	0,0
3	-281,84	1980,28	-176,63	1334,68	5594,64	1232,23	0,0
4	-357,74	2361,08	-281,84	1980,28	6880,65	1426,26	0,0
5	-401,76	2347,17	-357,74	2361,08	7717,1	1554,43	0,0
6	-409,2	1798,22	-401,76	2347,17	10695,35	2138,98	0,0
7	-360,85	1297,96	-409,2	1798,22	4935,57	1011,11	0,0
8	-280,26	536,25	-360,85	1297,96	6126,6	1331,19	0,0
9	-169,55	-36,18	-280,26	536,25	4012,39	1023,42	0,0
10	0,0	0,0	-169,55	-36,18	1247,83	618,59	0,0

L'accelerazione massima osservabile al suolo, direttamente ricavata da risposta sismica bidimensionale eseguita nella medesima direttrice topografica, ammonta a circa 3,0 m/sec².



Essendo la locale accelerazione critica circa $4,9 \text{ m/sec}^2$, appare chiaro come – per la frana in oggetto $K_c > K_h$ eq. ***In questo caso non viene effettuata la valutazione degli spostamenti con forzante sismica: la frana non verrà pertanto riportata nella Carta di Microzonazione Sismica ed in quella delle MOPS, ma il suo perimetro sarà conservato nella Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica.***

15. CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha avuto come obiettivo la rigorosa determinazione dei fattori di amplificazione sismica che si svilupperebbero nelle aree del territorio di Monterchi indagate (Capoluogo, Le Ville, Pocaia, Mercatale e Padonchia). Le suddette aree si sono ben prestate, per conformazione morfologica e sismo-stratigrafica, all'esecuzione di analisi di risposta sismica locale bidimensionale, finalizzata del resto alla determinazione dei fenomeni amplificativi: questi risultano infatti influenzati dagli effetti che si instaurano ai margini di un bacino o comunque al raccordo tra terreni di copertura e substrato.

Sono state così discriminate, all'interno di ogni areale indagato, microzone caratterizzate dallo stesso Fattore di Amplificazione nell'intervallo di periodo 0.1-0.5 sec, e sono state rappresentate nella Carta di Microzonazione Sismica. Il livello 3 di microzonazione sismica ricorre a metodi analitici rigorosi quali, appunto, risposte sismiche locali in assetto bidimensionale.

Le analisi numeriche di risposta sismica locale bidimensionale evidenziano come i fondovalle, ed i raccordi di questi con i rilievi bordieri, siano caratterizzati da fenomeni di amplificazione stratigrafica anche rilevanti. Nel territorio esaminato si ravvisano anche fenomeni di amplificazione per effetti topografici: sono gli alti periodi che mettono in luce, assai più chiaramente, l'occorrenza di tali fenomeni. Il caso certamente più rappresentativo è quello del rilievo su cui sorge l'abitato storico di Monterchi: i fattori di amplificazione, indipendentemente dall'intervallo di periodo considerato, aumentano all'approssimarsi alla sommità della cresta; benché i valori di FA nell'intervallo compreso tra 0.1 e 0.5 secondi si mantengano sostanzialmente contenuti, e peraltro non sempre riferibili ad una Pericolosità Sismica elevata S3 ai sensi del DPGR 5/2020, quelli nell'intervallo di periodi compreso tra 0.7 ed 1.1 secondi assumono invece entità significativamente maggiori.

Il territorio comunale di Monterchi, e segnatamente il settore oggetto del presente studio, è interessato dalla presenza di due strutture tettoniche est-immergenti e considerate attive e capaci: rappresentano infatti la prosecuzione verso sud del ramo più occidentale del sistema tettonico della Faglia di Anghiari. La ricca letteratura disponibile attesta come a queste strutture debba essere attribuita la responsabilità dell'evento sismico del 1917, e le osservazioni macrosismiche immediatamente successive a quell'evento starebbero a dimostrare come le due faglie possano determinare deformazioni superficiali.

