

REGIONE  
ABRUZZO



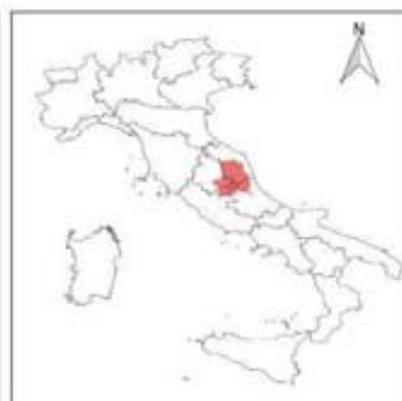
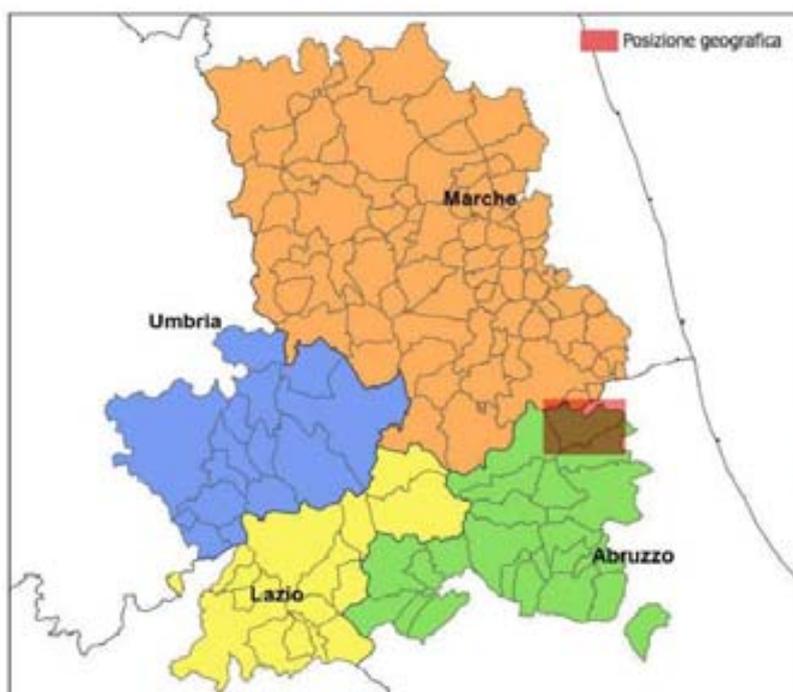
**COMMISSARIO STRAORDINARIO  
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016**

Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Civitella del Tronto ai sensi  
dell'Ordinanza dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata  
il 15 maggio 2015 al n. 1065

## MICROZONAZIONE SISMICA

### Relazione Illustrativa

#### Regione Abruzzo Comune di Civitella del Tronto



Soggetto Realizzatore

Dott. Geol. Andrea Marziale

Data e revisione

**CENTROMS**

CENTRO PER LA  
MICROZONAZIONE SISMICA  
E LE SUE APPLICAZIONI

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
1.1	Finalità degli studi .....	3
1.2	Riferimenti normativi .....	4
1.3	Descrizione generale dell'area comunale.....	5
1.3.1	Inquadramento geografico e altimetrico.....	5
1.4	Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio .....	6
1.5	Aree da sottoporre agli studi di MS 3 .....	7
<b>2</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>13</b>
2.1	Sismicità storica dell'area di studio .....	15
2.2	Sismicità recente dell'area di studio.....	18
2.3	Pericolosità sismica di base .....	18
<b>3</b>	<b>ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....</b>	<b>22</b>
3.1	Inquadramento geologico .....	22
3.1.1	Inquadramento strutturale .....	25
3.2	Assetto geomorfologico .....	28
3.2.1	Principali elementi geomorfologici riportati nella Carta geologico-tecnica .....	28
3.3	Assetto stratigrafico .....	31
3.3.1	Flysch della Laga .....	31
3.3.2	Depositi terrigeni tardo-orogenici .....	33
3.3.3	Depositi continentali .....	34
3.4	Elementi tettonici .....	39
3.5	Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale .....	41
<b>4</b>	<b>DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....</b>	<b>43</b>
4.1	Dati pregressi .....	43
4.1.1	Indagini geotecniche .....	43
4.1.2	Indagini geofisiche .....	43
4.2	Dati acquisiti ex-novo .....	44
4.2.1	Descrizione del piano delle indagini .....	44
<b>5</b>	<b>MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS .....</b>	<b>49</b>
5.1	Zona pedemontana .....	49
5.2	Area collinare interna .....	49
5.3	Zona collinare esterna .....	49
5.4	Area di pianura .....	50
5.5	Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione .....	50
5.6	Sezioni geologico-tecniche .....	51
<b>6</b>	<b>INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI .....</b>	<b>54</b>
7.1	Zone stabili suscettibili di amplificazione .....	54
7.1.1	Scelta dell'input sismico.....	55
7.1.2	Simulazioni numeriche monodimensionali 1D .....	58
7.1.3	Simulazioni numeriche bidimensionali 2D.....	128
7.2	Zone instabili .....	137
<b>8</b>	<b>ELABORATI CARTOGRAFICI.....</b>	<b>138</b>
8.1	Carta delle indagini (CI) .....	138
8.2	Carta delle frequenze naturali dei terreni .....	140
8.3	Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT_MS) .....	141
8.4	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) .....	143
8.5	Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 .....	148
8.5.1	Definizione della categoria di sottosuolo e indicazione del valore di $V_s30$ .....	150
8.6	Commenti finali e criticità .....	150
<b>9</b>	<b>CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI .....</b>	<b>151</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>152</b>
<b>11</b>	<b>ALLEGATI</b>	

# 1 INTRODUZIONE

## 1.1 FINALITÀ DEGLI STUDI

La finalità della presente relazione è quella di illustrare i risultati dello “Studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 condotto su alcune aree del territorio comunale di Civitella del Tronto”, sulle more dell’art. 1 del Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017, convertito con modificazioni dalla Legge 7 aprile 2017, n. 45. Il Comune di Civitella del Tronto è infatti inserito nell’Allegato 3 dell’Ordinanza del Commissario straordinario n. 24 registrata il 15/05/2017 al n. 1065.

Lo studio, oggetto di apposita convenzione tra il Comune di Civitella del Tronto (Ente attuatore) e il sottoscritto (Affidatario), ed è stato svolto in coordinamento con il Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni (di seguito CentroMS) del CNR, che ha avuto funzioni di supporto, elaborazione e verifica dei risultati.

Il terzo livello di approfondimento si applica nelle zone instabili e in quelle stabili suscettibili di amplificazioni locali. Il livello 3 di MS consente di associare valori dei fattori di amplificazione FA e spettri medi di risposta alle zone stabili soggette ad amplificazione definite nel livello 1, fornendo così una scala di pericolosità sismica locale.

Lo studio è stato realizzato secondo gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008 e successivi aggiornamenti) e prodotto secondo gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS (Standard Versione 4.0b).

Esso è finalizzato a quantificare la pericolosità sismica locale delle microzone, con particolare riferimento alle aree stabili, alle aree stabili suscettibili di amplificazione e alle aree instabili, e alla redazione delle Carte di microzonazione sismica di livello 3 alla scala 1:5.000.

Si sono realizzate analisi di risposta sismica locale monodimensionale (1D) e bidimensionale (2D), effettuate su verticali e sezioni rappresentative, in numero adeguato per poter caratterizzare le tipologie di microzona individuate nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

I risultati delle analisi numeriche sono restituiti in termini di accelerogrammi calcolati in superficie ed elaborati in termini di fattori di amplificazione in pseudoaccelerazione calcolati per prefissati intervalli di periodi (0.1-0.5 s; 0.4-0.8 s; 0.7-1.1 s), nonché di spettri di risposta in accelerazione al 5% di smorzamento.

L’insieme delle attività finalizzate alla realizzazione dello studio di MS di livello 3 sono state eseguite dallo scrivente in coordinamento con il Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni (di seguito CentroMS) del CNR, che ha avuto funzioni di supporto tecnico-scientifico, elaborazione e verifica dei risultati, secondo quanto previsto dal Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017 (*Nuovi interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici del 2016 e del 2017*) convertito, con modificazioni, dalla Legge 7 aprile 2017, n. 45.

Lo studio è stato condotto in accordo alle più recenti disposizioni normative e le attività di ricerca sono state articolate nel seguente modo:

- definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi sismici di riferimento per il Comune di Civitella del Tronto;
- inquadramento geologico, geomorfologico e litologico dell’area in esame;

- raccolta di indagini geotecniche e geofisiche pregresse;
- pianificazione ed esecuzione di una campagna di 3 sondaggi geognostici, 3 prove sismiche di tipo Down Hole, 7 prove sismiche di tipo MASW e 33 misure del rumore ambientale con metodo a stazione singola (HVSR), indagine georadar;
- realizzazione di una banca dati contenente tutte le indagini geognostiche disponibili in accordo agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la microzonazione sismica versione 4.0b";
- interpretazione in chiave litostratigrafica delle prove geotecniche e dei sondaggi;
- interpretazione delle prove geofisiche ai fini della definizione del bedrock sismico;
- definizione, per ogni verticale delle analisi 1D, del profilo geotecnico di riferimento e dei principali parametri meccanici;
- stima della possibile amplificazione sismica locale per 9 siti definiti dal Centro MS e dall'Amministrazione Comunale;
- redazione degli elaborati richiesti, secondo gli standard di rappresentazione grafica e archiviazione informatica previsti dagli "Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica".

## 1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI.

Legge 2 febbraio 1974, n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Legge 10 dicembre 1981, n. 741, Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 11 marzo 1988, Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Legge 24 febbraio 1992, n. 225, Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Decreto del Ministro dell'interno 13 Febbraio 2001, Adozione dei "Criteri di massima per l'organizzazione dei soccorsi sanitari nelle catastrofi" (pubblicati nella G.U. n. 116 del 12 maggio 2001).

Decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112, Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59.

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.

Legge 9 novembre 2001, n. 401, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, recante disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di protezione civile.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Legge 27 luglio 2004, n. 186, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, "Disposizioni urgenti per garantire la funzionalità di taluni settori della pubblica amministrazione.

Disposizioni per la rideterminazione di deleghe legislative e altre disposizioni connesse".

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni.

Decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008, Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni.

Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017 (*Nuovi interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici del 2016 e del 2017*), convertito con modificazioni dalla Legge 7 aprile 2017, n. 45.

Ordinanza del Commissario straordinario n. 24 registrata il 15/05/2017 al n. 1065.

### 1.3 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA COMUNALE

Il Comune di Civitella del Tronto (codice ISTAT 67017) si trova in Provincia di Teramo e ha una superficie di circa 77,5 Km<sup>2</sup> e consta di 30 frazioni: Borrano, Carosi, Cerqueto del Tronto, Collebigliano, Collevirtù, Cornacchiano, Favale, Fucignano, Gabbiano, Le Casette, Lucignano, Mucciano, Pagliericcio, Palazzese, Piano Risteccio, Piano San Pietro, Ponzano, Ripe, Rocche, Sant'Andrea, Sant'Eurosia, Santa Croce, Santa Reparata, Tavolaccio, Valle Sant'Angelo, Villa Chierico, Villa Lempa, Villa Notari, Villa Selva, Villa Passo.

Le Frazioni di Villa Carosi e in parte di Ponzano sono state pesantemente compromesse dagli eventi sismici e meteorologici del 2017 e, pertanto, gli abitanti saranno delocalizzati in aree esterne a quelle perimetrate a rischio R4.

#### 1.3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E ALTIMETRICO

La fisiografia del territorio comunale di Civitella del Tronto è piuttosto articolata e, in generale, caratterizzata da tre macro aree orograficamente omogenee: prima, più occidentale, essenzialmente montuosa, la seconda collinare che si raccorda più o meno dolcemente con i rilievi montuosi attraverso una stretta fascia pedemontana, la terza di pianura impostata nei fondivalle dei principali corsi d'acqua.

##### 1.3.1.1 Area montana

La zona montana è rappresentata da una dorsale di natura carbonatica ad andamento appenninico, all'incirca nord-sud, che si sviluppa dal confine nord con Ascoli Piceno fino a ridosso del settore centrale (Corno Grande) della catena del Gran Sasso (Adamoli, 1993). Il territorio in esame ricade la parte più settentrionale ed elevata della dorsale, costituita dalla Montagna dei Fiori, che culmina con Monte Girella (1814 m), e dalla "Montagna di Campi", che culmina con Monte Foltrone (1718 m). Le due montagne che costituiscono i cosiddetti "Monti Gemelli" sono separate tra loro dalla profonda gola del Salinello, che assume nella parte finali i caratteri di un canyon, con un fondo valle largo circa 3 m, limitato da pareti molto ripide, talora strapiombanti, alte diverse decine di metri.

L'area montana è esclusa dal lavoro di microzonazione sismica.

### 1.3.1.2 Area pedemontana

---

Immediatamente ad est dei rilievi si sviluppa una stretta zona pedemontana che funge da raccordo tra l'area montuosa e quella collinare. Nella porzione meridionale essa è divisa da quella collinare dal fiume Salinello che all'uscita dai Monti Gemelli, all'altezza di le Ripe, devia bruscamente verso nord.

L'area pedemontana è incisa da diversi fossi ad andamento all'incirca est-ovest che determinano valli piuttosto strette, con un alveo incassato e versanti particolarmente acclivi.

### 1.3.1.3 Area collinare

---

Ai piedi della fascia pedemontana si sviluppa l'area collinare divisibile in una zona più interna, di alta collina, e una zona più esterna, di bassa collina.

La zona collinare più interna presenta profili spesso aspri e si sviluppa tra i 680 m e i 550 m circa. Comprende i rilievi di Rocche (671 m), Colle San Nicola (653 m) Civitella (588) e Monte Santo (544 m).

Questi ultimi tre rilievi sono caratterizzati dalla presenza di scarpate legate alla presenza al tetto di una placca travertinoso.

Il fiume Salinello ed alcuni suoi affluenti come il T. Stregone, incidono i potenti depositi alluvionali tardopleistocenici, creando profonde scarpate sub-verticali ad evoluzione relativamente rapida.

Ad est del capoluogo, la fascia collinare esterna è caratterizzata da dorsali che hanno un andamento all'incirca SW-NE, tra i 200 e i 500 metri s.l.m.. Le valli fluviali tendono via via a divenire più ampie con versanti acclivi che si addolciscono verso oriente.

### 1.3.1.4 Area di pianura

---

La porzione nord-est del territorio, su cui si sviluppa l'abitato della Frazione di Villa Lempa, si caratterizza per la presenza di una estesa conoide alluvionale che conferisce all'area una morfologia sub pianeggiante leggermente degradante verso nord-est. Si tratta di sedimenti alluvionali organizzati in un corpo di conoide lobata, in cui è possibile osservare da monte verso valle una progressiva diminuzione della granulometria e un progressivo assottigliamento dei terreni granulari posti a tetto dei depositi colluviali, che ben oltre l'abitato di Villa Lempa tendono a scomparire.

Pianure di origine alluvionale sono presenti nella zona di Piano Risteccio, Villa Passo e nell'estrema porzione orientale del territorio, a sud-est della Frazione di Favale.

## 1.4 DEFINIZIONE DEI DOCUMENTI DI BASE UTILIZZATI NELLO STUDIO

La cartografia di base utilizzata è la CTR della Regione Abruzzo (Sez. 326152, 326162, 326163, 327132, 327133, 327143, 338031, 338041, 338042, 338043, 338044, 338081, 338084, 339011, 339012, 339013, 339014, 339024, 339054), scaricata dal link: <http://opendata.regione.abruzzo.it/content/ctrn-regione-abruzzo-15000>. Essendo tale cartografia nel sistema Gauss Boaga fuso EST è stata poi trasformata in WGS84UTM33N.

La banca dati dei dati geognostici acquisiti con il livello 1 della microzonazione sismica è stata aggiornata con i dati derivanti da:

- Provincia di Teramo:

- ✓ Strada Provinciale Ponzano Civitella del Tronto (Segeo Perforazioni di U. Biferi, agosto 1998)
- ✓ Relazione geologica su S.P. 8 del Salinello – Ponzano – Civitella del Tronto (TE) “Consolidamento tratti stradali” (Pompili, aprile 2016).
- Comune di Civitella del Tronto:
  - ✓ Indagine geognostica nelle Frazioni Borrano, Ponzano e Villa Carosi – Rapporto finale d’indagine (GEO di Taddei B. & C., Luglio-Settembre 2003).
  - ✓ Relazione geologica allegata al Progetto definitivo dei Lavori di consolidamento, risanamento e mitigazione del Rischio Idrogeologico nelle Frazioni di Borrano Ponzano e Villa Carosi – II Lotto – (Iezzi, giugno 2004).
  - ✓ Relazione geologica allegata al Progetto definitivo dei Lavori di consolidamento, risanamento e mitigazione del Rischio Idrogeologico nelle Frazioni di Borrano Ponzano e Villa Carosi – III Lotto – (Iezzi, giugno 2005).
  - ✓ INDAGINI GEOTECNICHE - GEOGNOSTICHE – GEOFISICHE per la “Caratterizzazione geotecnica e geofisica dei terreni di fondazione Fortezza Borbonica” (INGEO Sas di D’Ambrosio R. & C., marzo 2017).
  - ✓ Report di sintesi delle risultanze dei sopralluoghi, del monitoraggio e delle attività di analisi del dissesto che ha interessato l’abitato di Ponzano, nel Comune di Civitella del Tronto (Protezione Civile Nazionale-Terremoto Centro Italia Struttura di Missione “Sisma Centro Italia” – Università degli Studi di Firenze – DST Dipartimento di Scienze della Terra Centro di Competenza del Servizio Nazionale della Protezione Civile – IRPI, giugno 2017).
- Risultati delle indagini geognostiche di Professionisti operanti sul territorio.

## 1.5 AREE DA SOTTOPORRE AGLI STUDI DI MS 3

Le aree che il Centro MS e l’Amministrazione comunale hanno scelto per l’approfondimento del livello 3 dello studio di MS sono, procedendo da ovest verso est, le seguenti: Rocca Ischiano, Rocca Ceppino, Centro storico<sup>1</sup>, Santa Maria dei Lumi, Ponzano<sup>1</sup>, Borrano<sup>1</sup>, Sant’Eurosia, Santa Croce e Lucignano.

### **Rocca Ischiano**

La Frazione di Rocca Ischiano sorge a circa 525 metri sul livello del mare, a sud ovest del Centro storico di Civitella del Tronto. Si tratta di una sella a morfologia sub pianeggiante, compresa tra il colle La Morge (586 m), a sud, e il colle di San Nicola (651 m), a nord nord-est.

Il centro abitato ha un’estensione complessiva di circa 13.283 m<sup>2</sup> ed è rappresentato da edifici residenziali risalenti soprattutto al 1970. La maggior parte si sviluppa su due/tre livelli.

Presenta estesamente il substrato sub affiorante, rappresentato dall’Associazione pelitico arenacea della Formazione della Laga “LAG 5b”.

---

<sup>1</sup> Aree in cui erano stati richiesti approfondimenti nel Livello 1

### ***Rocca Ceppino***

La Frazione di Rocca Ceppino sorge a circa 487 metri sul livello del mare, a sud ovest del Centro storico di Civitella del Tronto. Si trova in cima a una modesta dorsale orientata in senso nord-sud, tra due tributari del T. Misigliano.

Il centro abitato ha un'estensione complessiva di circa 14.082 m<sup>2</sup> ed è rappresentato da edifici residenziali risalenti soprattutto al 1970. La maggior parte si sviluppa su due/tre livelli.

Presenta estesamente il substrato sub affiorante, rappresentato dall'Associazione pelitico arenacea della Formazione della Laga "LAG 5b".

### ***Centro Storico***

Con lo studio di livello 1 della MS erano stati richiesti approfondimenti per la valutazione di potenziali effetti amplificativi e per l'individuazione delle cavità sotterranee che è stato effettuato con l'ausilio di un georadar.

Il centro storico di Civitella del Tronto si sviluppa sul versante meridionale di una dorsale collinare orientata in senso WSW – ENE, tra le quote 560 m – 610 m circa, in cui sono affioranti i depositi travertinosi (tra) che poggiano sull'Associazione pelitico arenacea della Formazione della Laga "LAG 6a". Si tratta di peliti marnoso argillose dal colore grigiastro, in strati medio-spessi mal definiti, alternati a strati medio-spessi di torbidite arenaceo-pelitiche e arenacee.

Il versante occidentale presenta un pronunciato dislivello e si affaccia sulla valle del torrente Salinello, il corso d'acqua più importante dell'area, che nel tratto ha un andamento all'incirca Sud – Nord.

Il centro abitato è rappresentato da edifici residenziali, edifici pubblici, edifici turistici, chiese, risalenti nella maggior parte a prima del 1919. La maggior parte si sviluppa su due, massimo tre livelli. Alcuni si sviluppano anche su quattro o più livelli.

### ***Colle Santa Maria dei Lumi***

Il tratto collinare che culmina con il Colle di Santa Maria dei Lumi, appena ad est della dorsale collinare su cui sorge il centro storico, funge da spartiacque tra i fossi a vergenza occidentale da quelli a direttrice orientale.

L'abitato che si sviluppa sul versante occidentale della collina di Colle Santa Maria dei Lumi ha un andamento all'incirca NW – SW e si estende tra le quote 535 m e 565 m. Si tratta di un edificato soprattutto recente, che si è andato sviluppando dagli inizi del 1980.

È affiorante o sub affiorante un'associazione pelitico arenacea riconducibile alla Formazione della Laga che da ovest verso est è rappresentata dalle associazioni: LAG6a, LAG6b, LAG6c. Nella porzione più occidentale i terreni del substrato sono coperti da una spessa coltre colluviale.

### ***Ponzano***

Con lo studio di livello 1 della MS era stato richiesto un approfondimento per approfondire l'instabilità geomorfologica che interessa parte dell'abitato.

La Frazione di Ponzano sorge a circa 365 metri sul livello del mare, a nord Est del Centro storico di Civitella del Tronto. La perimetrazione del centro abitato ha un'estensione di 45.503 m<sup>2</sup>. L'edificato storico sorge

a mezza costa, su di un blando versante collinare che dal colle di “la Crocetta” (450 m) degrada verso i quadranti sud-orientali, verso il fosso “il Goscio”.

Il centro abitato storico è rappresentato da edifici residenziali risalenti soprattutto agli anni '60-'70. La maggior parte si sviluppa su due livelli.

Il nucleo abitato principale ricade in parte all'interno di un'area interessata da un fenomeno franoso che si estende anche oltre il nucleo storico e l'area perimetrata, e che si è riattivato in data 12 febbraio 2017, coinvolgendo una porzione della SP n. 8 e circa 25 edifici ad uso abitativo.

L'analisi dei dati del satellite RADARSAT-1, disponibili per il periodo 2003-2009, mostra una sostanziale stabilità nell'area perimetrata in cui è situato l'edificato storico di Ponzano. Detta stabilità è confermata anche dai dati dei satelliti Sentinel-1, disponibili per il periodo 2014-2017.

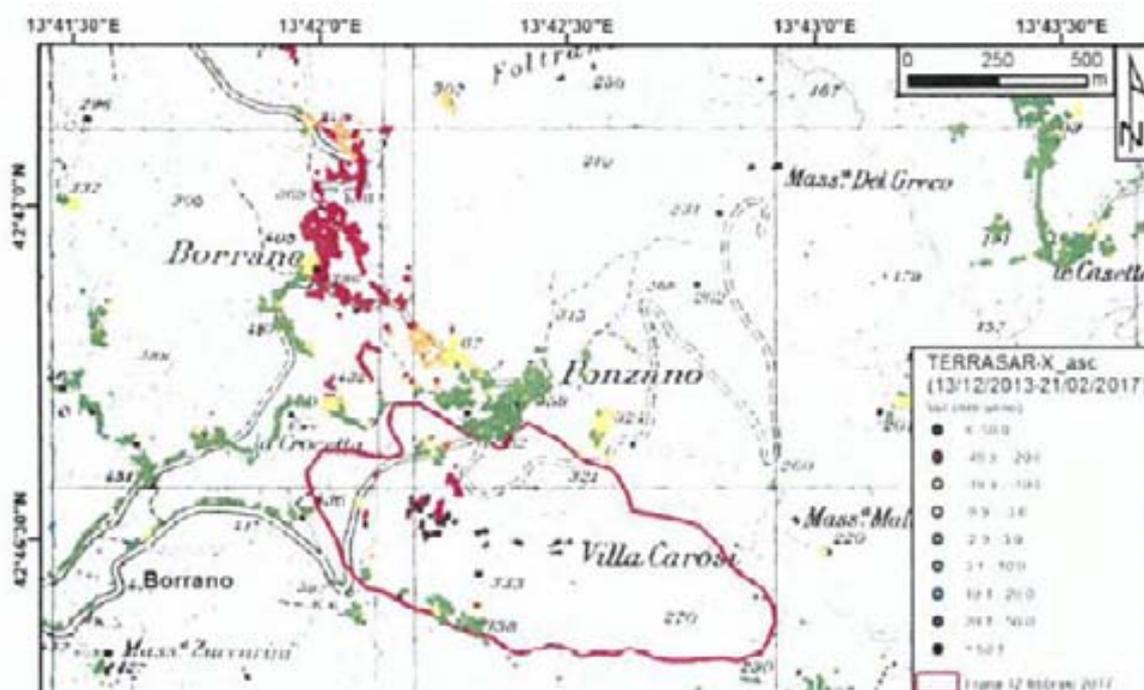


Figura 1: tratto dal “Report di sintesi delle risultanze dei sopralluoghi, del monitoraggio e delle attività di analisi del dissesto che ha interessato l’abitato di Ponzano, nel Comune di Civitella del Tronto” (5 giugno 2017 – Prof. Casagli, Prof. Guzzetti)

I terreni del substrato geologico di riferimento, coperti da una spessa coltre colluviale, sono rappresentati dall’Associazione pelitico arenacea “LAG 6c” della Formazione della Laga.

Una buona parte dell’edificato è coinvolto in fenomeni franosi attivi e ricadono all’interno della perimetrazione del Rischio R4 e, pertanto, escluso dall’approfondimento del livello 3 della microzonazione sismica, ricadendo in una Zona di Attenzione per instabilità.

### **Borrano**

Con lo studio di livello 1 della MS era stato richiesto un approfondimento per approfondire l’instabilità geomorfologica che interessa parte dell’abitato.

La Frazione di Borrano si trova nella parte centrale di una dorsale collinare orientata in senso Nord-Sud, caratterizzata dalla presenza di tre colli, le cui culminazioni degradano verso nord. Da sud, si ha il colle “la Crocetta” (450m), il colle di Borrano (405m) e, infine, un colle di 374 m. Detta dorsale funge da spartiacque tra il fosso “il Rio” (ad ovest) e il fosso “il Goscio” (ad est).

La perimetrazione del centro abitato di Borranò ha un'estensione di 45.010 m<sup>2</sup>. Una buona parte dell'edificato si sviluppa sul versante orientale del colle centrale della predetta dorsale, sulla parte alta del versante, tra le quote 380m – 395m, in cui, coperto da una spessa coltre colluviale, si rinviene l'Associazione prevalentemente pelitico arenacea "LAG 6c" della Formazione della Laga. L'altra parte del centro abitato si sviluppa sulla cresta che si eleva verso il colle "la Crocetta", tra le quote 395m e 420 m, in cui sono affioranti o sub affioranti i termini dall'Associazione arenaceo pelitica "LAG 6e" della Laga.

Il centro abitato è rappresentato da edifici residenziali risalenti soprattutto agli anni '70-'80. La maggior parte si sviluppa su due livelli, massimo tre livelli.

Il nucleo abitato principale dell'abitato ricade all'interno di un'area interessata da deformazioni superficiali lente attive, ed è pertanto perimetrato a rischio R4. L'elaborazione delle immagini TerraSAR-X, relative al periodo dicembre 2013 – febbraio 2017, hanno permesso di ottenere il campo deformativo dell'area, da cui si evincono per la porzione bassa del nucleo abitato una consistente velocità di spostamento, dell'ordine di 35mm/anno (fig. 1).

È esclusa dallo studio di approfondimento del livello 3 della microzonazione la porzione dell'abitato perimetrato a rischio R4, da cui scaturisce una Zona di Attenzione per instabilità.

### ***Sant'Eurosia***

La Frazione di Sant'Eurosia si sviluppa su di una dorsale collinare orientata all'incirca in senso Est – Ovest, ad una quota di circa 290 m.

Lo studio di approfondimento del livello 3 della microzonazione, riguarda due aree poste a nord-est dell'edificato, allo stato attuale non edificate, una delle quali inserite nel corso dello studio dall'Amministrazione comunale.

Si tratta di due aree a morfologia sub pianeggiante o leggermente degradante verso ovest, tra le quote 282 m e 275m. In particolare, l'area più occidentale ricade in una zona marcatamente impluviale che rappresenta la zona di alimentazione di un lago artificiale ad uso irriguo.

L'area è per buona parte coperta da una coltre colluviale e marginalmente dal substrato sub affiorante costituito dalle Marne del Vomano (MVO).

### ***Santa Croce***

Nella località di Santa Croce, lo studio di approfondimento del livello 3, ha riguardato due aree poste ad ovest dell'edificato. Si tratta di due aree che allo stato attuale non sono edificate, una delle quale inserite nel corso dello studio dall'Amministrazione comunale.

Entrambe le aree si sviluppano sulla cima della dorsale collinare che culmina con l'abitato di Santa Croce, che presenta una modesta inclinazione verso ovest, tra le quote 260m e 275 m.

L'area posta in posizione più distale rispetto a Santa Croce, è in parte coinvolta in un fenomeno geomorfologico nel tratto della dorsale che inizia a degradare verso il torrente Salinello, che nel tratto in esame ha un andamento, all'incirca ovest-est.

I terreni del substrato sono rappresentati dai termini FMT1a e FMT1b della Formazione di Mutignano.

### ***Lucignano***

La frazione di Lucignano si trova in cima al "Colle Adamo" (308m). Si tratta di un colle che si sviluppa secondo una direzione all'incirca est-ovest, in cima al quale si sviluppa l'edificato costituito da poche case di civile abitazione, di due piani, risalenti agli anni '50. L'area perimetrata ha un'estensione di 11.469 m<sup>2</sup>.

Il substrato sub affiorante rappresentato dall'Associazione pelitica della Formazione di Mutignano (FMT1b).

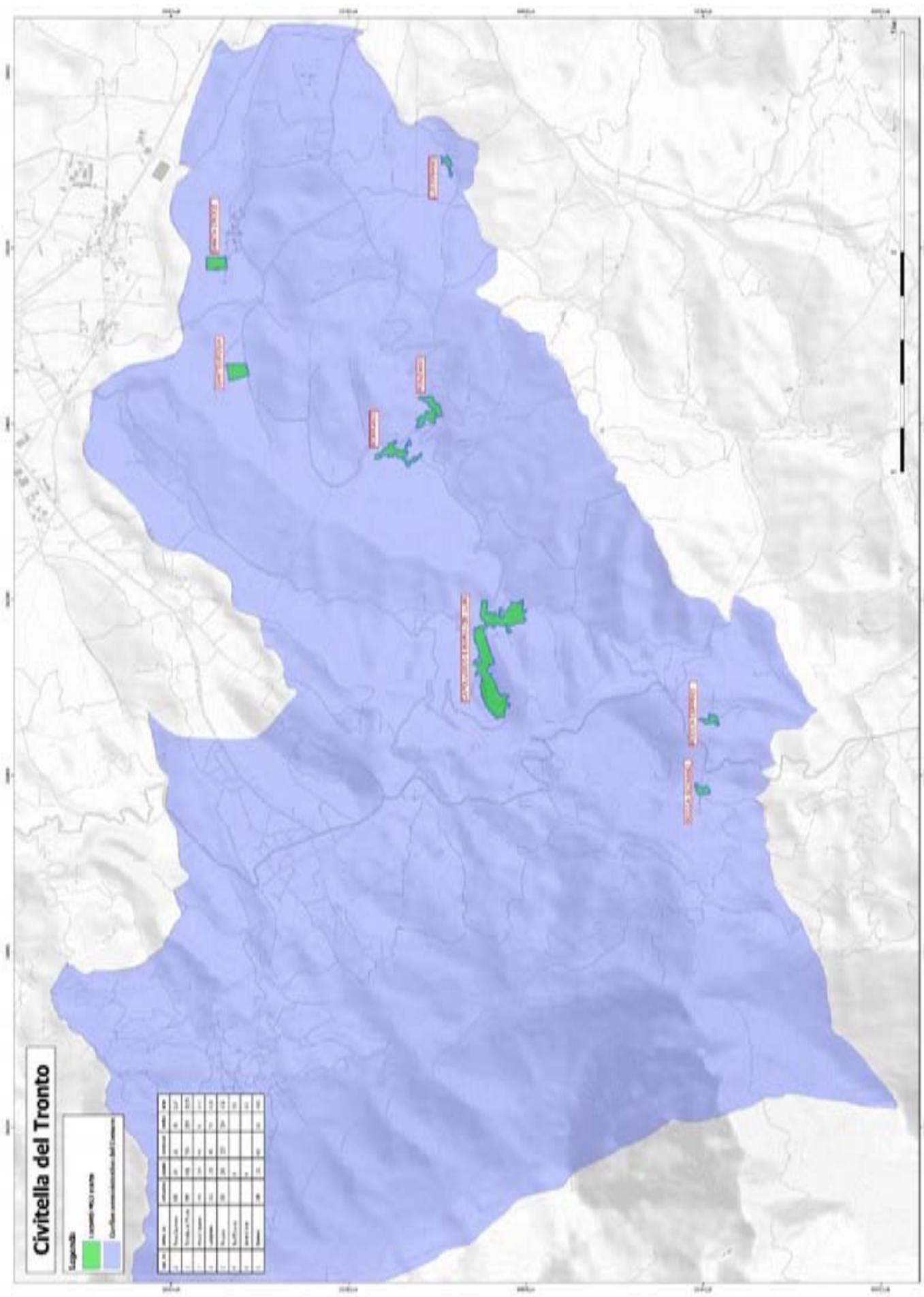


Figura 2: Aree del territorio comunale interessate dallo studio di MS di Livello 3

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

La zonazione sismo genetica di riferimento per la maggior parte delle valutazioni di pericolosità sismica dell'area italiana è stata, fino al 2002, quella definita dalla sigla ZS4 (vds. figg. sotto: [http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone\\_sismo.html](http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html); Scandone e Stucchi, 2000).

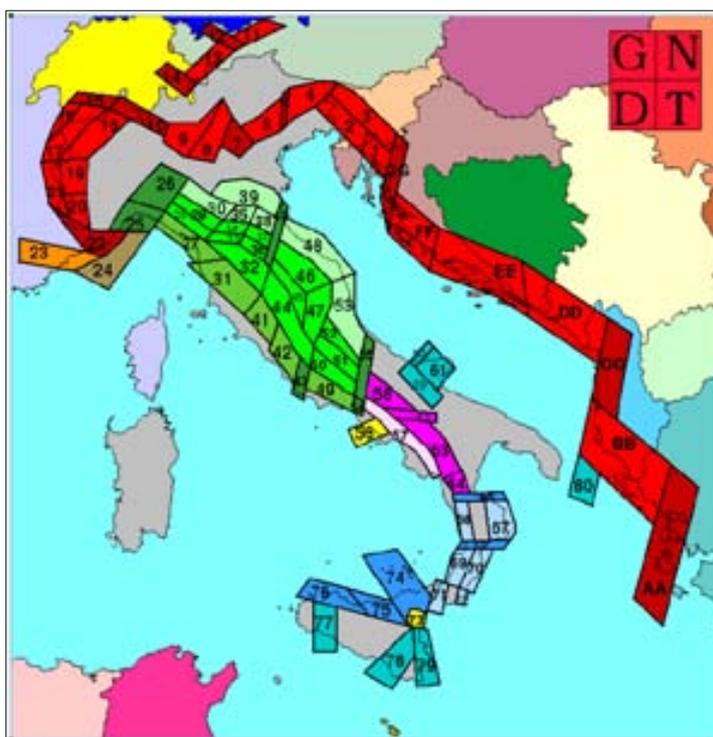


Figura 3: Zonazione sismogenetica ZS4 adottata dal GNDT nel 1996

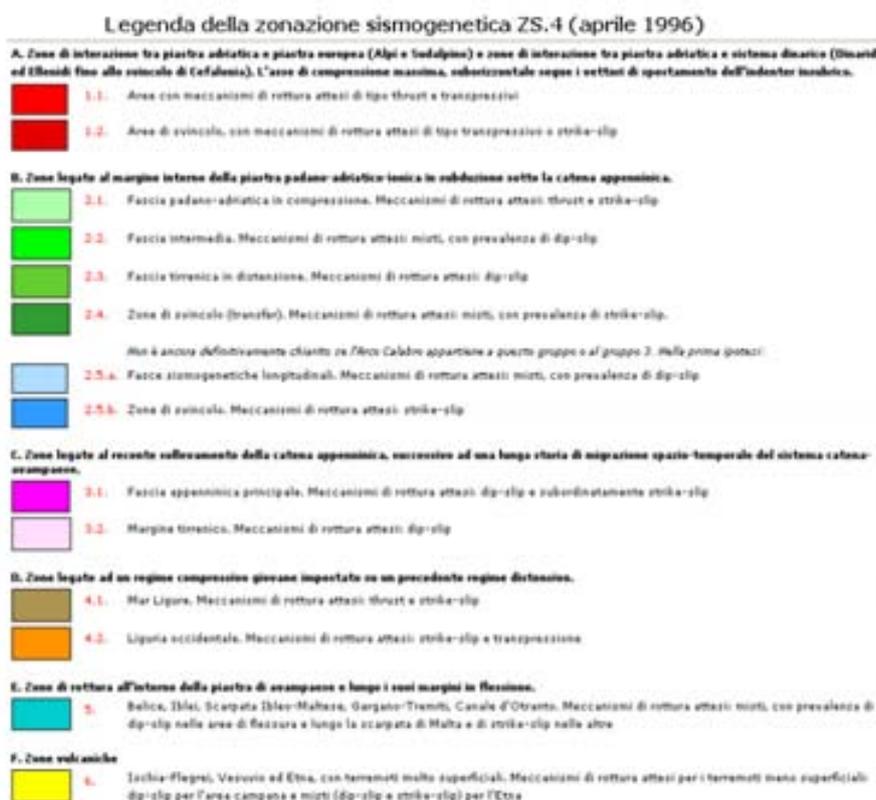


Figura 4: Legenda alla Zonazione sismogenetica ZS4 adottata dal GNDT nel 1996

Sviluppi più recenti delle conoscenze sismogenetiche hanno consentito di disegnare una nuova zonizzazione, denominata ZS9 (Scandone et al. 1996 - 2000), che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000) ed è il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e dell'introduzione di nuove zone. La zonazione ZS9 è costituita da 42 zone sorgente i cui limiti possono essere indicati in colore nero o blu; i limiti neri si riferiscono a limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche o geologiche, i limiti blu si riferiscono invece a suddivisioni di zone con uguale stile deformativo ma con diverse caratteristiche della sismicità (per esempio diversa magnitudo massima rilasciata ecc.).

Il territorio del Comune di Civitella del Tronto si trova all'interno della Zona Sismogenetica 918 (corrispondente alla zona 53 nella ZS4), come rappresentato nelle figure seguenti.

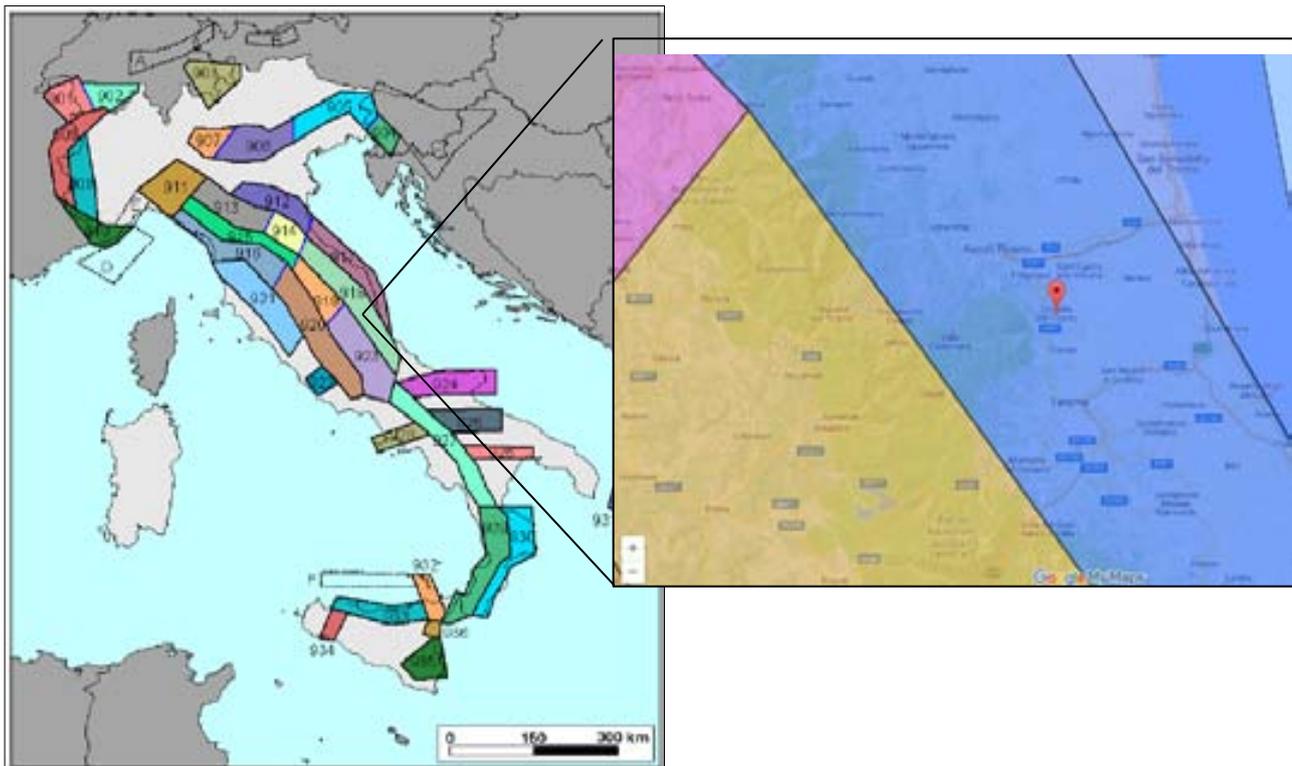


Figura 5: Zonazione sismogenetica ZS9

Nella fascia corrispondente a questa Zona si verificano terremoti probabilmente distensivi. Si possono avere altresì meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale con le fasce 914 e 913 poste più a nord. L'intera fascia che da Parma si estende fino all'Abruzzo, è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. La zonizzazione sismogenetica ZS9, all'areale oggetto della microzonazione sismica da un valore di magnitudo pari a 6,37.

Nome ZS	Numero ZS	M <sub>max</sub>
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Saavevo	918, 919, 918	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Gartagnana-Mugella, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Utranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Figura 6: Valori di magnitudo massima per le zone sismogenetiche ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Alla zona 918 sono da riferire alcune sorgenti “silenti” (es. M.ti della Laga, Campo Imperatore) legate a fagliazione normale. Studi paleosismologici lungo le espressioni superficiali delle sorgenti suggeriscono una ripetuta attivazione nel corso dell’Olocene con magnitudo attese che, sulla base della lunghezza della rottura di superficie, vengono stimate tra 6.5 e 7 (Galadini e Galli, 2000).

Dall’analisi della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale elaborata dall’INGV nel 2004 (Fig. 7) si può osservare che il territorio del Comune di Civitella del Tronto si colloca in un areale, in cui si possono registrare valori di accelerazione massima del suolo pari a  $0.175 \div 0.200$  g, con un tempo di ritorno (Tr) pari a circa 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

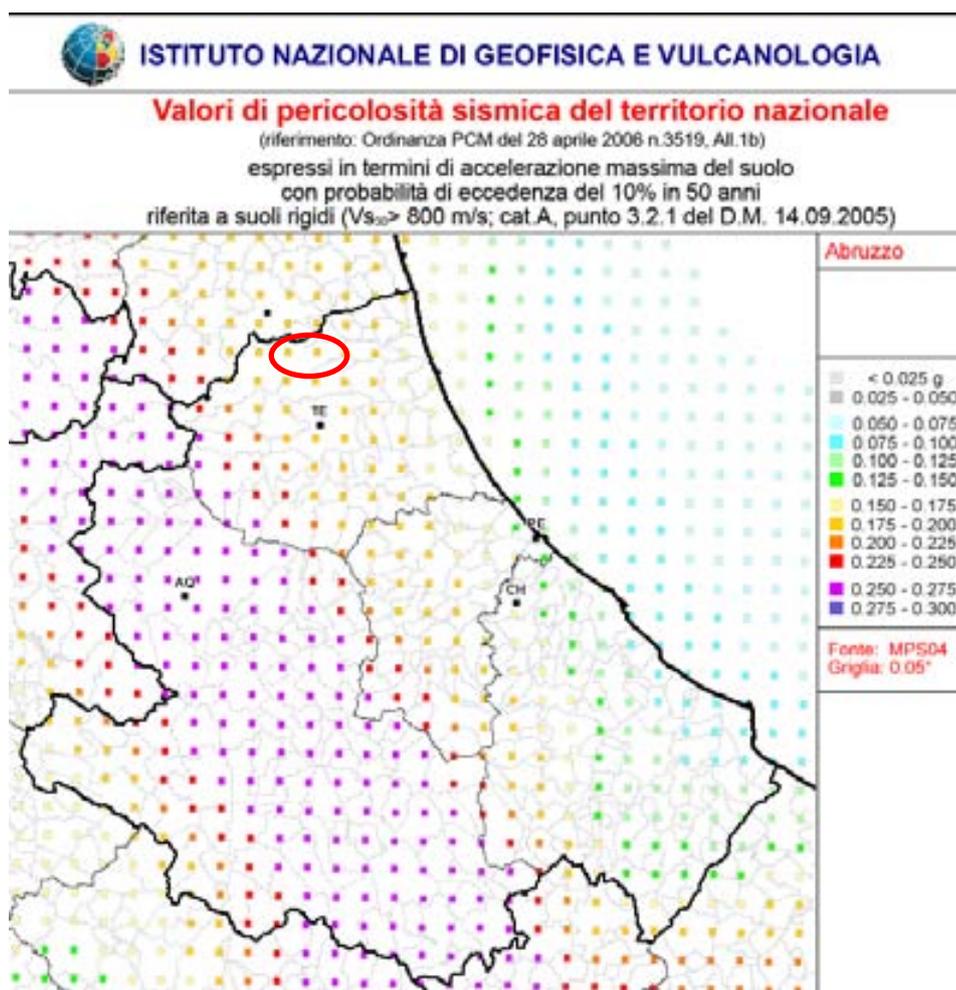


Figura 7: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV). Dettaglio per la Regione Abruzzo. L’ubicazione del Comune di Civitella del Tronto è evidenziata dal’ellisse rosso.

## 2.1 SISMICITÀ STORICA DELL’AREA DI STUDIO

Per definire la pericolosità di base del territorio occorre innanzitutto conoscere la sismicità storica del luogo. I dati di sismicità storica riguardanti il Comune di Civitella del Tronto sono stati reperiti dall’archivio DBMI11<sup>2</sup> (DataBase Macrosismico Italiano) prodotto recentemente dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.). L’archivio contiene dati di eventi sismici al di sopra della soglia del danno,

<sup>2</sup> A cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi. Database macrosismico italiano, DBMI11 è realizzato nell’ambito dell’attività del Tema trasversale Coordinato 5.1 Anche dati e metodi macrosismici. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>

verificatesi in Italia nel periodo 1000-2006.

La sismicità del territorio comunale è riassunta nel seguente grafico della distribuzione temporale dei terremoti più significativi che hanno coinvolto i territori limitrofi e la relativa intensità macrosismica stimata sulla base dei danni e degli effetti percepiti, in cui si evincono registrati terremoti solo dopo il 1700 che hanno provocato danni alle città epicentrali.

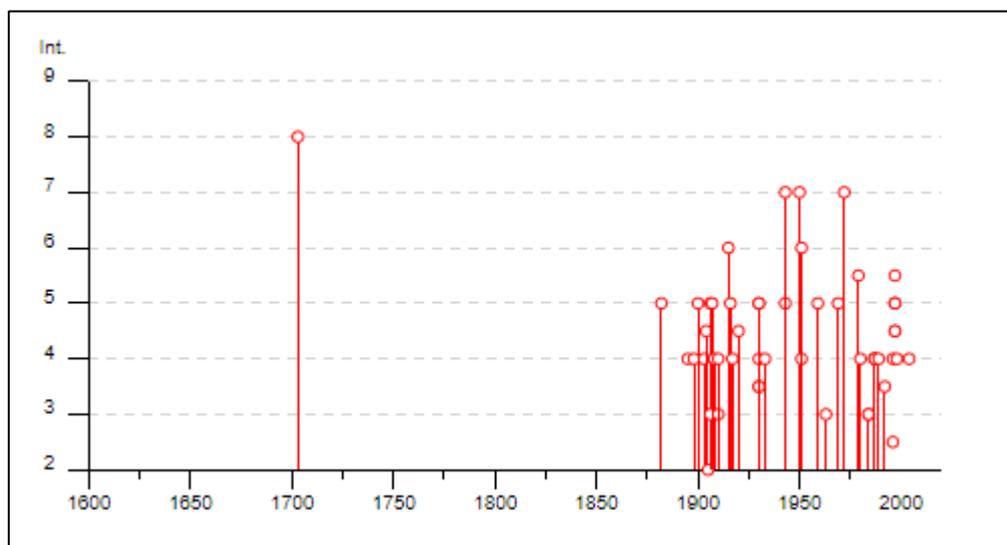


Figura 8: storia sismica del Comune di Civitella del Tronto

L'intensità massima stimata raggiunge l'ottavo grado, stimata per il terremoto del 1703 (Aquilano).