Sono state pertanto svolte indagini geofisiche finalizzate alla determinazione dell'esatta posizione delle due strutture tettoniche. Rispetto all'asse della rottura principale sono state poi

tracciate, sulla base di quanto indicato nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci", la Zona di Suscettibilità e la Zona di Rispetto da FAC.

Nell'ambito del presente studio sono state svolte anche verifiche di stabilità in condizioni dinamiche di cinque frane opportunamente caratterizzate da un punto di vista geotecnico. Di tre di queste, in considerazione del superamento da parte del K_h equivalente del $K_{critico}$, è stato calcolato il massimo spostamento sismo-indotto; le tre frane sono state pertanto identificate come zone di rispetto per instabilità di versante. Le altre frane di scorrimento quiescenti non indagate sono state identificate come zone di suscettibilità applicando un ampliamento dei loro limiti geometrici di 10 metri, mentre le due frane non attivabili con la forzante sismica sono state eliminate dalla Carta di Microzonazione Sismica e dalla Carta delle MOPS.

Monterchi, Giugno 2021

Dott. Geol. Paolo Silvestrelli

Dott. Geol. Riccardo Ancillotti

Dott. Geol. Lorenzo Batti

Dott. Geol. Simone Secci

Dott. Geol. Lorenzo Sedda

16. BIBLIOGRAFIA

- Barchi, Ciaccio, 2009. Seismic images of an extensional basin, generated at the hangingwall of a low-angle normal fault. the case of the Sansepolcro basin (Central Italy). *Tectonophysics* 479 (2009) 285-293.
- Barchi, De Feyter, Magnani, Minelli, Piali, Sotera, 1998. Extensional tectonics in the Northern Appennines (Italy): evidence from the CROP 03 deep seismic reflection line. *Mem. Soc. Geol. It.*, 52 (1998), 527-538.
- Benvenuti M., Bonini M., Delle Donne D., Piccardi L., Sani F., Tanini C. (2004): Tectonic control on the development of the Upper Tiber Basin (Northern Appennines, Italy) with special emphasis on the Late Quaternary. 32nd International Geological Congress (Florence, Italy). Poster 198-28.
- Boncio, Brozzetti, Lavecchia, 2000. Architecture and seismotectonics of a regional low-angle normal faultzone in central Italy. *Tectonics*, Vol. 19, No. 6 (2000) 1038-1055.
- Boncio, Lavecchia, 2000. A structural model for active extension in Central Italy. *Journal of Geodynamics* 29 (2000) 233-244.
- Bonini M. (1998): Chronology of deformation and analogue modelling of the Plio-Pleistocene "Tiber Basin": implications for the evolution of the Northern Appennines (Italy). *Tectonophysics*, 285, 147-165.
- Bonini, 2009. Structural controls on a carbon dioxide-driven mud volcano field in the Northern Appennines (Pieve Santo Stefano, Italy): Relations with pre-existing step discontinuities and seismicity. *Journal of Structural Geology* 31 (2009) 44-54.
- Bonini, Corti, Delle Donne, Sani, Piccardi, Vannucci, Genco, Martelli, Ripepe, 2016. Seismic sources and stress transfer interaction among axial normal faults and external thrust fronts in the Northern Appennines (Italy). a working hypothesis based on the 1916-1920 time-space cluster of earthquakes. *Tectonophysics* 680 (2016) 67-89.
- Brozzetti, Boncio, Lavecchia, Pace, 2009. Present activity and seismogenetic potential of a low-angle normal fault system (Città di Castello, Italy): constraints from surface geology, seismic reflection data and seismicity. *Tectonophysics* 463 (2009) 31-46.
- Cattuto, Cencetti, Fisauli, Gregori, 1995. I bacini pleistocenici di Anghiari e Sansepolcro nell'alta Valle del Tevere. *Il Quaternario* 8(1), 1995, 119-128.
- Ciaccio, Pondrelli, Frepoli, 2006. Earthquake fault-plane solutions and patterns of seismicity within the Umbria Region, Italy. *Annals of Geophysics*, Vol. 49, No. 4/5, 987-1002.
- Collettini, Barchi, 2002. A low-angle normal fault in the Umbria regione (Central Italy): a mechanical model for the related microseismicity. *Tectonophysics* 359 (2002) 97-115.
- Collettini, De Paola, Holdsworth, Barchi, 2006. The development and behaviour of low-angle normal faults during Cenozoic asymmetric extension in the Northern Appennines, Italy. *Journal of Structural Geology* 28 (2006) 333-352.
- Dario Delle Donne, 2004. Tettonica attiva dell'Appennino Settentrionale nel settore compreso tra l'Appennino Pistoiese e l'alta Val Tiberina. Università degli Studi di Firenze. Tesi di dottorato non pubblicata.