Nella seguente tabella sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale di Civitella del Tronto (fonti INGV, Database Macrosismico Italiano: -DBMI04, Stucchi et al, 2007 – DBMI11, Galli P. e Camassi R., 2009). Sono riportate il valore dell'intensità sismica raggiunto nel Comune (I MCS), l'anno, il mese, il giorno, l'ora, in cui si è verificato, il sito epicentrale (ax), Il numero di osservazioni macrosismiche (Np), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw):

<b>Storia sismica di Civitella del Tronto</b> <b>[42.772, 13.668]</b>						
Numero di eventi: 36						
Effetti		In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw		
8	1703 02 02 11:05	Aquilano	71	10 6.72 ±0.17		
5	1882 08 16	GROTTAMMARE	13	7 5.02 ±0.47		
NF	1897 12 18 07:24	Appennino umbro-marchigiano	132	7 5.13 ±0.14		
F	1898 08 25	VISSO	66	7 5.04 ±0.29		
4	1903 11 02 21:52	Valnerina	33	6 4.89 ±0.26		
5	1907 01 23 00:20	Adriatico centrale	93	5.06 ±0.15		
NF	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8 5.37 ±0.10		
NF	1910 06 29 13:52	MUCCIAFORA	58	7 4.86 ±0.33		
6	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11 7.00 ±0.09		
5	1916 11 16 06:35	REATINO	40	8 5.53 ±0.22		
NF	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10 6.29 ±0.09		
5	1930 07 23 00:08	Irpinia	547	10 6.62 ±0.09		
4	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09		
4	1933 09 26 03:33	Maiella	326	9 5.95 ±0.09		
7-8	1943 10 03 08:28	Marche meridionali-Abruzzo	131	8-9 5.83 ±0.14		
7	1950 09 05 04:08	GRAN SASSO	386	8 5.68 ±0.07		
4	1951 08 08 19:56	Gran Sasso	94	7 5.30 ±0.14		
6	1951 09 01 06:56	SARNANO	81	7 5.34 ±0.20		
7	1972 11 26 16:03	MONTEFORTINO	73	8 5.38 ±0.18		
5-6	1979 09 19 21:35	Valnerina	694	8-9 5.86 ±0.09		
4	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09		
3	1984 05 07 17:49	Appennino abruzzese	912	8 5.89 ±0.09		
3	1984 05 11 10:41	Appennino abruzzese	342	5.50 ±0.09		
4	1987 07 03 10:21	PORTO SAN GIORGIO	359	5.09 ±0.09		
5-6	1997 09 26 00:33	Appennino umbro-marchigiano	760	5.70 ±0.09		
4-5	1997 09 26 09:40	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9 6.01 ±0.09		
5	1997 10 03 08:55	Appennino umbro-marchigiano	490	5.25 ±0.09		
5	1997 10 06 23:24	Appennino umbro-marchigiano	437	5.46 ±0.09		
5	1997 10 14 15:23	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8 5.65 ±0.09		
4-5	1997 11 09 19:07	Appennino umbro-marchigiano	180	5-6 4.90 ±0.09		
4	1998 04 05 15:52	Appennino umbro-marchigiano	395	6 4.81 ±0.09		
NF	2003 05 25 17:15	Zona Ascoli Piceno	92	5 4.15 ±0.18		
4	2004 12 09 02:44	Zona Teramo	224	5-6 4.18 ±0.09		
NF	2005 04 12 00:31	Maceratese	137	4-5 4.16 ±0.14		
NF	2005 12 15 13:28	Valle del Topino	361	5-6 4.66 ±0.09		
NF	2006 04 10 19:03	Maceratese	211	5 4.51 ±0.10		

Figura 9: eventi sismici a maggiore intensità risentiti nel Comune di Civitella del Tronto (fonte INGV)

Se ne deduce che l'area comunale in esame non è stata interessata da epicentri sismici significativi, ma risente della sismicità di aree circostanti caratterizzata da diversi eventi sismici di media intensità.

## 2.2 SISMICITÀ RECENTE DELL'AREA DI STUDIO

Ai sismi storici precedentemente elencati deve essere aggiunta la sequenza sismica aquilana dell'aprile 2009 consistente in tre eventi di  $M > 5$  avvenuti il 6 aprile ( $M=5.8$ ), il 7 aprile ( $M=5.3$ ) e il -9 aprile ( $M=5.1$ ).

Non può essere poi tralasciata l'importante sequenza sismica che ha interessato l'area reatina nel 2016 e che si è manifestata con una potente scossa di magnitudo 6.0 che ha provocato notevoli danni nell'area del Comune di Amatrice e zone limitrofe; un'altra scossa di magnitudo 6.5 ha poi interessato la zona di Norcia. Nel gennaio 2017, una sequenza sismica molto condensata, con magnitudo nell'ordine di 5/5.3 è stata determinata dall'attivazione della Faglia di Campotosto.

A seguito di questi terremoti molti edifici sono stati dichiarati inagibili nel Centro storico e nella Frazione di Ripe. Pochi sono gli edifici dichiarati inagibili nelle Frazioni di Borrano, Rocche, Villa Lempa, Gabbiano, Cerqueto del Tronto, Piano Risteccio, Lucignano, Palazzese, Sant'Andrea, Villa Passo. I danneggiamenti riguardano comunque edifici vecchi.

Non si sono ravvisati danneggiamenti nelle Frazioni di Santa Croce, Favale e Sant'Eurosia.

## 2.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Di seguito si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo  $0.05^\circ$  relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da  $a(g)$  (accelerazione orizzontale massima del suolo).

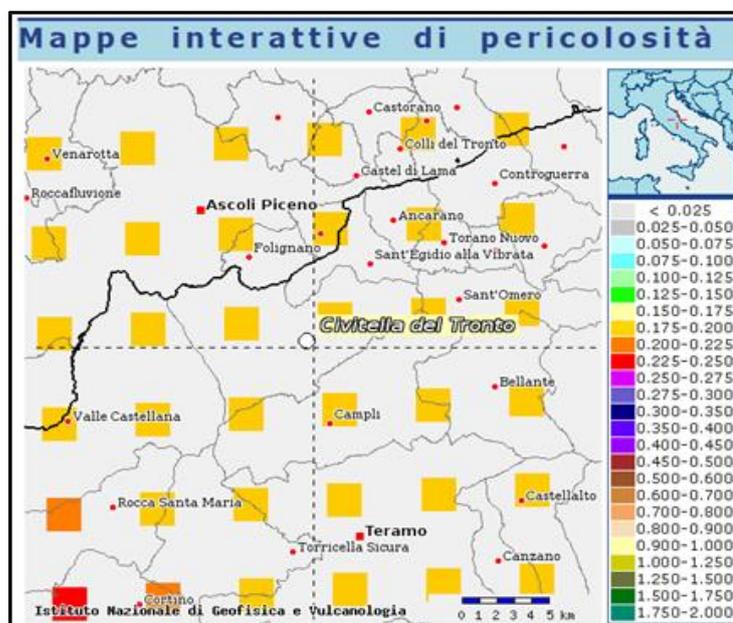


Figura 10: Mappa dello scuotimento atteso in termini di accelerazione, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni – valore compreso tra 0.175 – 0.200 (tempo di ritorno pari a 475 anni)

La seguente figura e la tabella illustrano il contributo percentuale alla pericolosità per coppie di valori di Magnitudo e Distanza epicentrale.

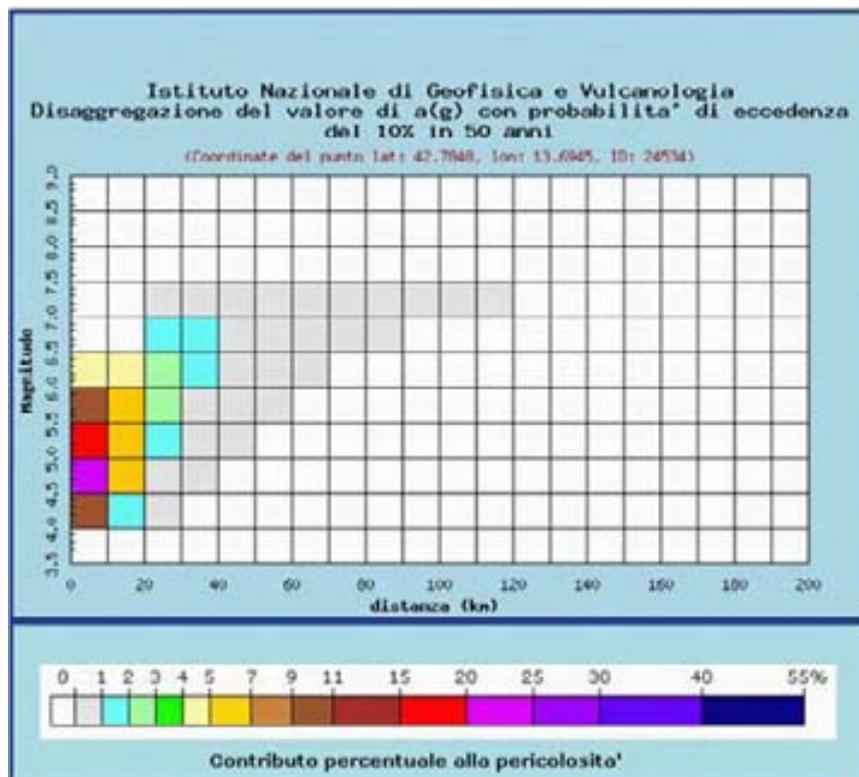


Figura 11: Grafico di disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo

Tabella 1: Dati tabellari di disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.7848, lon: 13.6945, ID: 24534)										
	Magnitudo										
	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	0.000	9.830	21.500	15.400	9.380	4.230	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.280	5.030	6.660	6.720	4.380	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.005	0.353	1.550	2.810	2.430	1.090	0.693	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.001	0.150	0.814	1.120	1.020	0.776	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.002	0.106	0.410	0.609	0.557	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.097	0.291	0.323	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.112	0.167	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.067	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.021	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Dalla tabella si evince che la massima probabilita', pari al 21,5%, si ha per magnitudo compresa tra 4,5 e 5,0 e distanza epicentrale inferiore a 10 km; la percentuale scende al 15,4% per magnitudo compresa tra 5,0 a 5,5 e al 9,38% per magnitudo compresa tra 5,5 a 6,0, sempre con distanza inferiore ai 10 km.

Di seguito si riporta uno stralcio delle principali sorgenti sismo genetiche che interessano direttamente il territorio comunale di Civitella del Tronto, estratte nel Database Individuale delle Sorgenti Sismogenetiche-DISS<sup>3</sup>. Per gli elementi visualizzati è ipotizzata magnitudo massima di 6.5; le caratteristiche riportate nelle tabelle seguenti indicano un meccanismo di tipo sovrascorrimento di tipo inverso a basso angolo.

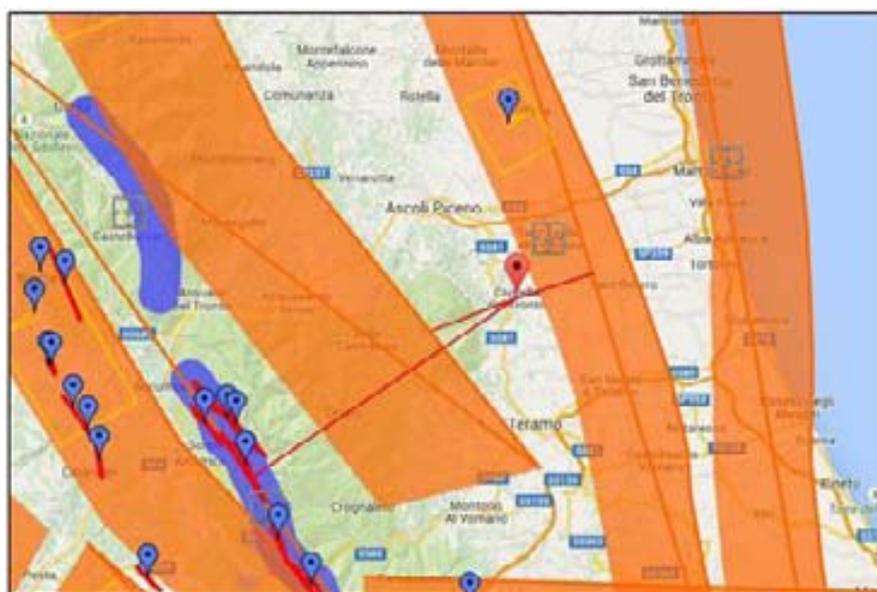
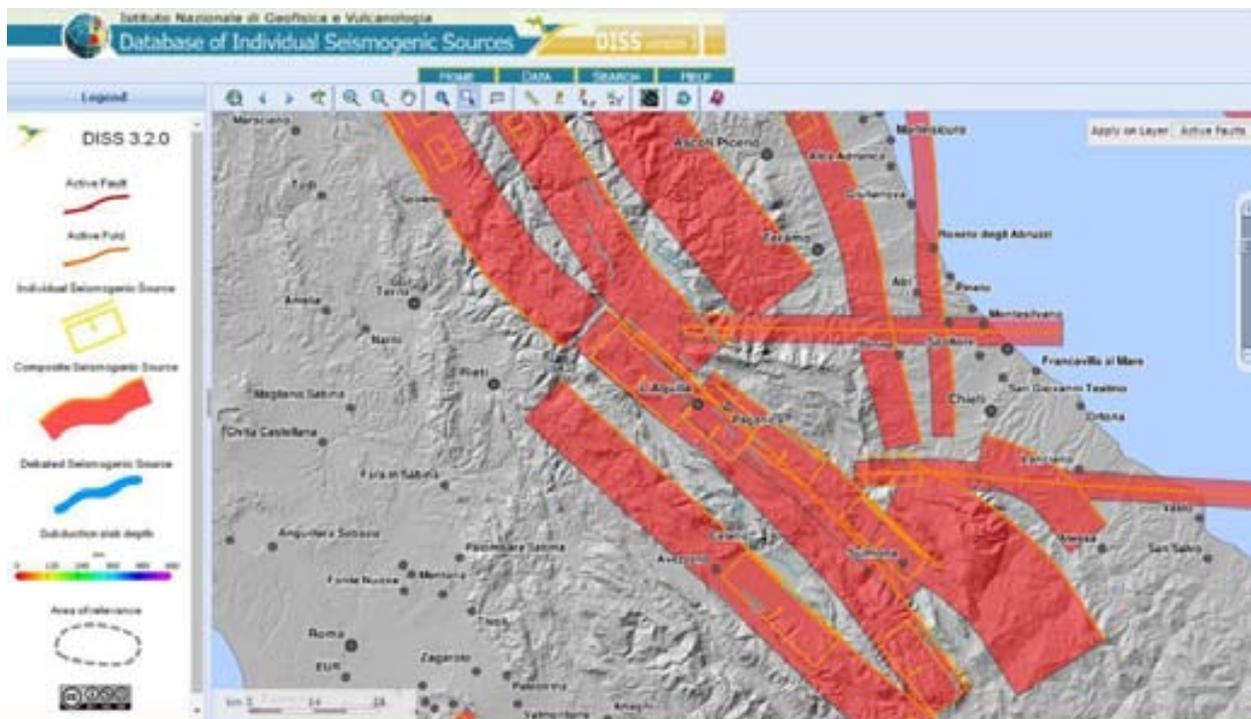


Figura 12: Carta delle sorgenti sismo genetiche censite con il progetto DISS

<sup>3</sup> Database of Individual Seismogenic Sources, versione 3, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: <http://diss.rm.ingv.it/diss>

Tabella 2 : Caratteristiche della struttura sismogenetica ITCS020

<b>Code</b>	ITCS020
<b>Name</b>	Southern Marche
<b>Compiled By</b>	Burrato, P., U. Fracassi and S. Mariano
<b>Latest Update</b>	21/04/2010

**Parametric information**

	<b>Parameter</b>	<b>Qual. Evidence</b>
<b>Min Depth (km)</b>	3	OD Based on structural geology and geodynamic constraints.
<b>Max Depth (km)</b>	9	OD Based on structural geology and geodynamic constraints.
<b>Strike (deg)</b>	150 - 170	OD Based on geological constraints and seismic reflection profiles.
<b>Dip (deg)</b>	30 - 50	OD Based on geological constraints and seismic reflection profiles.
<b>Rake (deg)</b>	80 - 100	EJ Inferred from geological data.
<b>Slip Rate (mm/y)</b>	0.1 - 0.5	EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
<b>Max Magnitude (Mw)</b>	5.9	OD Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

**Q-keys:** LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

Tabella 4: Caratteristiche della struttura sismogenetica ITCS028

<b>Code</b>	ITCS028
<b>Name</b>	Colfiorito-Campotosto
<b>Compiled By</b>	Burrato, P., U. Fracassi and S. Mariano
<b>Latest Update</b>	06/05/2010

**Parametric information**

	<b>Parameter</b>	<b>Qual. Evidence</b>
<b>Min Depth (km)</b>	2.5	LD Based on various geological, geodetic and seismological data.
<b>Max Depth (km)</b>	14	LD Based on various geological, geodetic and seismological data.
<b>Strike (deg)</b>	130 - 150	LD Based on various geological, geodetic and seismological data.
<b>Dip (deg)</b>	35 - 55	LD Based on various geological, geodetic and seismological data.
<b>Rake (deg)</b>	260 - 280	LD Based on various geological, geodetic and seismological data.
<b>Slip Rate (mm/y)</b>	0.1 - 1	EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
<b>Max Magnitude (Mw)</b>	6.5	OD Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

**Q-keys:** LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

Tabella 3: Caratteristiche della struttura sismogenetica ITCS027

**General information**

<b>Code</b>	ITCS027
<b>Name</b>	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga
<b>Compiled By</b>	Burrato, P., and S. Mariano
<b>Latest Update</b>	24/09/2007

**Parametric information**

	<b>Parameter</b>	<b>Qual. Evidence</b>
<b>Min Depth (km)</b>	12	OD Based on structural geology and geodynamic constraints.
<b>Max Depth (km)</b>	22	OD Based on structural geology and geodynamic constraints.
<b>Strike (deg)</b>	90 - 160	OD Based on geological constraints and structural geology.
<b>Dip (deg)</b>	20 - 55	OD Based on geological constraints and structural geology.
<b>Rake (deg)</b>	70 - 110	EJ Inferred from geological data.
<b>Slip Rate (mm/y)</b>	0.1 - 1	EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
<b>Max Magnitude (Mw)</b>	6.2	OD Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

**Q-keys:** LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il Comune di Civitella del Tronto si colloca nel settore esterno (marchigiano-abruzzese) del sistema a thrust dell'Appennino Centrale. Questa porzione di catena è limitata a nord-ovest dalla Linea Ancona-Anzio e a Sud-Est dalla Linea Ortona-Roccamonfina. Costituisce

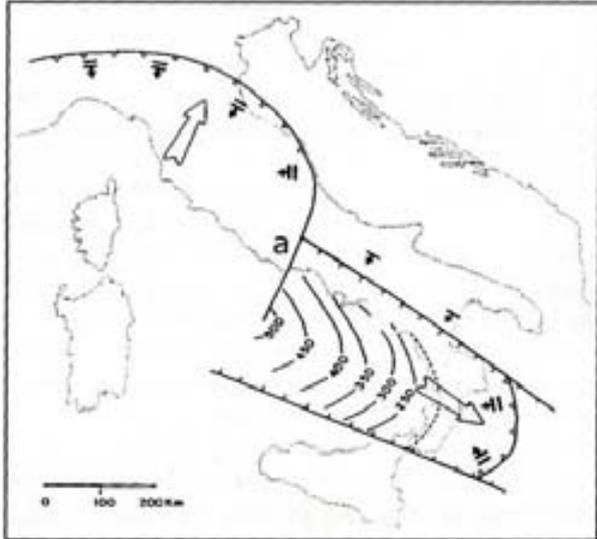


Figura 13: Schematizzazione dei due principali archi della catena e dello svincolo corrispondente con la Linea Ortona-Roccamonfina.

la zona di giunzione tra l'arco dell'Appennino settentrionale e quello dell'Appennino meridionale, rispettivamente a convessità nord orientale e sud orientale (fig. a lato), caratterizzati entrambi da direzioni di movimento, entità di raccorciamento e modalità di deformazione sostanzialmente differenti (G.G.R vol. 10). Tale zona è il risultato della deformazione e del sollevamento dei domini paleogeografici marini mesozoici sviluppatosi lungo il margine settentrionale africano e della loro successiva evoluzione nel corso del processo di costruzione del settore centrale della catena appenninica, sviluppatosi nel Neogene (soprattutto tra il Miocene Medio ed il Pliocene Inferiore) (G.G.R vol. 7).

Si riscontrano essenzialmente due tipi di sistemi deposizionali: il sistema carbonatico di piattaforma-bacino e il sistema silicoclastico di avanfossa.

Il primo ha insistito per circa 150 Ma. dal Trias Superiore al Cretaceo Superiore, andando a tratti soggetto a irregolarità e interruzioni; ad esso sono ascrivibili le unità che formano il cuore della catena e, procedendo da Ovest ad Est, sono riconoscibili le seguenti Unità (G.G.R vol. 10):

- la *Piattaforma Laziale-Abruzzese* di tipo bahamiano, che manifesta anche facies marginali e di rampa fino al Miocene Medio;
- i *Bacini esterni* (Bacino Umbro-Sabino ad Ovest, Bacino Umbro-Marchigiano a Nord, Bacino Molisano ad Est), sono caratterizzati da facies calcareo-silico-marnose pelagiche, sviluppate tra il Lias Medio e il Miocene Inferiore;
- il *Bacino Umbro-Marchigiano* si estende ad Est includendo gran parte del Gran Sasso della Maiella, esso costituisce per articolazione il più complesso di tutti i bacini.
- la piccola *Piattaforma carbonatica esterna*, è la più esterna delle unità abruzzesi ed è compresa tra la Piattaforma laziale-abruzzese e la Piattaforma apula deformata.

Nel sistema carbonatico abruzzese sono state riconosciute, sulla base di associazioni di facies, quattro tipologie principali di successioni:

- *successioni di piattaforma carbonatica interna* caratterizzate da un'intercalazione di ambienti di piattaforma s.s. alternati tra loro;

- *successioni di margine* sono costituite da sabbie ad alto contenuto bioclastico e da rocce carbonatiche fango sostenute e matrice sostenute;
- *successioni di gradino ribassato-rampa-scarpata superiore* composte dalle unità litostratigrafiche mesozoiche-terziarie che si sono deposte tra il margine s.s. della piattaforma e il bordo superiore del complesso scarpata-bacino;
- *successioni di scarpata bacino* costituite da depositi di tipo pelagico con lenti di selce oppure depositi marnoso argillosi.

Il secondo, il sistema silicoclastico di avanfossa, affiora nell'area in esame in una successione di notevole spessore che si è depositata nel bacino di avanfossa di età messiniana (Bigi et al. 1995).

Per quanto riguarda, in particolare, i sedimenti del Miocene Superiore-Pliocene che affiorano tra le Marche meridionali e l'Abruzzo settentrionale (fig. seguente), è stata riconosciuta la loro appartenenza a due distinti bacini che si sono formati e sviluppati in maniera diacrona, in relazione alla migrazione verso Est del sistema catena-avanfossa: quello della Laga più interno e più antico (Messiniano) e quello del Cellino, più esterno e più recente (Pliocene Inferiore).

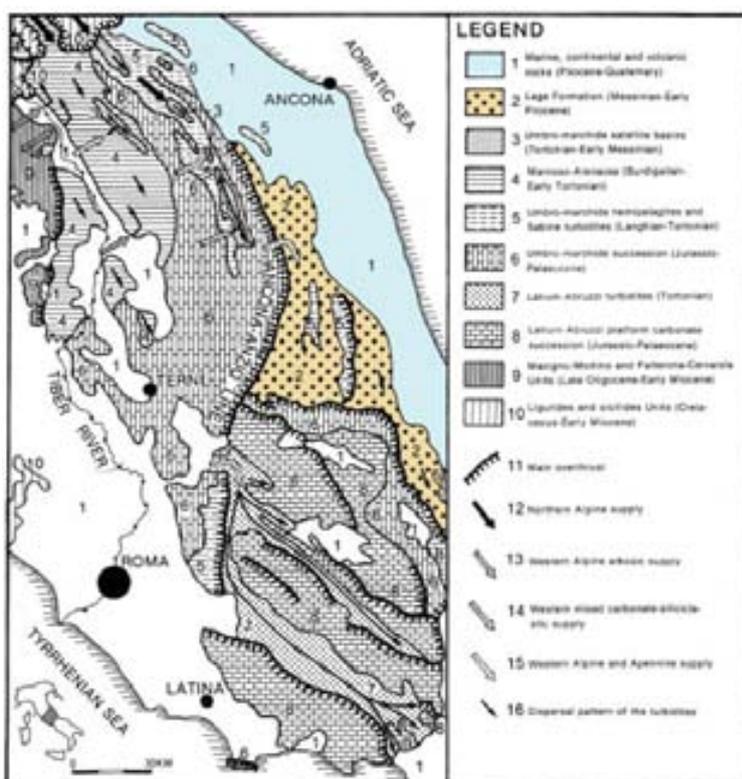


Figura 14: Schema stratigrafico-strutturale dell'Appennino centrale (da CHIOCCINI & CIPRIANI, 1992, semplificato).

della catena, e da strutture distensive che si sviluppano nelle antistanti zone di raccordo fra avanfossa e avanpaese; queste sono in sostanza dei rialzi periferici che si originano come risposta elastica alla flessione indotta dall'appilamento degli elementi tettonici sulla placca litosferica di avanpaese (Tankard, 1986).

Nella sedimentazione torbiditica dei bacini laziali-abruzzesi (Salto, Tagliacozzo, Liri e Sacco) nel Tortoniano e di quello della Laga nel Messiniano, ha assunto un ruolo decisivo la linea Ancona-Anzio. Basandosi su dati geofisici Boccaletti et al., 1977, interpretano questo lineamento tettonico come una complessa faglia trascorrente Pleistocenica o post-Pleistocenica, essa è ritenuta essere il contatto tra due segmenti di catena con due differenti stili di deformazione e di raccorciamento e con le strutture più importanti corrispondenti al limite di sottoscorrimento Messiniano.

Durante il Giurassico la linea Ancona-Anzio si è comportata come una faglia normale, con la formazione di una scarpata tettonica di separazione tra l'area bacinale umbro-marchigiana e la piattaforma carbonatica laziale-abruzzese sollevata. Successivamente, nel Miocene, si delinea una inversione nelle relazioni tra i due domini, così che il dominio umbro-marchigiano viene rialzato mentre quello laziale-abruzzese viene sommerso e separato in parecchi blocchi e in tre strette depressioni allungate (bacini del Tagliacozzo, Liri e Sacco) [fig. a, sotto]



Figura 15: Ricostruzione paleogeografica delle aree di approvvigionamento torbiditico, le frecce sottili indicano accumulo di materiale clastico nelle aree a nord della linea Ancona-Anzio; le frecce spesse indicano la dispersione dei flussi gravitativi. Il relativo sollevamento dei bacini è indicato con il segno "+" (da CHIOCCHINI & CIPRIANI, 1989).

Tra la fine del Tortoniano e il Messiniano, si ritiene che la linea Ancona-Anzio abbia agito come una faglia trascorrente destra, con l'attivazione di movimenti compressivi in concomitanza con gli spostamenti laterali della linea, si ha così un comportamento differenziale da parte dei due blocchi affiancati. Questo produce, a Nord-Nord Est della piattaforma laziale-abruzzese, la formazione del bacino della Laga dentro il quadro di riferimento della più grande fossa antistante periadriatica (fig. b, a lato).

Sulla base dei dati petrografici proposti da Chiocchini et al., 1987,1988 a loro volta ripresi da Chiocchini & Cipriani, 1989 è stato stilato un modello circa la provenienza dei sedimenti torbiditici del Tortoniano e del Messiniano nel corso dell'evoluzione strutturale della catena Appenninica lungo la linea Ancona-Anzio. Gli autori sopracitati ritengono che la sorgente dei depositi detritici era nelle aree occidentali occupate dalle nappe Liguridi.

Nel Pliocene Inferiore, infine, il moto trascorrente si interrompe e le spinte tettoniche assumono una netta provenienza da Ovest. I sedimenti pelagici del bacino occidentale sono spinti verso Est e si accavallano, nella parte centrale e meridionale, sulle facies marginali della piattaforma (fig. a lato).

All'inizio del Pliocene Inferiore, il bacino della Laga, raggiunto dalle spinte tettoniche compressive dirette verso Est, comincia a deformarsi ed a sollevarsi (inizia la formazione dell'anticlinale dei Monti della Laga, della sinclinale di Valle Castellana e dell'anticlinale rovesciata della Montagna dei Fiori-Montagna di Campi-Montagnone) evolvendo così da una fase di avanfossa ad una di bacino-satellite (*piggy-back basin*), in cui si depositano facies pelitiche di scarpata (marne del Vomano) e ruditiche di fandelta (conglomerati di Rigopiano) [Centamore et al., 1991].

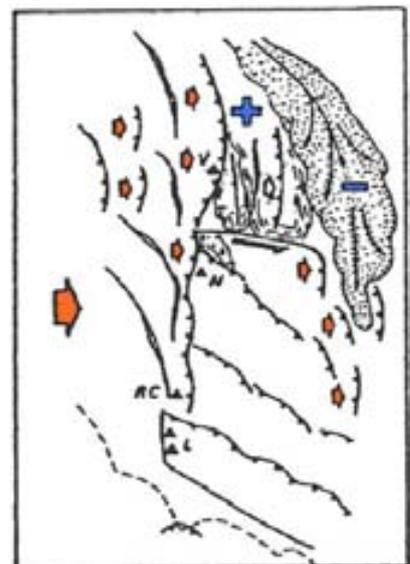


Figura 16: Evoluzione Pliocenica della linea Ancona-Anzio. (da CASTELLARIN et al. 1982).

Contemporaneamente, l'area del bacino del Cellino, che nel Messiniano entra a fare parte del dominio di avanpaese a deposizione emipelagica, assume i caratteri di un'avanfossa subsidente in cui si sedimenta la successione torbiditica della Formazione Cellino (Adamoli, 1998). Nel corso dell'approfondimento del

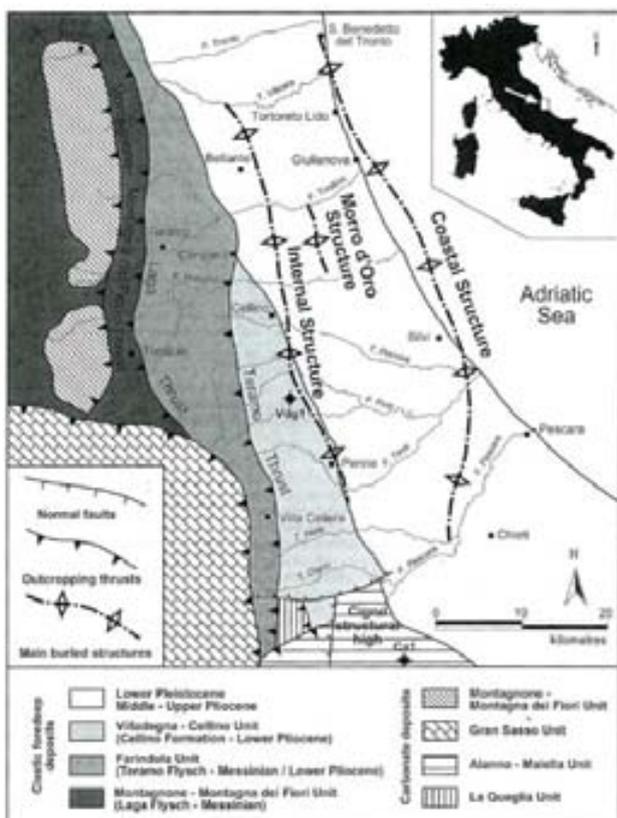


Figura 17: Schema tettonico dell'area (da VEZZANI & GISETTI, 1998, modificato).

bacino sedimentario periadriatico, l'area appenninica più interna emerge progressivamente sollevandosi, come è indicato dalla sequenza di superfici di erosione riconoscibili sul versante appenninico orientale e dalla presenza di discordanze angolari all'interno dei depositi plio-pleistocenici più occidentali.

Alla fine del Pliocene inferiore si ha la traslazione in direzione adriatica dell'Unità della Montagna dei Fiori-Montagna di Campi-Montagnone su quella più esterna del Cellino a sua volta in via di strutturazione. I depositi del Pliocene Medio vanno così a suturare il thrust tra la Formazione della Laga e la Formazione Cellino. Infine nel Pliocene Superiore termina la sequenza di eventi deformativi che, iniziati nel Messiniano, portano il fronte di sovrascorrimento del Gran Sasso vergente a Nord ad interferire con la struttura della Montagna dei Fiori-Montagnone vergente ad Est (Adamoli, 1998).

A partire dalla fine del Pleistocene Inferiore tutta la fascia periadriatica marchigiano-abruzzese emerge definitivamente per effetto di un fenomeno di sollevamento generalizzato che ha interessato l'Italia centrale con valori massimi fino a oltre 1000-1500 metri lungo l'asse orografico dell'attuale catena appenninica. In conseguenza di tale fenomeno, i depositi marini plio-pleistocenici della fascia periadriatica, assumono il loro caratteristico assetto monoclinale con immersione generale verso Est mentre, in superficie, si imposta ed approfondisce l'attuale sistema vallivo, all'interno del quale l'alternarsi delle fasi climatiche fredde e temperate dà origine a più ordine di superfici di erosione e di terrazzi alluvionali oggi visibili (Bigi, 1995; Cantalamessa, 1995).

### 3.1.1 INQUADRAMENTO STRUTTURALE

Il sistema a thrust marchigiano-abruzzese fa parte della catena a pieghe e sovrascorrimenti dell'Appennino Centrale. Questo settore, compreso tra le discontinuità a direzione meridiana Olevano-Antrodoco-Monti Sibillini ad Ovest e Volturno-Sangro ad Est, (fig. seguente) costituisce uno dei principali elementi arcuati della catena che, per l'assetto geometrico in parte discordante con le direttrici Appenniniche, per l'evoluzione cinematica e per l'entità dei raccorciamenti, risulta ben differenziabile dagli adiacenti settori dell'Appennino Settentrionale e Meridionale (Ghisetti, 1993).

L'edificio strutturale delle Unità Laziali Abruzzesi si interpone, in evidente discordanza tettonica, tra le sovrastanti Unità Umbre, accavallate lungo il fronte Olevano-Antrodoco-Monti Sibillini con direttrici NNE-SSW e vergenze ESE (Dallan Nardi et al., 1971; Castellarin, 1978; Salvini & Vittori, 1982; Lavecchia, 1985), e le sottostanti Unità Marchigiane, deformate da pieghe e sovrascorrimenti allineati N-S e con vergenza orientale. Le unità tettoniche inferiori dell'edificio marchigiano presentano un forte incremento nell'entità della deformazione nella fascia sviluppata lungo l'allineamento Rigopiano Bussi-"Fossa" di Caramanico, denominata "Zona a scaglie" (fig. seguente).



al., 1995). La geometria di questa depressione sintettonica è caratterizzata da significative variazioni di ampiezza, da meno di 10 km nella parte settentrionale, ad oltre 40km nella parte meridionale.

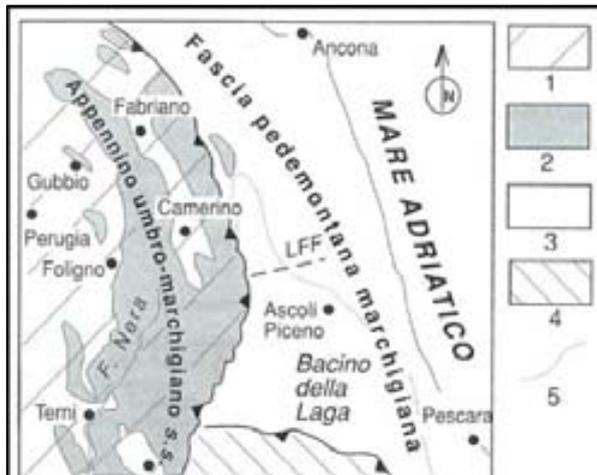


Figura 20: Schema tettonico delle province fisiografico-strutturali nelle zone esterne dell'Appennino Settentrionale. Spiegazione dei simboli: 1) Dominio umbro-marchigiano interno; 2) Appennino umbro-marchigiano s.s.; 3) Fascia pedemontana marchigiana; 4) Dominio laziale-abruzzese; 5) Limite del bacino della Laga; LFF) Linea Fiastrone-Fiastrella (da TAVARNELLI et al., 1999, modificato).

(*extensional linked fault system*), caratterizzato da faglie dirette NNW-SSE, separate da faglie di trasferimento (*transfer fault*) WSW-ENE (Tavarnelli et al., 1999).

In base ai modelli precedentemente esposti è possibile valutare l'influenza delle strutture *pre-thrusting* sullo sviluppo dei movimenti compressivi mio-pliocenici. Secondo alcuni autori la localizzazione delle rampe dei thrust è determinata dalla presenza di anisotropie meccaniche all'interno della successione stratigrafica (Cosentino, 1986; Faccenna et al., 1994); inoltre le faglie dirette sinsedimentarie, determinando accostamenti di rocce con

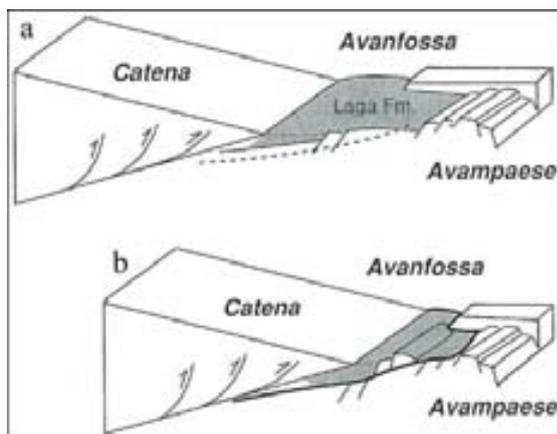


Figura 21: Modello cinematico per spiegare l'evoluzione del modello catena-avanfossa-avanpaese dell'Appennino Centrale durante l'intervallo Messiniano Superiore-Pliocene Inferiore. Il modello prevede che il Bacino della Laga sia delimitato dal fronte della catena, ad Ovest, e da un rialzo periferico delimitato da faglie dirette e transfer fault, ad Est (a). La migrazione del sistema verso i quadranti orientali avrebbe determinato la truncatura delle faglie dirette da parte dei sovrascorrimenti (da TAVARNELLI et al., 1999).

Queste irregolarità geometriche appaiono controllate da lineamenti tettonici orientati WSW-ENE, quali ad esempio la linea Fiastrone-Fiastrella, che ha condizionato la dispersione dei flussi torbiditici e le variazioni litologiche e di spessore della Formazione della Laga (Cantalamesa et al., 1986; Bigi et al., 1995). Il secondo sistema di faglie che si riscontra è caratterizzato da direzioni medie NNW-SSE, il loro carattere cinematico è di tipo distensivo senza un' apprezzabile componente trascorrente e/o transpressiva (fig. sotto).

Sulla base della contemporaneità della due famiglie di faglie NNW-SSE ed WSW-ENE e del carattere cinematico delle prime, entrambe le famiglie sono ritenute far parte di un unico sistema estensionale (*extensional linked fault system*), caratterizzato da faglie dirette NNW-SSE, separate da faglie di trasferimento (*transfer fault*) WSW-ENE (Tavarnelli et al., 1999).

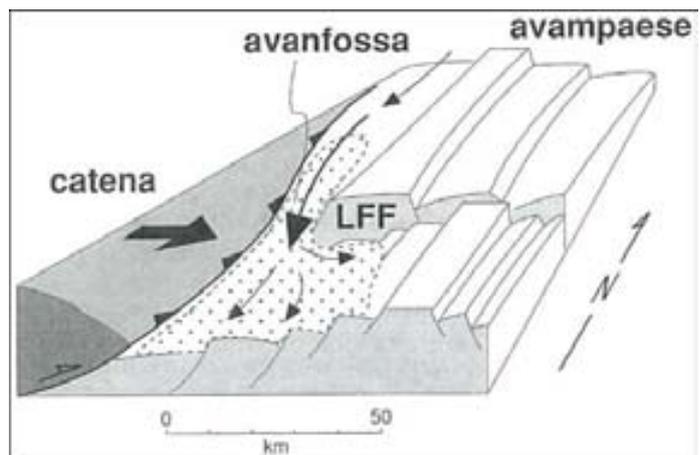


Figura 22: Modello tridimensionale che illustra i possibili rapporti fra le faglie distensive NNW-SSE e WSW-ENE nel bacino della Laga: il modello prevede che queste strutture facciano parte di un sistema estensionale di faglie dirette orientate NNW-SSE, separate da transfer fault orientate WSW-ENE. L'attività contemporanea di queste faglie avrebbe influenzato la geometria del Bacino della Laga, ed il flusso del materiale torbiditico al suo interno (da TAVARNELLI et al., 1999)

proprietà reologiche diverse, rappresentano importanti discontinuità meccaniche all'interno della successione stratigrafica. I sovrascorrimenti si propagano con traiettoria a gradinata attraversando importanti faglie dirette messiniane (Alberti, 1996; Calamita et al., 1997). Ciò mette in evidenza il ruolo che la struttura sinsedimentaria del Bacino della Laga ha svolto nel controllare la localizzazione e la geometria del fronte dell'Appennino nel Messiniano Superiore-Pliocene Inferiore (fig. a lato).

## 3.2 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto strutturale determina la fisiografia del Comune di Civitella del Tronto. Il paesaggio visivo è segnato anche dall'andamento geografico e dall'evoluzione morfologica dei principali corsi d'acqua che incidono il territorio in esame, in particolare del Salinello e del Vibrata, la cui incisione ha raggiunto in diverse zone interne i terreni del substrato. Sono evidenti e diffuse sul territorio scarpate di erosione fluviale, alte diversi metri, e la scarpata travertinosa che circonda il centro storico.

Tra le diverse zone instabili presenti sul territorio, riportate nelle relative cartografie, che potrebbero generare risentimenti in caso di sisma, si evidenzia quella che coinvolge il centro abitato di Borrano e quella che ha colpito in data 12 febbraio 2017 Ponzano. Quest'ultima nella sua fase parossistica ha raggiunto velocità di spostamento di circa 4-5 m/giorno, ha coinvolto, causando localmente danni seri, una porzione della SP n. 8 e circa 25 edifici ad uso abitativo, oggetto di un'ordinanza di evacuazione. L'innescò del movimento franoso è riconducibile alla rapida fusione del manto nevoso che ha coperto la zona nel mese di gennaio 2017 e alle intense piogge occorse tra il 10 e 12 febbraio 2017. Il movimento franoso è di tipo complesso ed è stato caratterizzato da due componenti principali:

- una di colamento lento che coinvolge un'area di circa 60 ettari con uno spessore che presumibilmente supera i 15 m;
- una componente di scivolamento rotazionale che caratterizza la porzione superiore del versante, in corrispondenza della SP n. 8, che costituisce la zona di alimentazione della frana.

L'area era già perimetrata dal PAI con grado di pericolosità P2 per la presenza di un fenomeno franoso quiescente. Si è proceduto in questa fase ad un'attenta perimetrazione dell'area attiva della frana, che è stata oggetto di ordinanza sindacale di sgombero, e all'aggiornamento della cartografia.

### 3.2.1 PRINCIPALI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI RIPORTATI NELLA CARTA GEOLOGICO-TECNICA

Il rilievo geomorfologico effettuato con l'analisi geologica allegata al PRG, in via di approvazione, e l'esame delle cartografie geomorfologiche del PAI Abruzzo, del PAI del Fiume Tronto e della carta delle fenomenologie franose del progetto IFFI, hanno permesso di analizzare le forme e i processi geomorfologici legati alla dinamica di versante ed alla dinamica fluviale, valutandone lo stato di attività. In rettifica alle perimetrazioni del PAI sono stati uniti i corpi di frana alle relative scarpate laddove queste sono effettivamente presenti e non sono state cancellate dalle lavorazioni agricole.

Per le aree di versante si è posta particolare attenzione ai fenomeni di instabilità per frana, nonché a forme di degradazione quali le deformazioni superficiali. È stata posta particolare attenzione alla perimetrazione delle aree interessate da coperture eluvio-colluviali di spessore superiore a 3 metri e delle superfici alluvionali.

*Per le aree in dissesto che hanno una perimetrazione diversa da quella del PAI è stata attivata da parte del Comune la procedura prevista dall'art. 24 delle N.A. del PAI Abruzzo.*

Gli elementi geomorfologici individuati sono stati trasportati nella Carta geologico-tecnica. Essi sono distinguibili nel modo seguente:

## **Le forme, i processi e i depositi legati all'azione della gravità.**

Rientrano in questo gruppo i depositi superficiali (depositi eluvio-colluviali) e i movimenti di massa superficiali e profondi, ovvero tutte quelle forme e quei processi alla cui creazione ha concorso in maniera determinante la forza di gravità.

### *Deformazioni superficiali lente*

Sono tra i fenomeni più diffusi sul territorio di Civitella del Tronto e consistono in movimenti deformativi del suolo che non si spingono generalmente a profondità elevate. Si manifestano in seno alla coltre di



Foto 1: edifici lesionati nel centro abitato di Ripe di mezzo. Con DGR n. 41/2016 l'area è stata inserita nelle perimetrazioni del PAI

alterazione superficiale che ricopre i versanti. Il fenomeno, non legato a una ben definita superficie di scivolamento, è caratteristico dei suoli ricchi di limo e argilla, capaci di imbevverarsi di acqua. Il movimento è generalmente lento e si manifesta con ondulazioni ad ampio raggio che caratterizzano i versanti in cui tali movimenti superficiali agiscono.

L'abitato di Ripe di mezzo è investito da tale fenomeno che ha compromesso la funzionalità di alcuni edifici. Sul Bollettino Ufficiale Regione Abruzzo n. 9 del 09/03/2016 è stata pubblicata l'approvazione della perimetrazione di pericolosità dell'area e il suo inserimento nel PAI

### *Accumuli di frane*

Le frane sono le forme principali dovute all'azione della gravità. Esse consistono nel distacco di una porzione di terreno, più o meno estesa e profonda, e nella sua traslazione verso valle sotto l'azione prevalente della gravità. In senso generale una frana si compone di una zona di distacco, una zona di movimento ed una di accumulo, più o meno evidenti secondo lo stato di conservazione della frana.



Foto 2: parete di travertino posta sul limite occidentale del centro storico interessata da crolli. L'area soggetta a crolli è stata perimetrata ed è stato richiesto l'inserimento nel PAI sulle more dell'art. 24 delle N.A.

Le categorie di frana che si possono riconoscere nell'area in oggetto, secondo la classificazione di Varnes (1958), sono: frane tipo *slide* (scorrimento di tipo traslazionale o rotazionale, non differenziate in cartografia) in cui il movimento della massa di terreno avviene lungo superfici concave verso l'alto conferendo all'accumulo forme caratterizzate da evidenti contropendenze, frane di tipo *flow* (colamento) determinate soprattutto dalla eccessiva presenza di acqua interstiziale che determina una sensibile diminuzione di resistenza al taglio dei materiali e frane di *crolli*, caratteristiche queste delle scarpate di elevata pendenza (foto 2), e consistenti in improvvisi distacchi di blocchi di terreno che generalmente

hanno dimensioni al massimo decimetriche.

Spesso nei fenomeni franosi si riscontra che il movimento risulta dalla combinazione nello spazio e/o nel tempo dei tipi di frane precedentemente descritte (*frane complesse*). Un esempio è la frana che tra il 17-18 marzo 2015 si è sviluppata nel versante posto sul limite settentrionale della Frazione di Ripe, coinvolgendo una superficie di circa sette ettari (foto 3). E la “frana di Ponzano”, innescatasi il 12 febbraio 2017, che ha interessato una superficie di quasi 60 ettari.



Foto 3: movimento franoso complesso alle porte della Frazione di Ripe. L'area è stata perimetrata ed è stato richiesto l'inserimento nel PAI sulle more dell'art. 24 delle N.A.



Foto 4: Vista aerea della “Frana di Ponzano”

Entrambe le frane si sono innescate a seguito di un periodo caratterizzato da un'eccezionale ondata di mal tempo con abbondanti precipitazioni, anche a carattere nevoso, e hanno avuto una rapida evoluzione iniziale.

#### *Orli di scarpate poligeniche*

Sono comprese in questo gruppo tutte quelle scarpate di varia origine e altezza che pur essendo il risultato di una diversa evoluzione, assumono il medesimo peso nella valutazione della stabilità.

Si precisa che il Comune di Civitella del Tronto non ha provveduto alla trasposizione sulle proprie tavole di dettaglio dei graficismi lineari riportate sulle tavole del PAI e pertanto in questa fase si è provveduto solo ad una apposizione ragionata delle stesse.

### 3.3 ASSETTO STRATIGRAFICO

Le sequenze deposizionali che caratterizzano il territorio teramano sono essenzialmente composte da rocce depositatesi in ambiente marino durante un lungo intervallo di tempo che va dal Trias Superiore, fino al Pleistocene Inferiore (fig. sotto).

In linea generale è possibile distinguere:

- una successione più antica meso-cenozoica, esclusivamente di natura carbonatica, costituita da formazioni dolomitiche, calcareo-dolomitiche, calcareo-micritiche e calcareo-silico-marnose, affioranti sulla catena del Gran Sasso e sulla dorsale Montagna dei Fiori-Montagna di Campli-Montagnone;
- due distinte successioni mio-plioceniche costituite da depositi terrigeni torbidity (arenarie, marne, argille) affioranti nel settore centro-occidentale del teramano e depostesi in due bacini adiacenti: quello della Laga/Teramo più interno, e quello del Cellino più esterno;
- depositi argilloso-sabbiosi e conglomeratici del Pliocene Medio-Pleistocene, affioranti nel settore più orientale del teramano in discordanza sui sedimenti marini della Formazione Cellino.

Infine, in discordanza su questi vari terreni, si rinvengono diversi depositi continentali connessi a meccanismi genetici ed ambienti deposizionali molto differenti da zona a zona. Per quanto riguarda il settore di nostro interesse, essi sono rappresentati dalle alluvioni terrazzate del Salinello, dai detriti di versante e conoidi che bordano i rilievi.

Di seguito verranno descritte solamente le formazioni affioranti nel settore di pertinenza di questo lavoro e comprese nella Carta geologico-tecnica allegata.

#### 3.3.1 FLYSCH DELLA LAGA

Le caratteristiche stratigrafiche del Flysch della Laga sono fortemente influenzate dalla paleogeografia del bacino in cui sedimentava. Risulta particolarmente importante la dorsale della Montagna dei Fiori-Montagnone che divide il bacino in due subbacini rispettivamente interno ed esterno.

Seguendo quanto proposto da Ghisetti & Vezzani (1994), il subbacino esterno risulta notevolmente ridimensionato e ristretto solamente alla fascia pedemontana subito a ridosso della



Figura 23: 7a<sub>2</sub> Successione cenozoica; 7a<sub>1</sub> e 7b<sub>1</sub> Flysch della Laga; 7c<sub>2</sub> Flysch di Teramo; 7c<sub>1</sub> Marne del Vomano; 7d<sub>2</sub> Formazione Cellino; 2b e 2a Depositi dell'avanfossa pliocenica e quaternaria. (da VEZZANI & GHISSETTI, 1998, modificato).

Montagna dei Fiori-Montagnone; la restante parte, che veniva ascritta al Membro post-evaporitico, è intesa ora appartenente al Flysch di Teramo.