Delle Donne, Piccardi, Odum, Stephenson, Williams, 2007. High-resolution shallow reflection seismic image and surface evidence of the Upper Tiber Basin active faults (Northern Apennines, Italy). Boll. Soc. Geol. It., Vol. 126, No. 2 (2007) 323-331.

D'Intinosante V. - Ufficio prevenzione sismica, settore sismica - Regione Toscana - Indicazioni sulla valutazione dell'amplificazione sismica in riferimento agli studi di microzonazione sismica di III livello in Regione Toscana.

Finetti, Boccaletti, Bonini, Del Ben, Geletti, Pipan, Sani, 2001. Crustal section based on CROP seismic data across the North Tyrrhenian-Northern Apennines-Adriatic Sea. Tectonophysics 343 (2001) 135-163.

Mirabella F., Brozzetti F., Lupattelli A., Barchi M.R. (2011): Tectonic evolution of a low-angle extensional fault system from restored cross-sections in the Northern Apennines (Italy). Tectonics, vol. 30, TC6002.

Oddone E. (1918): Il terremoto dell'Alta Valle del Tevere del 26 Aprile 1917. Boll. Soc. geol. It., 21, 9-27.

Piccinini, Cattaneo, Chiarabba, Chiaraluce, De Martin, Di Bona, Moretti, Selvaggi, Augliera, Spallarossa, Ferretti, Michelini, Govoni, Di Bartolomeo, Romanelli, Fabbri, 2003. A microseismic study in a low seismicity area of Italy: the Città di Castello 2000-2001 experiment. Annals of geophysics, Vol. 46 N. 6 Dicembre 2003.

Piccinini D., Piana Agostinetti N., Roselli P., Ibs-von Seht M., Braun T. (2009): Analysis of small magnitude seismic sequence along the Northern Apennines (Italy). Tectonophysics, 476, 136-144.

Plesi G., Piali G., Damiani A.V. (direttore del rilevamento): Sezione 289090 del foglio 289-Città di Castello-Carta Geologica Regionale. Riferimento web: <http://web.rete.toscana.it/pta/servlet/Scarica?foglio=289>.

Plesi G., Piali G., Damiani A.V. (direttore del rilevamento): Sezione 289100 del foglio 289-Città di Castello-Carta Geologica Regionale. Riferimento web: <http://web.rete.toscana.it/pta/servlet/Scarica?foglio=289>.

Sani, Bonini, Piccardi, Vannucci, Delle Donne, Benvenuti, Moratti, Corti, Montanari, Sedda, Tanini, 2009. Late Pliocene-Quaternary evolution of outermost hinterland basins of the Northern Apennines (Italy), and their relevance to active tectonics. Tectonophysics 476 (2009).

Valensise G. & Pansosti D. (Eds) (2001): Database of potential sources for earthquakes larger than M 5,5 in Italy. Ann. Geofis., Suppl. Vol., 47 (1).