In generale la successione stratigrafica dell'Unità di Tossicia, dal basso verso l'alto, è la seguente:

a) *Bisciario, Marne con Cerroghna, Marne a Pteropodi* (Aquitaniense-Tortoniano e in parte Messiniano basale), che costituiscono la sedimentazione di scarpata bacino in dominio di avampaese;

b) *Formazione della Laga* (Messiniano) che rappresenta la sedimentazione torbiditica di avanfossa. In particolare nell'area in esame, la successione, si può intendere formata solamente da *Marne a Cerroghna*



Figura 24: Marne con Cerroghna interessate da un elevato clivaggio

e dal soprastante flysch miocenico. Le prime sono costituite da marne ed argille intercalate a banchi di calcare detritico (Cerroghna) di spessore variabile da pochi centimetri alla decina di metri. Le Marne con Cerroghna affiorano lungo tutto il perimetro della Montagna dei Fiori; i contatti con le formazioni circostanti avvengono molto spesso per faglia poiché l'alto contenuto argilloso della formazione e la sua plasticità ne hanno favorito la mobilizzazione durante le fasi tettoniche avvenute nell'area (M. Mattei, 1987). In affioramento le Marne con Cerroghna nella Frazione di Ripe, si presentano un clivaggio molto sviluppato, che solitamente è caratteristico del contatto con le arenarie del Flysch della Laga. Qui le arenarie messiniane sono in continuità stratigrafica sulle Marne a Cerroghna e l'accavallamento, di difficile riconoscimento, è probabilmente situato all'interno della formazione delle Marne con Cerroghna stesse (E. Mattei, 1987).

Per la caratterizzazione stratigrafica del Flysch della Laga nel subbacino esterno si può fare riferimento alla letteratura esistente che descriveva questa porzione di flysch come Membro evaporitico. Verso il settore meridionale la formazione è caratterizzata dalla presenza di gessareniti torbiditiche intercalate, nella parte inferiore, da depositi silicoclastici. Essa presenta facies canalizzate, con spessori di circa 1000m nel settore settentrionale più depresso che passano, verso SSE, a litofacies non canalizzate di lobo, di frangia e di piana sottomarina (Centamore et al., 1991;1992). Si riscontrano arenarie prevalenti in strati da 1-2m a 5-10m e sottili intercalazioni pelitiche, passanti verso l'alto e lateralmente ad una fitta alternanza pelitico arenacea (Ghisetti et al., 1994).

### 3.3.1.1 Flysch di Teramo.

Nella nuova interpretazione di Vezzani e Ghisetti, con la notazione Flysch di Teramo si indica il Membro post-evaporitico del Flysch della Laga secondo Centamore,1993.



Figura 25: Affioramento di arenarie intercalate in peliti arenacee della Formazione della Laga nei pressi del ponte sul Salinello.

La successione stratigrafica dell'Unità di Farindola che è la più bassa di tutte le Unità Marchigiane e a cui questa formazione appartiene, si compone dal basso verso l'alto di:

a) *Flysch di Teramo* (Pliocene Inf.) che rappresenta gli ultimi stadi della sedimentazione di avanfossa;

b) *Marne del Vomano* (Pliocene inf.), che sono dovute all'evoluzione da un dominio di avanfossa a uno di bacino satellite (Centamore et al., 1991/2).

Il Flysch di Teramo, con una età che va dal Pliocene Inferiore al Messiniano post-evaporitico?, e con uno spessore complessivo maggiore di 1500m, è costituito dai depositi non canalizzati di lobo e piana sottomarina, con facies più fini e distali in cui si riconoscono locali ispessimenti lentiformi, che testimoniano la presenza di apparati trasversali. Nelle aree settentrionali i

flussi presentano uno scorrimento da N a S, ma non mancano locali apporti trasversali da W e SW.



Figura 26: Alternanza pelitico-arenacea del Flysch di Teramo in un affioramento ad E di Civitella (sbancamento a tergo dell'acquedotto).

Questa formazione è costituita da una alternanza pelitico-arenacea (fig. sopra) che verso l'alto, passa alle Marne del Vomano, rappresentate da prevalenti marne argillose ed argille azzurre. Nella parte alta del Flysch di Teramo sono presenti ripetute lenti di conglomerati prevalentemente calcarei, ma talora con subordinati elementi liguridi, e un orizzonte di vulcanoclastiti acide spesso 1-2m, datato a 5,2 M.Y. (Ghisetti et al., 1994).

In sostanza, quindi, il Flysch di Teramo si differenzia dal Flysch della Laga sia su base strutturale, sia dal punto di vista stratigrafico; infatti oltre alla presenza del livello guida (fig. a lato) c'è anche una generale diminuzione granulometrica con un aumento della componente pelitica che via via prende il sopravvento nella parte alta della formazione.



Figura 27: Livello guida vulcanoclastico (limitato dalle linee azzurre) affiorante con una certa continuità nei pressi del Convento di S. dei Lumi. Presenta una immersione di 45° in direzione Est.

### 3.3.2 DEPOSITI TERRIGENI TARDO-OROGENICI

Nell'area in esame sono rappresentati dalla Formazione di Mutignano (FMT) che si presenta come una potente successione, prevalentemente pelitica, posta in discordanza sulle formazioni delle marne del Vomano e sui termini più alti della Formazione di Cellino, deformati ed erosi. La lacuna di sedimentazione associata a tale discordanza ha ampiezza progressivamente maggiore passando dal confine marchigiano-abruzzese alle propaggini settentrionali ed orientali della Maiella. La FMT contiene, a più livelli, intercalazioni conglomeratiche, sabbiose, sabbioso-conglomeratiche e sabbioso-pelitiche, talora caratterizzate da rapidi passaggi laterali che ne hanno reso difficile la mappatura.

Nella Formazione di Mutignano, si riconosce una successione del Pliocene superiore p.p. – Pleistocene inferiore (indicata con la sigla FMT), posta al di sopra di un membro più antico denominato membro di Canzano (FMT<sub>1</sub> -Pliocene medio p.p. – Pliocene superiore p.p.). La FMT caratterizza quasi completamente la parte orientale del territorio in esame; deponendosi successivamente alla fase principale di crescita delle strutture anticlinali sepolte, presenta un regolare assetto monoclinale con blande immersioni verso ENE e risulta chiaramente in discordanza sul membro FMT<sub>1</sub> che, al contrario, mostra giaciture più irregolari e pendenze maggiori. Tale discordanza, che si localizza entro il Pliocene superiore, è di difficile individuazione sul terreno in quanto scarsi sono gli affioramenti e piccola la differenza di inclinazione riscontrabile fra FMT e FMT<sub>1</sub>. Solo esternamente al territorio comunale civitellese, essa è individuabile quanto è associata a nette variazioni litologiche (S. Omero, Bellante).

### 3.3.3 DEPOSITI CONTINENTALI

#### 3.3.3.1 Travertini.

Una delle caratteristiche principali del territorio in esame è rappresentata dall'affioramento di una spessa sequenza travertinoso, riconoscibile in tre aree che da Nord verso Sud sono: Monte Santo (544m), Civitella del Tronto (645m), Colle San Nicola (671m).



Figura 28: Vista della parete Est della placca di travertino di Civitella del Tronto, su questo versante si raggiungono spessori di circa 60m, mentre sul lato occidentale la roccia si assottiglia fino a poco più di 5 m

Tali depositi, il cui spessore varia in modo molto brusco tra 60 m e 5 m, si presentano in forme di placche, con pareti a picco e con geometria vagamente cuneiforme in direzione all'incirca E/W (fig. sotto). Nel complesso le tre placche sembrano avere una forma lenticolare, in cui il maggior spessore è della parte centrale, disposta secondo la direzione del corso fluviale del Salinello, si trova in corrispondenza dell'abitato di Civitella del Tronto.

La placca travertinoso poggia su una superficie di erosione che taglia il substrato formato dai terreni flyscioidi della Formazione della Laga e del Flysch di Teramo. Alla base dei depositi travertinosi, in particolare di Civitella e San Nicola, si rinviene un livello conglomeratico fluviale (AUCT.), di spessore variabile da pochi centimetri a uno due metri.

È ascrivibile a corsi d'acqua di tipo *braided* a meandri anastomizzati. Tale livello conglomeratico è composto da clasti calcarei, marnoso-calcarei e arenacei arrotondati e subarrotondati con una parvenza di embriatura che sembra indicare una provenienza del flusso da N a S (Farabollini, 1999). Superiormente si rinvenivano sabbie e ghiaie travertinoso a cui sono associate facies tipicamente fluviali (fig. sotto), quali stratificazioni, gradazioni, ecc., per uno spessore variabile tra i 30 cm e i 2 m. Passano verso l'alto gradualmente ad una associazione data da alternanze di sabbie travertinoso e



Figura 29: affioramento del conglomerato basale nei pressi del versante SE di Civitella

travertini fitoermali, che stanno ad indicare un ambiente palustre con frequenti incursioni di acque calcarifere (D'Argenio & Ferreri, 1992).

Le caratteristiche stratigrafiche precedentemente menzionate sono abbastanza simili nei livelli basali dei tre depositi di travertino presenti in carta. Le facies sommitali invece differiscono da placca a placca: a Monte Santo è presente la sola facies compatta, a San Nicola alla facies compatta si sovrappone superiormente una facies porosa.



Figura 30: laminazioni incrociate alla base dei travertini di Civitella del Tr. (sinistra), in quelli di San Nicola (destra)

Il deposito di Civitella è quello che presenta lo spessore maggiore (circa 60 m). La placca di travertino di ha una geometria cuneiforme con un maggiore ispessimento verso O. Al suo interno l'articolazione in facies è più complessa, come esplicitata nello schema stratigrafico fuori scala della figura a lato, rappresentativo di una ipotetica sezione E-W, ripreso dal lavoro di tesi del Dott. Tucci (2007).

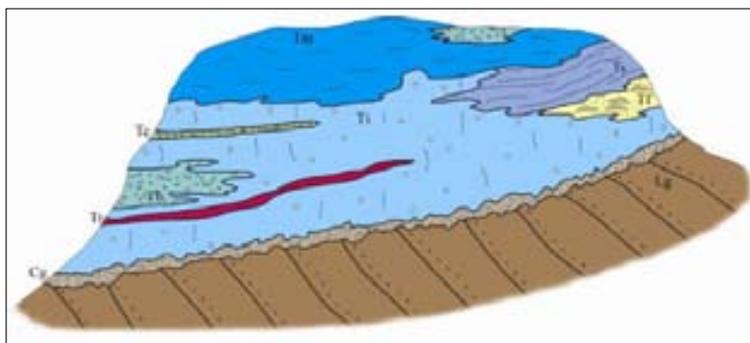


Figura 31: Schema delle facies travertinosi e dei loro rapporti nella placca di Civitella. Tm: Travertino micritico; Tf: Facies fluviali; Tr: Tefrite; Tc: Facies cannecciato; Ts: Travertino stratificato; Ti: Travertino cristallino; Tb: Travertino (Tucci, 2007)

Sul versante Est del colle si rinvennero un livello tefritico (Tr), ed un livello costituito da impronte fossili di canne (Tc), ascrivibile ad un ambiente francamente palustre.

L'U.L. prevalente nei travertini è comunque quella massiva.

### 3.3.3.2 Depositi quaternari

Lungo le valli dei fiumi principali, sono presenti quattro ordini di terrazzi alluvionali, disposti ad altezze decrescenti rispetto il fondovalle (Dramis et al., 1982; Centamore et al., 1983; Farabollini, 1995), connessi alle fasi fredde pleistoceniche ed all'attività antropica (Farabollini, 1995).

I bacini del fiume Salinello e del torrente Vibrata si estendono ai confini delle Marche con l'Abruzzo su un'area rispettivamente di circa 190 Km<sup>2</sup> e 115 Km<sup>2</sup>. Entrambi i fiumi nascono dalle pendici della dorsale della Montagna dei Fiori.

Per quanto riguarda il Salinello, questo presenta un corso ad andamento irregolare, caratterizzato, nel tratto di nostra competenza, da meandri incassati. Il brusco cambiamento di direzione che ha costretto il fiume a deviare verso NE, all'uscita della dorsale della Montagna dei Fiori, è verosimilmente da riferire agli effetti della tettonica, che mostra movimenti differenziali tra il settore centrale dell'anticlinale rispetto ai settori periclinali (Mattei, 1987). I depositi del fiume Salinello affioranti nell'area del rilievo, sono posti in discordanza angolare rispetto le formazioni flyscioidi sottostanti e caratterizzati dalla presenza di tre ordini di terrazzi, rispettivamente indicati nello schema a lato come: S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> (fig. a lato).

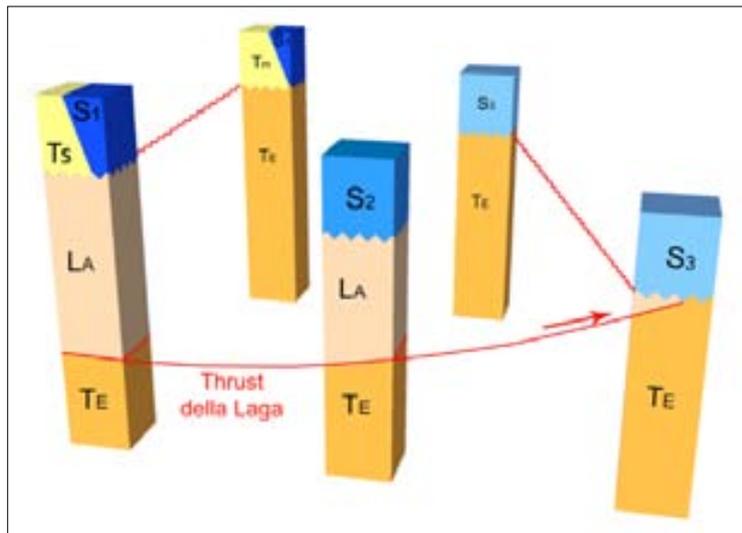


Figura 32: Schema tettono-stratigrafico illustrante i rapporti tra le formazioni Flyscioidi e i depositi alluvionali... La: Flysch della laga; Te: Flysch di Teramo; S<sub>1</sub>: Depositi terrazzati del I ordine; S<sub>2</sub>: Depositi terrazzati del II ordine. S<sub>3</sub>: Depositi terrazzati del III ordine; Tm : Travertini di Monte Santo. Ts: Travertini di San Nicola.

Non è stato possibile individuare i depositi del quarto ordine, poiché sono spesso assenti essendo attualmente il Salinello in una fase di forte incisione che ne determina l'erosione. I tre ordini di terrazzo sono progressivamente più giovani andando dal primo al terzo, a ciò corrisponde un aumento delle volumetrie presenti.

I depositi del primo ordine, hanno un'estensione limitata e uno spessore non superiore ai 10 m. Si



Figura 33: Depositi del primo ordine, nei pressi di una piccola cava abbandonata sul fianco NW di Monte Santo.

rinvengono rispettivamente sui versanti nord-orientali di San Nicola e Monte Santo: sono caratterizzati da elementi di dimensioni uguali o superiori ai 4 cm ma che solitamente aumentano alla base della sequenza alluvionale. I clasti, generalmente poligenici, sono prevalentemente ben arrotondati e discretamente appiattiti; all'interno si rinvengono lenti e/o livelli di sabbie a laminazione pianoparallela con delle intercalazioni ghiaiose, i cui clasti si presentano appena embriciati (fig. a lato).

Questi sedimenti testimoniano l'andamento del paleo-Salinello il quale, proseguendo verso N, bordava verosimilmente il colle di Monte Santo a settentrione proseguendo secondo il tratto dell'attuale torrente Vibrata. La successiva cattura ad opera di un progressivo arretramento vallivo controllato da una faglia normale con componente di trascorrenza, ne determinano l'attuale andamento.

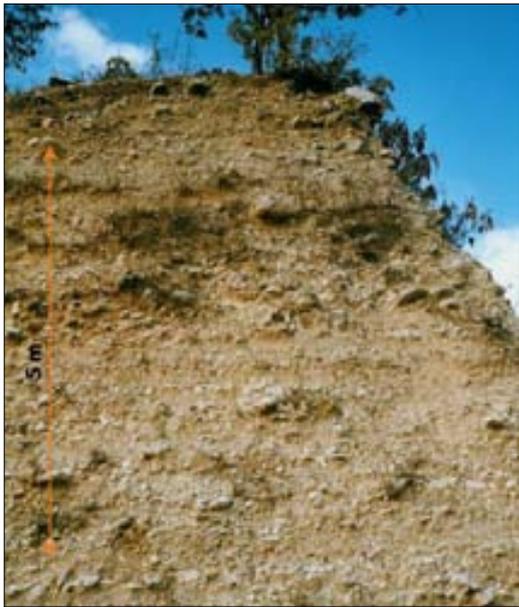


Figura 34: Depositi del secondo ordine affioranti in una cava a N di San Nicola.

I depositi del secondo ordine sono ubicati prevalentemente sul versante NW di San Nicola e in parte sulla estremità orientale di colle Gallo. Il terrazzo di San Nicola mostra un generale ispessimento verso valle dove raggiunge i 20 m di potenza in prossimità di una cava di inerti tuttora attiva. Questi depositi sono costituiti da livelli decimetrici ciottolosi a cui si alternano lenti e/o livelli, anch'essi decimetrici, di sedimenti fini. I sedimenti ciottolosi presentano stratificazione massiva o con evidente embriciature, talora alternati a sedimenti sabbiosi o siltosi, con clasti ben arrotondati, poligenici con prevalenza di quelli arenacei, immersi in una matrice sabbioso-limosa.

I depositi del terzo ordine, colmano con continuità il fondo valle del fiume Salinello, che si snoda da SW a NE rispetto al capoluogo; costituiscono volumetricamente il maggior corpo di sedimenti alluvionali presenti, arrivando fino a spessori dell'ordine dei 50 m. Sono stati ampiamente coltivati nell'ultimo trentennio, l'intensa attività estrattiva ha modificato sensibilmente la morfologia e in parete il corso del Salinello, tanto da renderli praticamente indifferenziabili rispetto ai depositi attuali del quarto ordine.



Figura 35: Vista in direzione N della valle del Salinello, dal colle di Civitella, sono evidenti le cave di inerti attive e dismesse.

Sono costituiti da ghiaie e ciottoli eterometrici centimetrici, calcarei e marnoso-calcarei, tra i quali si interpone una frazione a grana sabbiosa e sabbioso-limosa. Si tratta, almeno per quanto riguarda gli strati a grana grossa (ghiaie e sabbie), di materiali sciolti in genere moderatamente addensati, dotati di un discreto angolo di attrito ( $30^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ) e di modesta compressibilità. Per la parte a grana fine (limi, limi sabbiosi e limi argillosi) si tratta di materiali sciolti o debolmente coesivi, piuttosto compressibili e dotati di modesta resistenza al taglio. La permeabilità varia sensibilmente (da modesta ad elevata) in funzione della granulometria e della abbondanza della frazione più fine interstiziale (Adamoli L., 1998).

Per quanto riguarda i depositi del torrente Vibrata affioranti nella zona del rilevamento, questi sono costituiti essenzialmente da una conoide molto allungata che segue tutto il versante settentrionale di Monte Santo. Tali depositi presenti a NW dell'area del capoluogo,



Figura 36: Depositi della conoide del Vibrata in prossimità di uno sbancamento a SW dell'abitato di Villa Lempa, il verso della corrente è segnato in foto dalla penna e dalla relativa embriciatura dei clasti.

sono costituiti da calasti calcarei e marnoso calcarei calastosostenuti, mostrano una struttura embriicata che testimonia una direzione generale dell'approvvigionamento proveniente dal quadrante SW.

#### 3.3.3.3 Detrito di falda

Le coltri detritiche hanno una genesi composta e sono in genere caratterizzate da frammenti e blocchi spigolosi di rocce lapidee fra i quali si interpone una matrice sabbiosa o sabbioso-limosa che presenta spesso un notevole grado di ossidazione. Nella zona pedemontana risultano caratterizzate da forme generalmente allungate e sono costituite da ghiaie eterometriche, con ciottoli a spigoli vivi di natura prevalentemente calcarea, immerse in una matrice limo-sabbiosa con intercalazioni argillose (fig. a lato). Lungo i rilievi che culminano con il Capoluogo di Civitella, Monte Santo e San Nicola esse sono in parte



Figura 38: detrito di falda nei pressi di Piano San Pietro

dovute alla naturale disgregazione delle placche travertinose. Tali placche, infatti, sono interessate da almeno tre sistemi di fratture e inoltre le eteropie presenti costituiscono già di per sé delle discontinuità primarie che concorrono ad indebolire gli affioramenti e a favorire la produzione di detrito. L'insieme di queste situazioni genera le condizioni per il distacco di blocchi dalle pareti e il successivo accumulo lungo il pendio.

Come rilevato in campagna, anche l'azione antropica ha certamente concorso nel processo di disfacimento delle placche travertinose. L'intensa estrazione di materiale lapideo, a cui sono stati sottoposti i depositi di travertino nel passato, ha prodotto un ingente volume di materiali di risulta che si è sovrapposto e spesso confuso con il naturale detrito di versante. I due processi erosivi portano infatti alla produzione dei medesimi materiali, caratterizzati da blocchi e brecce di travertino a spigoli vivi; in particolare però, i materiali di risulta dell'attività estrattiva sono anche caratterizzati dalla presenza di elementi lavorati o parzialmente lavorati, che sono stati abbandonati o scartati in seguito a rottura, questi ultimi elementi sono stati esplicitivi della situazione presente.



Figura 37: detrito di falda affiorante a E dell'abitato di Civitella del Tronto.

#### 3.3.3.4 Coltre eluvio-colluviale

Costituita da depositi derivanti dal disfacimento delle rocce in posto, dal loro trasporto e successiva risedimentazione. La tessitura varia tra limi, limi sabbioso argillosi e argille limose, in funzione del tipo di roccia madre da cui derivano. Sono sciolti o poco addensati/consistenti, con talora abbondante ghiaia. È prevalentemente diffusa lungo gli impluvi e le zone depresse o ai bordi delle principali dorsali collinari e le sponde degli assi vallivi. In generale si riscontra un loro generale inspessimento verso il piede dei versanti.

### 3.3.3.5 Depositi antropici

Sono ubicati in tre zone ristrette presenti ad E dell'abitato di Civitella del Tronto. In prossimità del convento di S.M. dei Lumi (fig. sotto) si tratta di una discarica costituita prevalentemente da materiale di



Figura 39: Discarica dei materiali di risulta edilizia in prossimità del convento di S.M. dei Lumi.

risulta edilizio: calcinacci, mattoni, conglomerati cementizio. La loro pezzatura va da centimetrica a metrica, il tutto in matrice argillosa, derivante da sbancamenti nelle aree circostanti. Gli altri terreni di discarica costituiscono il substrato della piazza del paese di Civitella. Sono stati messi in evidenza, in seguito a sondaggi effettuati per i lavori di consolidamento della piazza che andava soggetta a lenti cedimenti. Questi materiali risultano sostanzialmente differenti dagli altri, in quanto sono stati collocati intorno al '500, si tratta quindi di clasti calcarei centimetraci in matrice terroso-argillosa. Infine tutta la zona

del parcheggio antistante le mura risulta essere posta sulla vecchia discarica urbana che è stata in uso fino agli anni cinquanta, cioè prima della raccolta capillare dei rifiuti. I terreni di quest'area risultano particolarmente interessati da cedimenti localizzati.

## 3.4 ELEMENTI TETTONICI

La struttura della Montagna dei Fiori-Montagnone ha funzionato da elemento di separazione tra un bacino occidentale essenzialmente messiniano (Flysch della Laga), ed uno orientale, sviluppatosi dal Messiniano al Pliocene Inferiore (Flysch di Teramo) [Ghisetti et al., 1993]. A letto del sovrascorrimento del sistema Montagna dei Fiori-Montagnone si sviluppa un'ampia fascia di sedimenti terrigeni, ascritti da Centamore et al. (1994) al Flysch della Laga, ma qui distinti nelle due unità di Tossicia e di Farindola, accavallate tra loro tramite il Thrust della Laga. La Laga risulta essere l'unità geometrica più elevata, sviluppata lungo l'allineamento S. Pietro-Tossicia-Civitella del Tronto.

Le formazioni appartenenti alle Unità Marchigiane affioranti nella fascia pedemontana tra Marche e Abruzzo, procedendo da W ad E sono: la Formazione del Montagnone-Montagna dei Fiori, la Formazione di Tossicia e la Formazione di Farindola, quest'ultima si giustappone sulla Formazione Villadegna Cellino che fa parte delle Unità Apulo-Adriatiche deformate (fig. sottostante).

Facendo riferimento allo schema della figura sottostante, viene di seguito descritto l'assetto tettonico dell'Unità di Farindola e di quella di Tossicia:

- l'Unità di Farindola costituisce l'elemento geometrico più profondo dell'edificio Marchigiano, comprendendo un cuneo di depositi terrigeni di cui non affiora la base, rappresentati dal Flysch di Teramo e dalle soprastanti marne del Vomano, essa è tettonicamente sormontata a sud dall'Unità del Gran Sasso, mentre da Castelli verso Nord è coperta in sovrascorrimento (Thrust della Laga) dal Flysch della Laga dell'Unità di Tossicia. Ad Est l'unità è delimitata dal piano di sovrascorrimento (Thrust di Teramo) che la sovrappone all'Unità Villadegna Cellino. L'Unità di Farindola è strutturata in un sistema di scaglie Est vergenti, a giacitura prevalentemente monoclinale, nella porzione a Nord di Teramo si sviluppa un sistema a pieghe anticlinali e sinclinali a largo raggio di curvatura con andamento N-S e NNW-SSE;

- L'Unità di Tossicia comprende i depositi più esterni del Flysch della Laga, tettonicamente interposti tra le marne con Cerrognia dell'Unità Montagnone-M. dei Fiori a tetto ed il Flysch di Teramo dell'Unità di Farindola a letto.

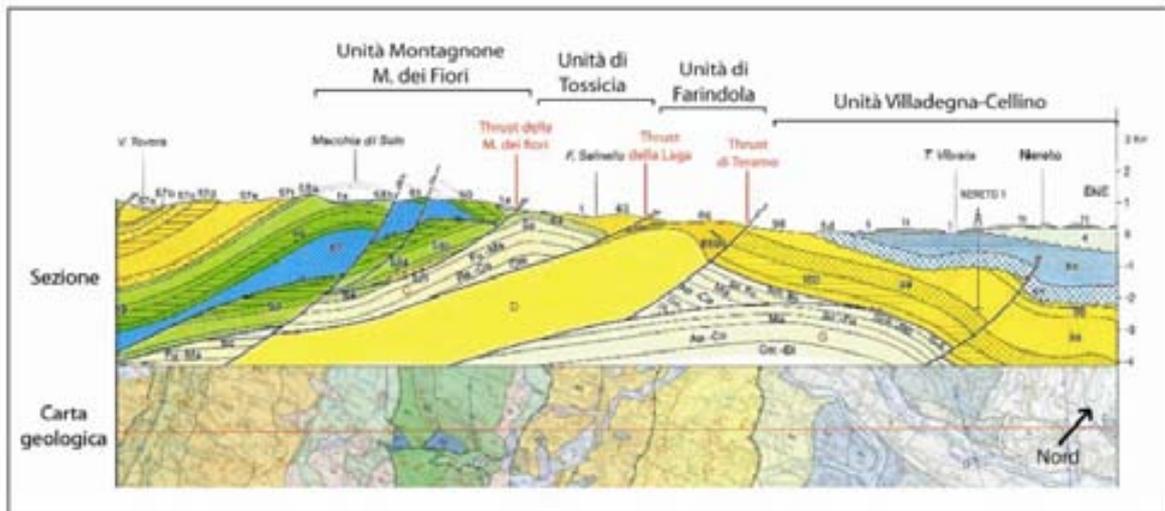


Figura 40: Sezione della Carta Geologica di VEZZANI E GHISETTI (1998); - fuori scala"

L'assetto strutturale di questa unità è mal definibile a causa della discontinuità degli affioramenti. È tuttavia possibile ricostruire una configurazione asimmetrica a pieghe est vergenti; l'Unità di Tossicia si sovrappone ad Est su quella di Farindola, tramite un ampio sovrascorrimento (Thrust della Laga) con geometria di rampa, talora tagliato da faglie normali con componente transpressiva. Questo sovrascorrimento scompare a Nord sotto la discordanza del Pliocene Medio-Pleistocene Inferiore (Ghisetti et al., 1994).

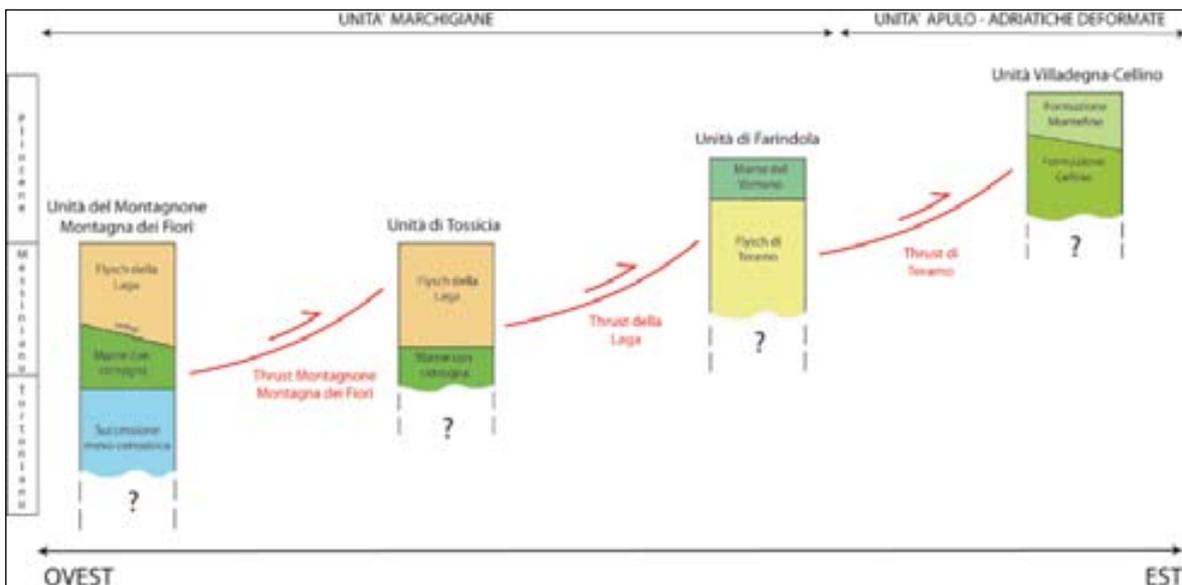


Figura 41: Schema tettonostratigrafico delle formazioni affioranti lungo la fascia pedemontana dell'Abruzzo settentrionale (Gli spessori sono fuori scala)

Nella cartografia Geologico – Tecnica dette espressioni sono state ipotizzate, nella zona ad ovest del centro storico.

Di minore rilevanza ed estensione la faglia trascorrente, inattiva, nella zona ad ovest di Sant'Eurosia.

Non sono state rilevate, invece, Faglie attive e capaci (FAC) e potenzialmente attive e capaci (FPAC).

### 3.5 CONSIDERAZIONI FINALI SULL'ARCHITETTURA STRATIGRAFICA E SULL'ASSETTO MORFOLOGICO E STRUTTURALE

Il territorio di Civitella del Tronto, nel passato recente e soprattutto nel corso degli ultimi anni, è stato interessato da frane di notevoli dimensioni che hanno spesso coinvolto le opere antropiche. Questi hanno soprattutto coinvolto i versanti con la stratificazione a franapoggio dei terreni del substrato, coperti da spesse coltri eluvio-colluviali sature.

Prima fra tutti vi è il fenomeno franoso complesso che ha investito ripetutamente il piccolo centro abitato di Villa Carosi. Inizialmente sono state le coltri eluvio-colluviali, anche se non si esclude che i movimenti del febbraio 2017 abbiano interessato anche una parte del substrato.

Dal rilevamento dei satelliti RADARSAT-1 e Sentinel-1, disponibili per il periodo 2003-2009 e 2014-2017 si evince come la zona interessata dalla frana del 12 febbraio 2017, che ha di nuovo coinvolto l'abitato di Villa Carosi, si evince che il campo delle deformazioni ha una componente dominante verso ESE, con valori di oltre 5 m per ampi settori della frana. Le deformazioni maggiori si registrano nella porzione superiore della frana, in corrispondenza della SP n. 8 e a valle di Villa Carosi. In queste aree i valori massimi raggiungono i 10 m di spostamento lungo la linea di vista del satellite.

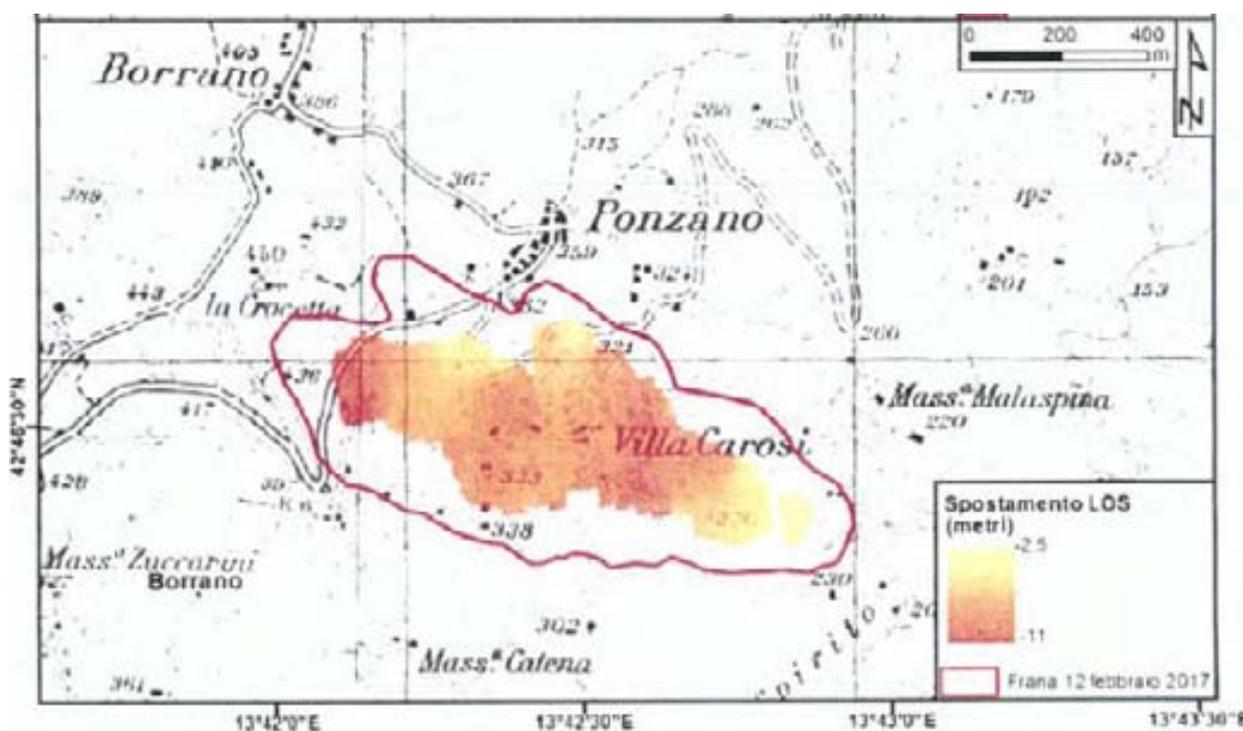


Figura 42: tratto dal "Report di sintesi delle risultanze dei sopralluoghi, del monitoraggio e delle attività di analisi del dissesto che ha interessato l'abitato di Ponzano, nel Comune di Civitella del Tronto" (5 giugno 2017 – Prof. Casagli, Prof. Guzzetti)

I ripetuti interventi di consolidamento che si erano realizzati non sono stati sufficienti al ripristino della stabilità geomorfologica.

Il 18 marzo 2015, un fenomeno franoso complesso che ha interessato una superficie di circa 7 ettari ha lambito l'abitato di Ripe di Civitella. Si tratta della riattivazione parziale di un precedente ed antico fenomeno franoso di cui si leggono i segni in alcuni aspetti morfologici e cartografici. Il fenomeno si è verificato a seguito di una eccezionale ondata di maltempo. Ma le cause preparatorie dovute a un diffuso dissesto idrogeologico erano precedenti.

Infine, in data 12 febbraio 2017, la Frazione di Ponzano è stata in parte investita dalla riattivazione di un esteso fenomeno franoso (fig. 1). Anche qui il movimento si è attivato a seguito di una eccezionale ondata di maltempo a cui si è sovrapposta una lunga sequenza sismica.

Si segnala, inoltre, come risentimenti dei fenomeni meteo e sismici avvenuti nel 2017 si siano avuti nell'abitato della Frazione di Borranò (fig. 1).

## 4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale ha consentito di esaminare numerose relazioni geologiche, prodotte a corredo di progetti di opere pubbliche e di acquisire copia delle indagini geognostiche e di laboratorio eseguite.

Le diverse tipologie di indagini geotecniche e geofisiche utilizzate nel presente studio, ed il relativo numero, sono elencate nel seguito.

Sono stati complessivamente analizzati i risultati di 295 indagini geognostiche. Di queste, 45 sono state appositamente realizzate per lo studio di microzonazione sismica di terzo livello mentre le restanti 250 provengono dalla banca dati di indagini geognostiche allegata allo studio di livello 1.

### 4.1 DATI PREGRESSI

Il sottosuolo del territorio comunale è stato indagato per svariati scopi (ricerche d'acqua, caratterizzazione geotecnica, ricerca di materiali granulari da cavare, ecc.) nei decenni precedenti.

Ai fini della microzonazione sismica di livello 1, la prima operazione effettuata ha riguardato la raccolta di tutti i sondaggi ricadenti all'interno del Comune di Civitella del Tronto. Tutto questo materiale conoscitivo, reperito dagli archivi comunali o gentilmente messo a disposizione dai Professionisti operanti nel territorio, è stato trasformato in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS, secondo gli standard di archiviazione richiesti.

#### 4.1.1 INDAGINI GEOTECNICHE

---

- n. 44 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n. 40 Sondaggi a carotaggio continuo che hanno intercettato il substrato (SS)
- n. 37 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DS)
- n. 16 Trincee o pozzetti esplorativi (T)
- n. 10 Sondaggi a carotaggio continuo (S)
- n. 10 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)
- n. 8 Sondaggi da cui sono stati prelevati campioni (SC)
- n. 5 stratigrafie di pozzi per acqua
- n. 3 Sondaggi a distruzione di nucleo (SD)
- n. 1 Sondaggi a distruzione di nucleo che hanno intercettato il substrato (SDS)

#### 4.1.2 INDAGINI GEOFISICHE

---

- n. 53 misure di microtremori a stazione singola (HVSr)
- n. 24 prove sismiche di tipo MASW
- n. 2 prove sismiche di tipo rifrazione
- n. 1 Prove sismiche in foro di tipo "Down Hole".

Di seguito si riporta l'ubicazione e le frequenze fondamentali di vibrazione del terreno e le ampiezze dei relativi picchi nei rapporti spettrali H/V (A0), dalle indagini geofisiche effettuate per lo studio di livello 1.

n.	Codice identificativo	Ubicazione		F0	A0
		coord_X	coord_Y		
1	067017P129-HVSR393	391520	4736549	12,35	2,77
2	067017P138-HVSR402	389784	4737248	2,15	2,36
3	067017P137-HVSR401	389357	4736283	2,6	4,46
4	067017P136-HVSR400	390627	4733817	4,1	4,44
5	067017P135-HVSR399	393953	4739901	2,45	3,38
6	067017P134-HVSR398	391866	4737228	Non utilizzabile	
7	067017P133-HVSR397	393549	4740325	7,85	2,15
8	067017P132-HVSR396	391791	4736286	9,25	2,23
9	067017P131-HVSR395	391625	4736179	2,6	2,64
10	067017P130-HVSR394	391905	4736114	18,8	3,45
11	067017P148-HVSR412	397795	4738436	Senza picchi significativi	
12	067017P147-HVSR411	397239	4737588	3,35	4,71
13	067017P146-HVSR410	396641	4737401	3,05	3,29
14	067017P145-HVSR409	396991	4736931	2,2	2,28
15	067017P144-HVSR408	386058	4739870	4,7	4,44
16	067017P143-HVSR407	386946	4739599	4,55	7,59
17	067017P142-HVSR406	387286	4739779	10,85	7,23
18	067017P141-HVSR405	387896	4739131	20,7	2,79
19	067017P140-HVSR404	386815	4738965	13,1	4,13
20	067017P139-HVSR403	389942	4739239	2,45	3,7

## 4.2 DATI ACQUISITI EX-NOVO

Ad integrazione dei dati esistenti è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine. Le prove geognostiche e geofisiche ex novo sono state implementate nella Carte delle Indagini e il database di archiviazione contiene le informazioni relative ad ogni singola prova realizzate ad hoc per gli approfondimenti del livello 3.

Tali indagini, unitamente a quelle contenute nella banca dati del livello 1, hanno permesso di ricostruire il modello geologico delle aree interessate dallo studio di microzonazione sismica di livello 3.

Considerato il numero e l'estensione delle aree di approfondimento si sono implementate soprattutto le misure misura delle frequenze naturali dei terreni.

### 4.2.1 DESCRIZIONE DEL PIANO DELLE INDAGINI

In ordine all'art. 3 del Disciplinare di incarico per lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Civitella del Tronto, si è redatto un Piano delle Indagini focalizzato sulle aree sottoposte al Livello 3 della MS.

Le indagini sono state ubicate in funzione dei seguenti criteri:

- distribuzione dei dati pregressi;
- livello presunto di pericolosità relativa, evidenziato nella Carta delle MOPS di livello 1;
- tracce delle sezioni rappresentative che correderanno la Carta Geologico-Tecnica del livello 3.

#### 4.2.1.1 Schematizzazione dei dati acquisiti ex-novo

Area MS Livello 3	Prove HVSR		Prove MASW		Prova DH		Sondaggio	
	in progetto	realizzate						
Rocca Ischiano	3	5	-	-	-	-	-	-
Rocca Ceppino	2	2	1	1	-	-	-	-
Centro storico	6	6	-	-	1	1	1	1
Colle Santa Maria dei Lumi	3	4	1	1	-	-	-	-
Ponzano	5	5	1	1	1	1	1	1
Borrano	3	3	1	1	-	-	-	-
Sant'Eurosia	2	3	-	1	1	1	1	1
Santa Croce	2	3	-	1	-	-	-	-
Lucignano	1	2	1	1	-	-	-	-
Totale	33		7		3		3	

#### 4.2.1.2 Dati ex novo

##### 4.2.1.2.1 Indagini geotecniche

Sono stati realizzati complessivamente n. 3 sondaggi geognostici, spinti a profondità variabili tra 15 m e 20 m, utilizzando il metodo di perforazione *rotary* con una sonda CMV 900. La perforazione geognostica è stata eseguita a rotazione e carotaggio continuo, ad andamento verticale, con carotiere semplice del diametro di 101 mm, con rivestimenti da 127 mm per la stabilizzazione del foro quando necessario e senza circolazione di fluidi. I campioni di terreno prelevati nel corso dei sondaggi sono stati riposti in apposite cassette catalogatrici, quindi esaminati e registrati i caratteri litostratigrafici (vds. allegati) e fotografati.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati realizzati delle prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*) con lo scopo è di ottenere valori quantitativi sulla resistenza del suolo alla penetrazione. La prova consiste nel far cadere un maglio da 63,5 Kg, con un ritmo di 20/25 colpi al minuto, da un'altezza di 76,2 mm su una batteria di aste<sup>4</sup> che possiedono nella parte terminale una punta conica di dimensioni standard. Si registra il numero di colpi  $N_{SPT}$  necessario ad ottenere una penetrazione della punta di 30 cm; tale valore rappresenta la resistenza alla penetrazione. I valori delle prove S.P.T. riportati in seguito sono riferiti esclusivamente al terreno direttamente investigato. I valori di coesione che possono essere dedotti dalla correlazione esistente tra la relazione a compressione non confinata e il numero di colpi  $N_{SPT}$ , hanno una valenza esclusivamente puntuale. I campioni estratti sono stati opportunamente prelevati e inviati al laboratorio indicato.

Al termine delle operazioni di sondaggio, i fori sono stati attrezzati con idoneo tubo in PVC pesante, del diametro interno di 79 mm, munito di canaletta laterale per eseguire la cementazione dello stesso procedendo da fondo foro verso la superficie, per prova sismica di tipo DH.

Nel corso delle perforazioni sono state realizzate prove speditive di resistenza sulle carote dei terreni estratti.

<sup>4</sup> Caratteristiche delle aste:

diametro interno 34.1 mm; diametro esterno 43.7 mm; peso circa 7 Kg/ml; lunghezza 3 m.

Le aste terminano con un campionatore cilindrico (a punta aperta o chiusa) di dimensioni standard.

Le cassette con i campioni di ogni perforazione sono state lasciate sui siti di indagini a disposizione dell'Amministrazione.

Il primo sondaggio, identificato con il codice P182, è stato realizzato a Ponzano e si è addentrato per circa 11 m nei terreni del substrato geologico avendo raggiunto la profondità di 15 m. Nel corso della perforazione sono state eseguite n. 2 prove SPT e prelevati n. 2 campioni rimaneggiati e n. 1 campione indisturbato mediante campionatore rotativo Mazier mod.

Il secondo sondaggio, identificato con il codice P183, è stato realizzato nel centro storico di Civitella del Tronto. A causa dell'accessibilità limitata del punto in cui si era inizialmente progettato, lo si è realizzato sul perimetro orientale del centro storico. Il sondaggio ha raggiunto una profondità di 20 m e si è addentrato per circa 13 m all'interno dei terreni del substrato geologico. Nel corso della perforazione sono state eseguite n. 4 prove SPT e prelevati n. 2 campioni rimaneggiati e n. 2 campioni indisturbati mediante campionatore a pareti sottili.

Il terzo sondaggio, identificato con il codice P184, è stato realizzato nell'area di Sant'Eurosia di Civitella del Tronto. Ha raggiunto una profondità di 20 m e si è addentrato per circa 16 m all'interno dei terreni del substrato geologico. Nel corso della perforazione sono state eseguite n. 3 prove SPT e prelevati n. 3 campioni rimaneggiati e n. 1 campione indisturbato mediante campionatore a pareti sottili.

#### 4.2.1.2.2 Indagini geofisiche

Sono state realizzate:

- n. 3 Prove sismiche in foro di tipo "Down Hole". L'acquisizione è stata operata dall'Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara su commessa del Centro MS.

Le specifiche tecniche della strumentazione utilizzata è sintetizzata nella seguente figura:

SISMOGRAFO PAFI mod. 18524	
Processore	Pentium 233MMX Intel
Treatmento dati	Floating Point 32-bit
Ambiente operativo	Windows 3.11
Interfaccia multilingue	Italiano, Inglese Francese Spagnolo, ecc...
Numero canali	24
Puntamento	VersaPoint Mouse
Display	VGA a colori in LCD-TFT 10.4"
Supporto di memorizzazione	Hard-Disk 4.3 Gb
Risoluzione di acquisizione	16 bit (24 bit con sovracampionamento e post Processing)
Stampante (opzionale)	Seiko CPU-411 thermal printer
Porte dati esterne	RS232, stampante, tastiera
Sonde ambiente interne	Temperatura e umidità relativa
Protezioni interne	Termiche prevenzione e controllo surriscaldamento (Warning sul display e blocco)
Compatibilità dati acquisiti	SEG-2
Connettori geofoni 1 o 2	Standard NIK-27-21C
Alimentazione	12Vdc (batteria e alimentatore, opz.)
Allarme	Di batteria scarica
Temperatura Funzionamento	0°C - 55°C
Immazzinaggio	-55°C - 150°C
Umidità	5% - 90% non condensante
Dimensioni fisiche	(482.6 x 355.6 x 196.8 mm)
Peso	da 14 a 20 Kg
Durata acquisizione	32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048 ... 16000,00 ms
Tempi di campionamento	31, 62, 125, 250, 500, 1000, 2000 µs
Filtri in acquisizione e uscita:	
- Passo alto	25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz
- Passo basso	250, 500, 1000 Hz
- Notch	50, 60, 150, 180 Hz

Le specifiche di acquisizione sono:

Risoluzione	16 Bit reali
Guadagno = 1	97 dB
Guadagno = 5	101 dB
Guadagno = 10	105 dB
Guadagno = 20	105 dB
Guadagno = 50	105 dB
Guadagno = 100	105 dB
Larghezza di Banda	5KHz (qualunque guadagno)
<b>Rumore di sistema</b>	
QUADAGNO	RUMORE DI SISTEMA (Compreso quello di quantizzazione)
- da 2 a 10	0.6 LSBrms
- 20	0.7 LSBrms
- 50	1.1 LSBrms
- 100	2.0 LSBrms

Le caratteristiche dei geofoni sono:

**GEOFONI**  
**Sonde geofoniche da foro** n. 2 Geofoni triassiali 10 Hz collegati rigidamente a distanza di 1.0 m  
 n. 1 geofono triassiale mod. GEOSTUFF BHO-3 orientazione automatica

**Geofoni verticali**  
 Quantità n. 25  
 Marca GYO-Geospace  
 Frequenza 14Hz

**Geofoni verticali**  
 Quantità n. 25  
 Marca PASI CDJ - Z 4.5  
 Frequenza 4.5 Hz

**Geofoni orizzontali**  
 Quantità n. 25  
 Marca MARK  
 Frequenza 14Hz

**Geofono starter**

Le caratteristiche degli energizzatori:

**Per onde P - SH**  
 Mazza da 8 Kg  
 Sistema a caduta libera con massa da 100 Kg  
 Sistema idraulico con massa accelerata semovente

- n. 7 prove sismiche di tipo MASW;

Al fine della ricostruzione del modello geofisico dei siti in cui si è effettuato lo studio di livello 3, si è eseguita un'indagine sismica superficiale con tecnica MASW utilizzando un sismografo M.A.E. 24 bit 24 canali con geofoni da 4,5 HZ. La misura degli stendimenti e delle caratteristiche di acquisizione è riportata in ogni report di acquisizione.

n.	Codice identificativo	Ubicazione	Vs30
1	L28	Lucignano	364,49
2	L29	Santa Croce	361,80
3	L27	Sant'Eurosia	388,21
4	L24	Borrano	483,87
5	L25	Ponzano	423,31
6	L23	Colle Santa Maria dei Lumi	536,43
7	L22	Rocca Ceppino	439,64

- n. 33 misure di microtremori a stazione singola (HVSJR).

Le caratteristiche della strumentazione utilizzata è riportata nei fogli di campagna allegati ai report.

- Indagine Georadar

L'indagine Georadar è stata inizialmente effettuata per la ricerca dei sottoservizi che potevano interferire con la realizzazione dei sondaggi previsti.

Successivamente, lungo le tre vie principali del Centro storico, è stato effettuato un rilievo georadar speditivo finalizzato alla ricerca di eventuali cavità sotterranee, come approfondimento richiesto dal livello 1 di MS. Le sezioni di acquisizioni sono state effettuate a centro carreggiata.

Per le acquisizioni è stato utilizzato un GEORADAR GSSI SIR SYSTEM-3000, a cui è stata montata un'antenna 400Hz. Di seguito un esempio di radargramma interpretato.

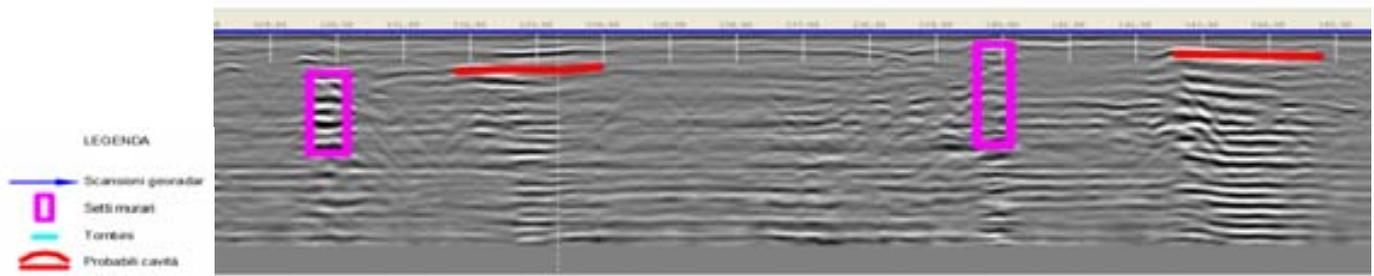


Figura 43: Esempio di radargramma interpretato

#### 4.2.1.2.3 Indagini geologiche

Durante il rilevamento geologico, pur non avendo realizzato un rilievo geomeccanico delle fratture del Travertino rilevato nel Centro storico, si è comunque perimetrata la zona di affioramento a più intensa fratturazione e riportata nella Carta Geologico-Tecnica della MS3.

## 5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS

### 5.1 ZONA PEDEMONTANA

La zona pedemontana comprendente le Frazioni: Ripe, Fucignano, Collebighiano, Piano San Pietro, Gabbiano, Cerqueto del Tronto, Cornacchiano Pagliericcio, Mucciano, Valle Sant'Angelo.

Essa è caratterizzata dalla presenza nel sottosuolo, da ovest verso est, delle Marne con Cerroigna e della Formazione della Laga, coperti lungo i versanti da coltri colluviali o detritiche.

La zona più interna è caratterizzata da amplificazioni ad alta frequenza ( $F_0 \approx 2,5 \div 4,7$  Hz), a indicare un elevato contrasto di impedenza non eccessivamente profondo, associabile alle coperture colluviali e detritiche in appoggio al substrato; laddove il substrato è più superficiale si misurano picchi di  $F_0 > 9 \div 13$  Hz.

### 5.2 AREA COLLINARE INTERNA

La zona collinare interna che vede il passaggio dalla zona pedemontana alla parte di bassa collina e comprende le aree edificate del capoluogo comunale di Civitella del Tronto e le Frazioni: Sant'Andrea e Rocche.

Il capoluogo civitellese si sviluppa su di una scarpata caratterizzata dalla presenza alla sommità di una placca travertinoso, sovrapposta alla Formazione della Laga organizzata secondo una monoclinale con generale immersione verso i quadranti orientali.

Nella zona del centro storico vi sono diverse cavità ipogee. Si tratta cavità sotterranee realizzate presumibilmente all'interno del blocco arenaceo e arenaceo-pelitico della Formazione della Laga.

La zona del capoluogo è caratterizzata da alte frequenze con  $F_0 \approx 7 \div 18$ , a indicare un contrasto di impedenza piuttosto superficiale. Vista la conformazione topografica della dorsale collinare su cui si sviluppa il capoluogo si individua una potenzialità di amplificazione per effetti topografici e morfologici, legata sia alla presenza di un pendio con inclinazione  $>15^\circ$  che alla presenza di una cresta rocciosa; sono possibili distacchi di blocchi travertinosi e crollo di cavità sotterranee. Talvolta si riscontra un doppio picco ( $F_1$ ) a frequenze maggiori.

L'area di Colle S.Maria, ad est del capoluogo, è l'unica zona del territorio comunale in cui le indagini hanno permesso la definizione del substrato rigido, con valori di  $V_s > 800$  m/s.

Particolare è la situazione stratigrafica di Rocche che presenta un substrato riferibile alla Formazione della Laga inclinato ed estesamente coperto da una coltre colluviale. Le frequenze sono alte, dell'ordine di  $F_0 \approx 3,8 \div 4,6$ . Sono potenzialmente possibili amplificazioni litologiche e geometriche.

### 5.3 ZONA COLLINARE ESTERNA

La zona collinare esterna comprende le Frazioni: Santa Reparata, Sant'Eurosia, Borrano, Ponzano, Villa Chierico, Carosi. L'area vede il passaggio dalla Formazione della Laga alle Marne del Vomano. Le frequenze sono alte, dell'ordine di  $F_0 \approx 3,3 \div 4,6$ .

Particolare è la situazione di Borzano, Ponzano, Carosi dove le coltri colluviali che coprono i terreni del substrato sono interessate da estesi fenomeni franosi che coinvolgono anche i nuclei abitati. Si riscontra, pertanto, potenziali situazioni di amplificazioni dovute instabilità con attivazioni o riattivazioni dei movimenti franosi in essere.

In questa zona sono comprese anche le Frazioni: Lucignano, Palazzese, Santa Croce, Favale, Tavolaccio, Villa Selva. È caratterizzata dal passaggio dalle Marne del Vomano alla Formazione di Mutignano.

Le frequenze sono alte, dell'ordine di  $F_0 \approx 2,3 \div 3,4$ .

#### 5.4 AREA DI PIANURA

Comprende la frazione di Villa Lempa, Piano Risteccio, Villa Passo e l'estrema porzione orientale del territorio, a sud-est di Favale. Il centro abitato più popolato è la Frazione di Villa Lempa.

Nell'area i depositi del substrato sono coperti da una potente coltre alluvionale.

La zona di Villa Lempa si caratterizza per alte frequenze con  $F_0 \approx 2,4 \div 3,9$ , associabile al contatto copertura alluvionale-substrato o alluvioni fini-alluvioni grossolani. Visto l'elevato spessore della coltre alluvionale, giustapposta a un substrato litoide, in relazione agli effetti dovuti a una sollecitazione sismica, si individua per l'abitato di Villa Lempa potenzialità di amplificazione sismica locale per effetti di sito stratigrafici.

Le indagini geofisiche di tipo MASW acquisite generalmente non hanno rilevato la presenza del basamento entro i 30 m dal piano di campagna.

Nelle altre zone alluvionali le indagini disponibili rilevano frequenze dell'ordine di 2,15-2,45 Hz.

#### 5.5 UNITÀ GEOLOGICO-TECNICHE: DEFINIZIONE E PARAMETRIZZAZIONE

Le indagini per l'esplorazione del sottosuolo ha fornito elementi necessari per la parametrizzazione geotecnico-geofisica dei litotipi presenti nel territorio in esame. Nella sottostante tabella si sono sintetizzate le principali proprietà fisiche, meccaniche e geofisiche rilevanti per la modellazione della risposta sismica locale, che hanno comunque un esclusivo valore puntuale e indicativo e non sono, perciò, da intendersi come rappresentativi dell'intero territorio.

Litologia	Cont. naturale di acqua (%)	Grado di saturazione (%)	Limite liquido (%)	Limite plastico (%)	Indice di plasticità	Indice di consistenza	$c'$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'$	$\phi'r$	Vs (m/sec)
Colluvioni su FMT1a										100-250
FMT1a alterata										300-400
FMT1a	18,5	92,64%	38,5%	17,5%	21	0,95	0,08	25°	19,7°	400-700
Colluvioni su MVO										180
MVO alterate	19,44	78,06	34,6	18,14	17	0,92				340
MVO	17,23	80,62	37,6	18,93	19	1,1				710
Colluvioni su LAG6c								22,9		180-220
LAG 6c alterata	24,7 16,96	77,28 71,97	34,4 34,5	20,22 19,06	14,18 15,45	1,38 1,14	0,15 0,18 0,08	22,8 28,8 27,4		200-420
LAG 6c										550-700
Coll LAG 6a										160
LAG 6a alterata										476-500

LAG 6a										770-900
Colluvioni su LAG 6b										318
LAG 6b alterata										574-795
LAG 6b										994-1250
Colluvioni su LAG 5b										170
LAG 5b alterata										370-480
LAG 5b										600-800
Tra										200-390

Tra dati pregressi registrati nel corso del livello 3 della MS, molto utili per la modellazione geotecnica e sismica della zona di Sant'Eurosia sono risultati gli esiti dell'indagine geologica espletata per la ristrutturazione di un edificio, in particolare dei sondaggi a carotaggio continuo, spinti fino a massimo 20 metri dal p.c., con prelievo di campioni indisturbati del substrato e determinazione dei rispettivi limiti di Atterberg.

Questi evidenziano che le MVO sono caratterizzati da un grado di plasticità media: IP =18,7 (campione prelevato a 17,5÷18 m); IP =16,49 (campione a 5,2÷5,5 m).

## 5.6 SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE

Allegate alla Carta Geologico-Tecnica sono n. 21 sezioni geologico-tecniche rappresentative dell'assetto geologico e geomorfologiche del territorio. Nella realizzazione delle sezioni geologiche si sono utilizzati anche i dati del sottosuolo desunti dalla Carta delle Indagini quali i log stratigrafici e degli spettri del rumore strumentale acquisiti lungo o in prossimità delle sezioni.

Per ogni area su cui è stato effettuato lo studio di microzonazione di livello 3, sono state realizzate due sezioni geologico-tecniche, rappresentative della complessità del sottosuolo, che si vanno ad affiancare a quelle realizzate nel livello 1.

Nelle sezioni sono stati evidenziati i seguenti elementi:

- Andamento dell'interfaccia substrato geologico-coperture;
- Discontinuità sismiche e litostratigrafiche, morfologie sepolte e di superficie;
- Spessori significativi delle unità geologico-tecniche omogenee;
- Zone interessate da instabilità (frane);
- Elementi tettonici e strutturali rilevanti;
- Andamento della superficie piezometrica.

Le sezioni sono risultate essenziali per la determinazione dell'input geologico-tecnico necessario per l'esecuzione delle analisi di risposta sismica locale nell'ambito delle attività connesse con la microzonazione sismica di terzo livello. Esse sono state essenziali anche per fornire l'input geometrico per la realizzazione della modellazione dinamica in campo bidimensionale.

La distribuzione non omogenea delle indagini sul territorio comunale spesso non ha reso possibile definire con certezza lo spessore delle varie coltri e l'individuazione del substrato rigido. Si ritiene, pertanto, che in futuro ulteriori approfondimenti dovranno essere svolti nel territorio in corrispondenza delle diverse frazioni che allo stato attuale sono privi di indagini dirette, così da approfondire le informazioni di carattere stratigrafico, attraverso la realizzazione mirata di sondaggi geognostici, prove geotecniche in sito e di laboratorio e prove geofisiche, ai fini della definizione del modello geologico di riferimento. Inoltre, la definizione del substrato rigido resta uno degli obiettivi prioritari per gli approfondimenti successivi su tutto il territorio comunale; non si ritengono sufficienti, infatti, i dati scaturiti dai tre sondaggi effettuati, dalle tre prove down-hole e dalle prove di laboratorio su campioni prelevati. I sondaggi, contravvenendo alle previsioni, non sempre hanno permesso di individuare con certezza il substrato sismico. I dati derivanti da prove di laboratorio tesi a determinare il modulo di taglio ed il rapporto di smorzamento iniziali ( $G_0$ ,  $D_0$ ) e ricavare le leggi di variazione con la deformazione tangenziale  $\gamma$ , del modulo di taglio  $G(\gamma)$  e del rapporto di smorzamento  $D(\gamma)$  non sono sufficienti per avere valori estendibili all'intero territorio.

Nella Frazione di Villa Lempa, che è la frazione più popolata di Civitella del Tronto, sono necessarie maggiori informazioni sull'andamento del substrato nel sottosuolo, delle caratteristiche della conoide e delle sue caratteristiche idrogeologiche, visto il ruolo che la presenza della falda acquifera e la sua oscillazione stagionale ha dal punto di vista sismico. Dalle indagini risulta generalmente un livello piezometrico superiore a 15 m, ma alcune misure puntuali derivanti da un sondaggio e da una prova penetrometrica reperita fanno registrare livelli piezometrici intorno ai 9 m di profondità dal piano di campagna. Tali misure in questa fase, vista la situazione idrogeologica generale dell'area, sono state interpretate come accumuli locali poco significativi o come residuo dei fluidi di circolazione immessi durante la perforazione di sondaggio. Altri sondaggi sono auspicabili nella zona mediana della frazione e nella zona industriale.

Nel centro storico le indagini geofisiche, mediante l'utilizzo di un georadar, ha permesso l'identificazione di anomalie riconducibili a cavità sotterranee. La chiusura degli edifici a causa del terremoto non ha consentito la verifica diretta delle stesse e l'esecuzione degli eventuali rilievi geomeccanici per definire gli eventuali meccanismi di rottura ed individuare le adeguate opere di consolidamento, qualora si evidenziasse condizioni di precarietà, che si rimanda pertanto a futuri approfondimenti.

Approfondimenti per la valutazione di potenziali effetti amplificativi sono necessari nei centri abitati di Villa Lempa e di Rocche, esclusi da questo studio.

Buona parte dell'abitato di Borranò ricade in una zona con fenomeni gravitativi attivi. È necessario un costante monitoraggio finalizzato all'individuazione di una corretta regimazione delle acque di deflusso e agli interventi di consolidamento dell'edificato.

Approfondimenti e monitoraggi in un arco di tempo appropriato sono necessari anche per la frazione di Gabbiano, in quanto dalla cartografia del Progetto IFFI - "Inventario dei fenomeni franosi in Italia" il centro abitato risulta interessato da un fenomeno franoso, e per alcuni edifici di Cerqueto ricadenti anch'essi, a seguito del rilevamento geomorfologico, in un'area instabile.

Fonti di incertezza sono legate, nell'ambito della tettonica attiva, alla mancanza di studi di dettaglio finalizzati alla conoscenza delle strutture sismogenetiche che possono interessare il territorio in esame,

considerata anche la sua prossimità alla faglia normale della dorsale Montagna dei Fiori-Montagna di Campli, anche se ritenuta preliminarmente inattiva in quanto geomorfologicamente priva di espressioni superficiali (Galadini F. et al., 2004-2005).

L'affioramento dei travertini presso il Capoluogo è stato rappresentato nella Carta Geologico-Tecnica in maniera meno estesa rispetto al CARG in quanto il limite sul versante meridionale, estesamente edificato, è stato tracciato tenendo conto dei risultati degli scavi di cui alle indagini P40, P42, P44 e P 47, che hanno sempre intercettato la Formazione della Laga.

Le evidenze di campagna hanno consentito di ipotizzare la presenza di una faglia con componente trascorrente a sud-est di S. Eurosia il cui andamento è in discordanza con la cartografia del CARG. Altri elementi di difformità con la predetta cartografia riguarda il presunto sovrascorrimento posto nel Foglio 339 "Teramo", immediatamente ad est del capoluogo comunale (vds. figure sottostanti).

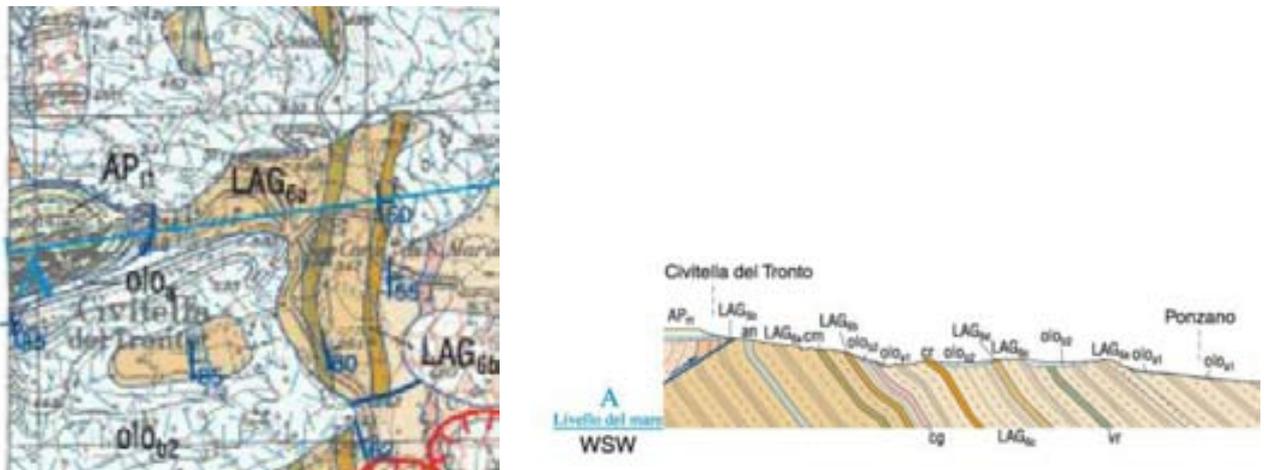


Foto 5: stralcio Carta geologica del Foglio 339 "Teramo" e sezione geologica - CARG

Le evidenze morfologiche del sovrascorrimento subito a sud si Civitella (Colle Gallo, "Collina degli Olivi") sono assenti, anzi propendono nel far ritenere che il sovrascorrimento corra sotto San Nicola (ad est della placca) per poi raccordarsi, piegando, con la valle del Salinello.

Si segnala da ultimo che verso ovest il salto morfologico sotto Civitella è notevolissimo e negli affioramenti visibili non si registra la presenza di zone cataclastiche così importanti come quelle associabili ad un sovrascorrimento di questa entità. Le giaciture prese nei suddetti affioramenti presentano immersioni verso i quadranti orientali.

In merito alla trasposizione delle scarpate presenti sulla cartografia del PAI, il Comune non ha ancora provveduto ad attuare la Circolare concernente le procedure per la trasposizione delle scarpate morfologiche (art. 20, comma 1 e allegato F delle Norme di Attuazione del PAI), di cui alla Circolare dell'Autorità di bacino n. RA/44509 del 11 aprile 2008 e RA/132630 del 19 maggio 2015. Si è pertanto effettuato un controllo ragionato delle scarpate riportate nella cartografia del PAI, rimandando alle fasi successive la corretta trasposizione delle stesse e l'apposizione delle fasce di rispetto secondo le specifiche contenuto nell'Allegato F. delle Norme di Attuazione del PAI.

Lo studio di Microzonazione Sismica di livello 3 del Comune di Civitella del Tronto è stato realizzato seguendo i dettami degli “Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica” (Gruppo di Lavoro MS, 2008) finalizzati all'analisi di pericolosità sismica, necessaria per la valutazione del rischio sismico ed applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell'emergenza e della normativa tecnica per la progettazione.

Lo scopo della Microzonazione sismica è quello di valutare la pericolosità sismica di un territorio attraverso l'individuazione di zone caratterizzate da un comportamento sismico omogeneo.

Ciò viene sintetizzato, come descritto in precedenza, con una carta del territorio nel quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico non subisce modifiche rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida affiorante e topografia pianeggiante (Categoria di suolo A delle NTC e dell'Eurocodice 8), per cui gli scuotimenti attesi possono essere equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità sismica di base;
- le zone in cui il moto sismico subisce modifiche rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida affiorante e topografia pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio (effetti di amplificazione sismica locale);
- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

Il livello 3 dello studio di Microzonazione Sismica rappresenta il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione approfondita del territorio basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo.

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- le Zone Stabili: aree nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica, in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- le Zone suscettibili di instabilità, ovvero zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiali).

### 7.1 ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE

In corrispondenza di 9 siti indicati dal Centro MS e dall'Amministrazione Comunale di Civitella del Tronto sono stati realizzati gli studi del livello 3 della MS con l'obiettivo di definire, attraverso simulazioni numeriche della propagazione del moto sismico dal basamento roccioso di origine alla superficie, gli accelerogrammi attesi a piano campagna, i relativi spettri di risposta ed i parametri sismici rappresentativi.

### 7.1.1 SCELTA DELL'INPUT SISMICO

---

Le simulazioni numeriche mono (1D) e bidimensionali (2D), condotte nell'ambito della microzonazione sismica di III livello del Comune di Civitella del Tronto, sono state effettuate assumendo come moto di input un insieme di 7 accelerogrammi naturali spettro-compatibili con gli spettri di risposta elastici prescritti dalla normativa sismica italiana (CS.LL.PP. 2008, di seguito denominate NTC08), considerando un periodo di ritorno  $T_r = 475$  anni, forniti dal Centro MS (di cui all'Ord. n. 24 del 12 maggio 2017).

La selezione dei 7 accelerogrammi ha avuto come obiettivo la riproduzione della pericolosità sismica al sito di in esame, che è codificata dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08), che, a loro volta, sono basate sulla mappa di pericolosità sismica a scala nazionale (OPCM 3519 del 28/04/2006; Montaldo et al 2007).

Per la selezione degli accelerogrammi da utilizzare come input è stato utilizzato il codice REXELite (Iervolino et al, 2011), sviluppato nell'ambito del progetto S4 della convenzione 2007-2009 tra INGV e DPC, come collaborazione tra INGV, Politecnico di Milano e consorzio RELUIS, e disponibile al sito della banca dati accelerometrica Europea e Italiana (rispettivamente <http://esm.mi.ingv.it> e <http://itaca.mi.ingv.it>).

Lo spettro elastico di accelerazione di riferimento al sito in REXELite viene costruito a partire dalle indicazioni di NTC08, specificando le coordinate geografiche del sito, la categoria di sottosuolo (A, B, C, D o E), la categoria topografica (T1, T2, T3, T4), la "Vita Nominale" dell'opera strutturale, la "Classe d'Uso" e lo "Stato Limite" di interesse.

Gli accelerogrammi naturali vengono selezionati dalla banca dati, specificando: i) un intervallo di magnitudo e distanza sorgente-sito; ii) il tipo di meccanismo focale dell'evento; iii) la categoria di sottosuolo della postazione di registrazione.

La disaggregazione della mappa di pericolosità sismica (disponibile al sito <http://esse1.mi.ingv.it>) rappresenta il riferimento per l'individuazione dello scenario, in termini di magnitudo e distanza, che maggiormente contribuisce alla pericolosità del sito in esame.

L'insieme di 7 accelerogrammi è stato selezionato in modo che la loro media, in un intervallo di periodi di interesse, sia compresa tra una tolleranza minima e massima rispetto allo spettro di riferimento. NTC08 definisce una tolleranza minima del 10%, mentre non è definita una tolleranza massima, che, nel caso del codice utilizzato, è fissata al 30%.

Di seguito vengono specificati i criteri per la costruzione dello spettro elastico di riferimento, la selezione dei records e i criteri per la ricerca della spettro-compatibilità.

Lo spettro elastico di accelerazione di riferimento è stato costruito specificando (in parentesi i campi richiesti dal codice REXELite):

1. Selezione del centroide del comune, latitudine e longitudine in gradi decimali: latitudine (*latitude [degrees]*), longitudine (*longitude*)
2. Categoria di sito secondo NTC08 (*Site classification (EC8)*): A / A\*
3. Classe topografica secondo NTC08 (*Topography*): T1
4. Vita nominale (*Nominal life*): 50 anni
5. Classe d'uso (*Building functional type*): II,  $c_u = 1.0$
6. Stato limite, espresso come probabilità (*Limit state probability*): 10%

La ricerca delle registrazioni nella banca dati ha le seguenti caratteristiche:

1. Componenti del moto del suolo (*Ground motion components*): una componente orizzontale (*One horizontal component*)
2. Criterio per la classificazione di sito (*Station site classification criteria*): A, A\*
3. Magnitudo minima e massima per la selezione dei record (*Magnitude min - max*)
4. Tipo di magnitudo (*Type of magnitude to consider*): Mw o MI indifferentemente (*Mw or MI indifferently*)
5. Distanza epicentrale minima e massima per la selezione dei record (*Epicentral distance min - max*)
6. Inclusione / Esclusione records (*Include...*): *late triggered*: No; *analog records*: No
7. Meccanismo focale (*Focal mechanism*): faglia normale (*Normal faulting*)

Criteri per la compatibilità con lo spettro di normativa:

- 1) Intervallo di periodo (*Period range*): 0.1 - 1.1s
- 2) Tolleranza (*Tolerance*): *upper*: 30; *lower*: 10
- 3) Scalatura dei records (*Scaled records*): No

Per l'intervallo di periodi si fa riferimento all'Ord. n. 24 del 12 maggio 2017.

Nel caso di mancanza di compatibilità con i criteri sopra elencati, sono stati modificati, uno alla volta, i seguenti parametri:

1. Meccanismo focale (*Focal mechanism*): Qualsiasi meccanismo (*Any mechanism*)
2. Utilizzo del database internazionale
3. Inclusione / Esclusione records (*Include...*): Record analogici (*Analog records*)
4. Scalatura dei records (*Scaled records*): Yes
5. Criterio per la classificazione di sito (*Station site classification criteria*): B, B\*

I risultati di seguito riportati che sono stati forniti dal Centro MS sul sito FTP comunale sono:

- a) 7 time-histories di accelerazione in formato ASCII (64 righe di intestazione e valori di accelerazione, in cm/s<sup>2</sup>)
- b) 7 spettri di risposta in accelerazione corrispondenti alle 7 time-histories in formato ASCII (64 righe di intestazione; periodo, accelerazione spettrale, in cm/s<sup>2</sup>)
- c) File readme.txt, in formato ASCII, in cui viene sintetizzata la procedura di selezione
- d) Spettro\_input.txt, in formato ASCII (periodo, accelerazione spettrale in cm/s<sup>2</sup>), che rappresenta lo spettro di riferimento NTC08 per il sito in esame
- e) Summary.png che rappresenta graficamente il risultato della selezione
- f) Report.pdf che sintetizza i risultati dell'analisi, in cui vengono riportati gli spettri di risposta in accelerazione e le forme d'onda selezionate.

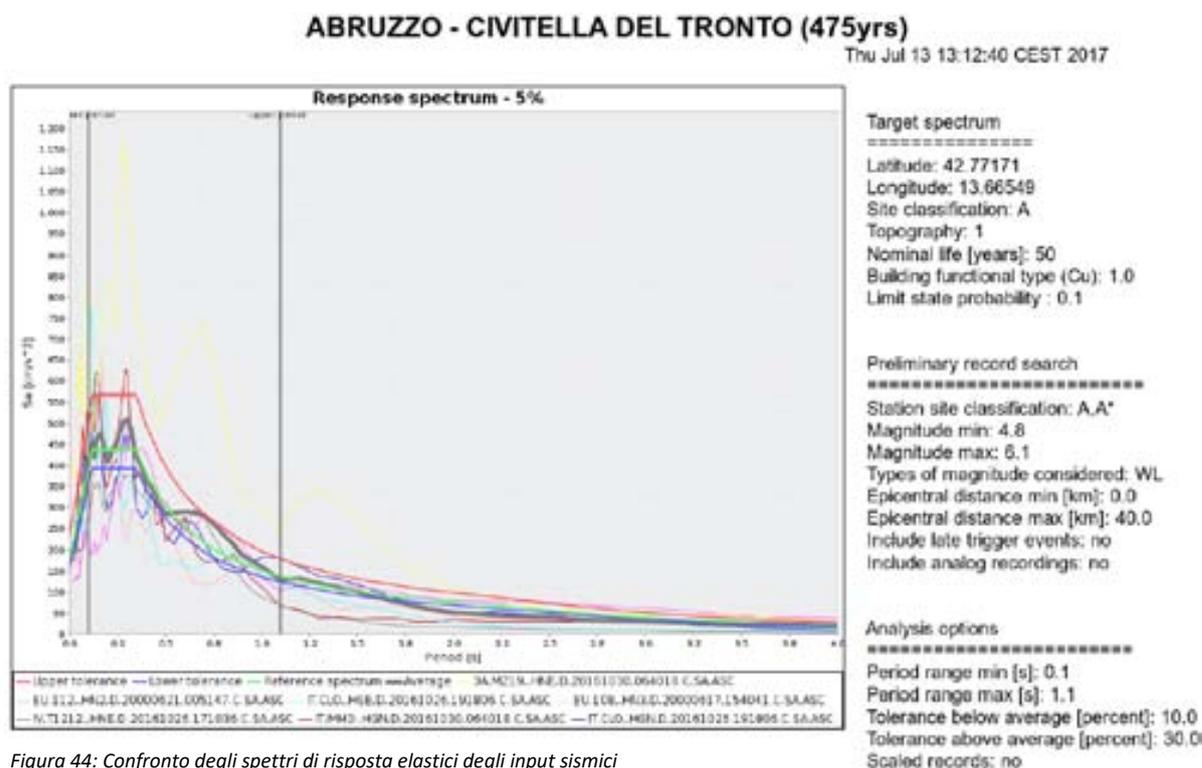


Figura 44: Confronto degli spettri di risposta elastici degli input sismici

Tabella 5: Caratteristiche dei 7 accelerogrammi spettrocompatibili selezionati dal Centro MS

Segnale	EVENT NAME	EVENT_ID	EVENT_DATE	EVENT_LAT DEGREE	EVENT LONG. DEGREE	EVENT DEPTH Km	Mw	PGA cm/s <sup>2</sup>	SITE CLASS. EC8	FOCAL MECHANISM	STATION CODE	EPICENTRAL DISTANCE Km
3A.MZ19..HNE.D.20161030.064018.C.ACC	CENTRAL_ITALY	EMSC-20161030_0000029	30/10/2016	42.8322	13.1107	9.2	6.5	-356.084703	A*	NF	MZ19	22.6
EU.108..HN3.D.20000617.154041.C.ACC	ICELAND	IS-2000-0048	17/06/2000	63.9220	-20.4670	10.0	6.5	155.407250	A*	SS	108	20.7
EU.112..HN2.D.20000621.005147.C.ACC	ICELAND	IS-2000-0053	21/06/2000	63.9050	-20.7420	10.0	6.5	126.436591	A*	SS	112	13.2
IT.CLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC	CENTRAL_ITALY	EMSC-20161026_0000095	26/10/2016	42.9087	13.1288	7.5	5.9	-179.955087	A*	NF	CLO	10.8
IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC	CENTRAL_ITALY	EMSC-20161026_0000095	26/10/2016	42.9087	13.1288	7.5	5.9	-189.388350	A*	NF	CLO	10.8
IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.ACC	CENTRAL_ITALY	EMSC-20161030_0000029	30/10/2016	42.8322	13.1107	9.2	6.5	-185.085632	A*	NF	MMO	19.2
IV.T1212..HNE.D.20161026.171036.C.ACC	CENTRAL_ITALY	EMSC-20161026_0000077	26/10/2016	42.8802	13.1275	8.7	5.4	176.708485	A*	NF	T1212	15.8

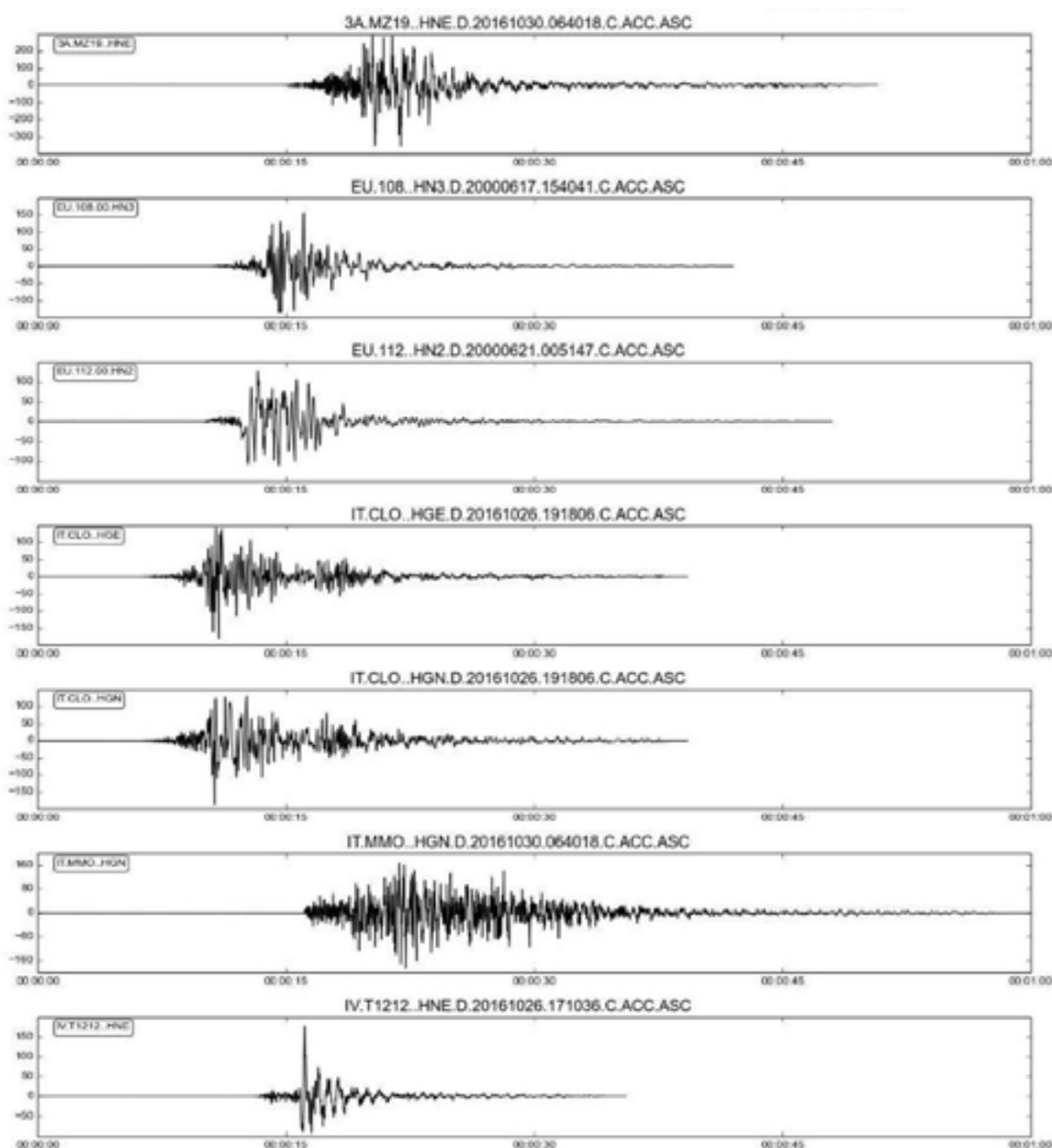


Figura 45: Accelerogrammi utilizzati nelle analisi di risposta sismica locale ( $T_r=475$  anni):

Tabella 6: Spettro di input di riferimento NTC08 per il sito in esame

Periodo	Accelerazione (cm/s <sup>2</sup> )	0.1	399.9580334709953	0.303	437.1564344724221
0.0	176.76762746243415	0.102	404.4218415911665	0.312	437.1564344724221
0.04	266.0437898658586	0.104	408.8856497113377	0.323	437.1564344724221
0.0408	267.82931311392707	0.106	413.3494578315089	0.333	437.1564344724221
0.0417	269.83802676800417	0.109	420.04517001176583	0.345	437.1564344724221
0.0426	271.8467404220812	0.111	424.50897813193694	0.357	428.58473967884515
0.0435	273.85545407615825	0.114	431.20469031219386	0.37	413.52635693337226
0.0444	275.8641677302353	0.116	435.6684984323651	0.385	397.41494042947465
0.0455	278.3192621963295	0.119	437.1564344724221	0.4	382.5118801633693
0.0465	280.5511662564151	0.122	437.1564344724221	0.417	366.9178706030633
0.0476	283.00626072250924	0.125	437.1564344724221	0.435	351.7350622191901
0.0488	285.684545594612	0.128	437.1564344724221	0.455	336.27418036340157
0.05	288.36283046671474	0.132	437.1564344724221	0.476	321.43855475913386
0.0513	291.264305744826	0.135	437.1564344724221	0.5	306.0095041306954
0.0526	294.1657810229373	0.139	437.1564344724221	0.526	290.8835590595964
0.0541	297.5136371130657	0.143	437.1564344724221	0.556	275.18840299522964
0.0556	300.86149320319413	0.147	437.1564344724221	0.588	260.2121633764417
0.0571	304.20934929332253	0.152	437.1564344724221	0.625	244.80760330456635
0.0588	308.0035861954681	0.156	437.1564344724221	0.667	229.39243188208053
0.0606	312.0210135036222	0.161	437.1564344724221	0.714	214.29236983942258
0.0625	316.2616312177849	0.167	437.1564344724221	0.769	198.9658674451856
0.0645	320.72543933795606	0.172	437.1564344724221	0.833	183.6791741480765
0.0667	325.6356282701444	0.179	437.1564344724221	0.909	168.32205947783027
0.0678	328.0907227362386	0.185	437.1564344724221	1.0	153.0047520653477
0.069	330.7690076083413	0.192	437.1564344724221	1.05	145.71881149080735
0.0702	333.4472924804441	0.2	437.1564344724221	1.11	137.84211897779073
0.0714	336.1255773525468	0.204	437.1564344724221	1.18	129.66504412317605
0.0727	339.0270526306581	0.208	437.1564344724221	1.25	122.40380165227818
0.0741	342.15171831477795	0.213	437.1564344724221	1.33	115.04116696642686
0.0755	345.276383988978	0.217	437.1564344724221	1.43	106.99633011562777
0.0769	348.4010496830176	0.222	437.1564344724221	1.54	99.35373510736866
0.0784	351.7489057731461	0.227	437.1564344724221	1.67	91.61961201517828
0.08	355.3199522692831	0.233	437.1564344724221	1.82	84.06854509085039
0.0816	358.89099876542	0.238	437.1564344724221	2.0	76.50237603267385
0.0833	362.68523566756556	0.244	437.1564344724221	2.22	68.92105948889537
0.0851	366.7026629757196	0.25	437.1564344724221	2.5	57.15583868856765
0.087	370.9432806898823	0.256	437.1564344724221	2.86	43.67255022293852
0.0889	375.18389840404495	0.263	437.1564344724221	3.33	32.21455616008331
0.0909	379.6477065242162	0.27	437.1564344724221	4.0	22.326499487721744
0.093	384.334705050396	0.278	437.1564344724221		
0.0952	389.2448939825843	0.286	437.1564344724221		
0.0976	394.60146372678986	0.294	437.1564344724221		

## 7.1.2 SIMULAZIONI NUMERICHE MONODIMENSIONALI 1D

### 7.1.2.1 Descrizione dei codici di calcolo utilizzati

Le simulazioni numeriche monodimensionali 1D sono state eseguite tramite l'utilizzo del codice di calcolo STRATA (Kottke & Rathje, 2008).

I parametri di input necessari all'esecuzione di un'analisi di risposta sismica locale attraverso il codice STRATA sono:

- la sequenza stratigrafica e la profondità del substrato sismico;
- per ogni strato il peso dell'unità di volume  $\gamma_n$  e la rigidezza a taglio iniziale  $G_0$ ;
- per ogni strato le curve di decadimento del modulo di taglio,  $G(\gamma)$  e di incremento del damping,  $D(\gamma)$ , dove  $\gamma$  = deformazione a taglio;
- gli accelerogrammi di input.

### 7.1.2.2 Curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping

Le curve di decadimento del modulo  $G(\gamma)$  e di incremento del damping  $D(\gamma)$  utilizzate per le analisi di risposta sismica locale sono state definite sia da dati noti di letteratura e sia dai risultati di prove di colonna

risonante realizzate su campioni indisturbati di terreno prelevati nell'ambito dello studio di Livello 3 del Comune di Civitella del Tronto e di Castel Castagna.

I valori misurati della rigidità a taglio normalizzata ( $G/G_0$ , con  $G_0$  valore massimo misurato a piccolissime deformazioni) e del damping ( $D$ ), rappresentati in funzione della deformazione a taglio  $\gamma$ , sono riportati nelle Tabelle e figure seguenti.

Deformazione angolare $\gamma'$ (%)	Rapporto $G/G_0$	Rapporto di smorzamento $D$ (%)
0.00015	1	2.58
0.0002	0.99	2.68
0.0003	0.97	2.99
0.0003	0.93	3.47
0.0005	0.91	3.87
0.0007	0.88	4.20
0.0011	0.83	5.08
0.0014	0.80	6.15
0.0065	0.53	10.16
0.0322	0.19	11.14
0.0370	0.18	11.15
0.040	0.175	11.16
0.060	0.17	11.17
0.080	0.17	11.17

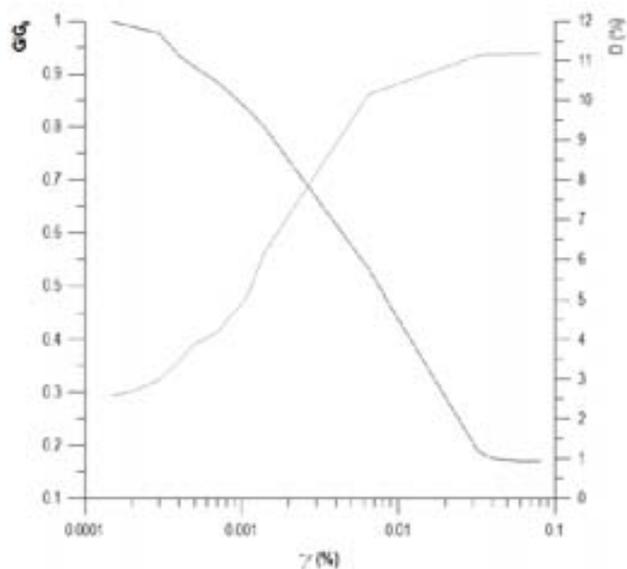


Figura 46: Risultati delle Prove RC-TS di Ponzano

Deformazione angolare $\gamma'$ (%)	Rapporto $G/G_0$	Rapporto di smorzamento $D$ (%)
0.0002	1	2.73
0.0004	0.99	2.8
0.0006	0.98	2.85
0.0008	0.97	2.91
0.0011	0.96	2.99
0.0017	0.95	3.09
0.0022	0.94	3.2
0.0028	0.93	3.3
0.0038	0.92	3.4
0.005	0.91	3.5
0.007	0.9	3.6
0.01	0.89	3.7
0.015	0.87	3.8
0.02	0.85	3.9
0.03	0.82	4.1
0.04	0.79	4.3
0.06	0.74	4.6
0.1	0.68	5.0
0.15	0.62	5.5
0.2	0.57	6.0
0.3	0.5	6.8
0.4	0.45	7.5
0.5	0.4	8.2
0.6	0.36	8.8
0.8	0.31	9.5
1.0	0.27	10.2
1.5	0.23	11.0
2.0	0.2	11.8
3.0	0.17	12.5
4.0	0.15	13.2
6.0	0.14	14.0
8.0	0.14	14.5
10.0	0.14	15.0

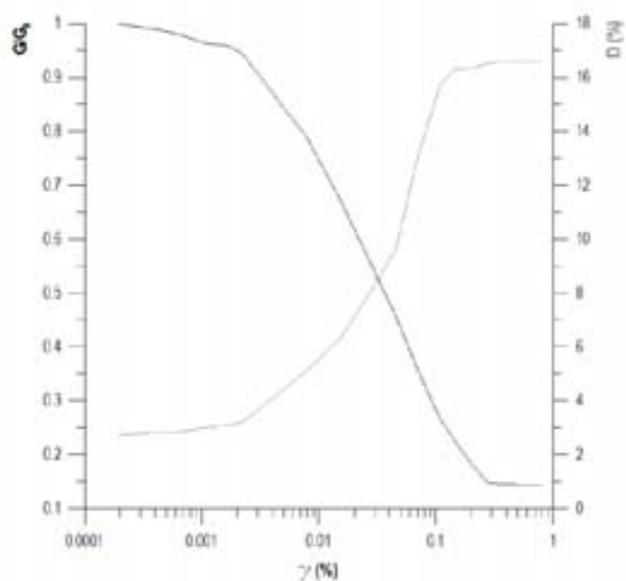


Figura 47: Risultati delle Prove RC-TS di Ponzano

Deformazione Angolare $\gamma$ [%]	Rapporto G/G0	Smorzamento D [%]
0.00014	0.99	3.08
0.00030	0.99	2.97
0.00079	1.00	2.63
0.00159	0.98	2.65
0.00323	0.98	2.72
0.00751	0.92	3.22
0.01049	0.87	3.65
0.01348	0.82	4.03
0.01854	0.76	4.74
0.02394	0.69	5.42
0.02902	0.64	6.16
0.03471	0.59	6.81
0.04510	0.53	8.25
0.05771	0.45	9.42
0.07713	0.39	10.92
0.10100	0.32	12.41
0.12887	0.27	14.24
0.16472	0.23	15.49

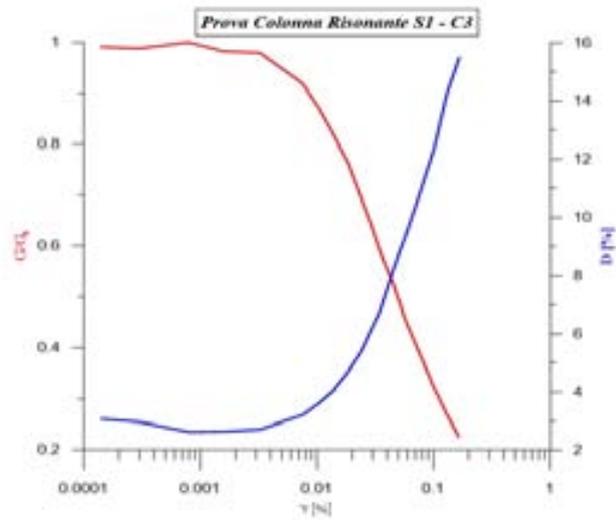


Figura 48: Risultati delle Prove RC-TS di Castel Castagna

### 7.1.2.3 Lucignano MOPS 2007

#### 7.1.2.3.1 Sezione Geologico Tecnica e Modello Numerico

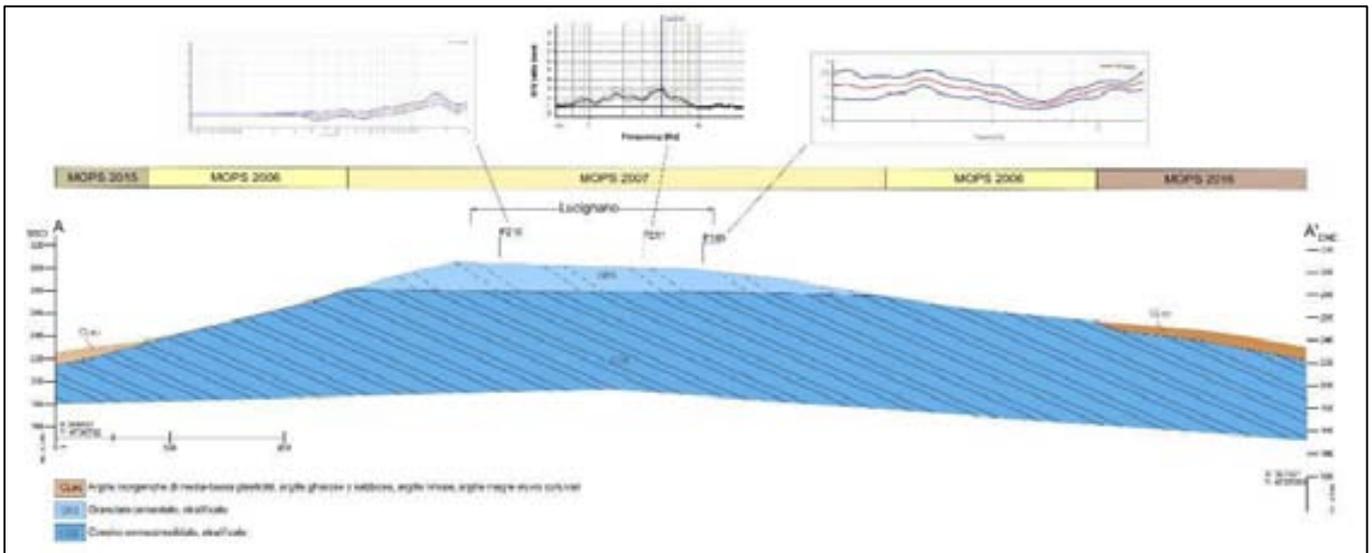
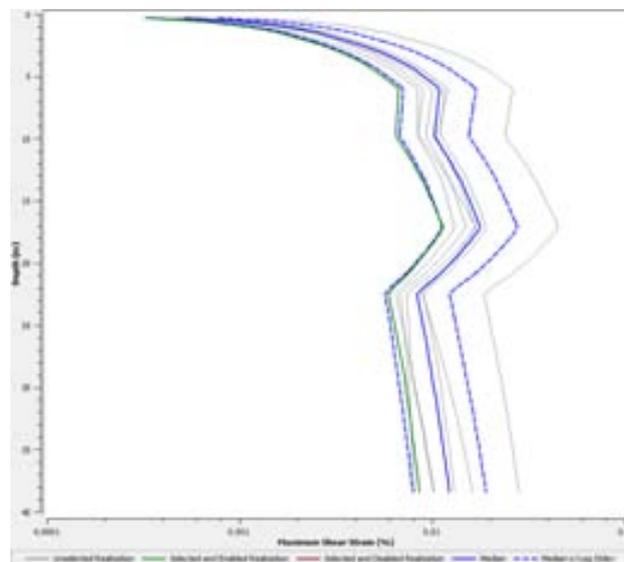
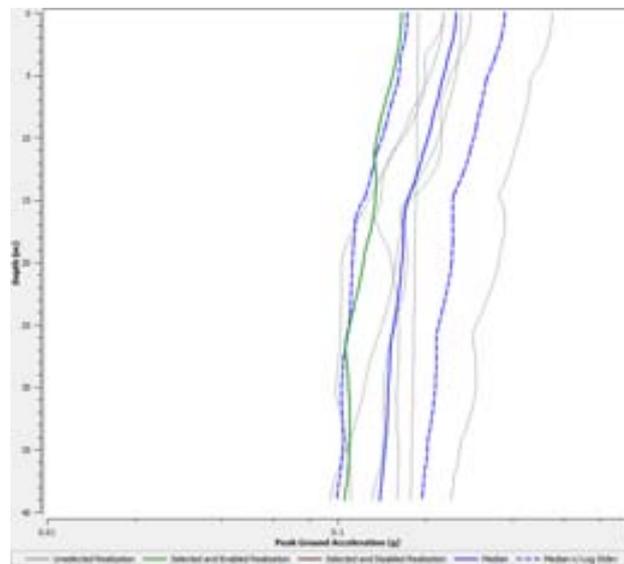
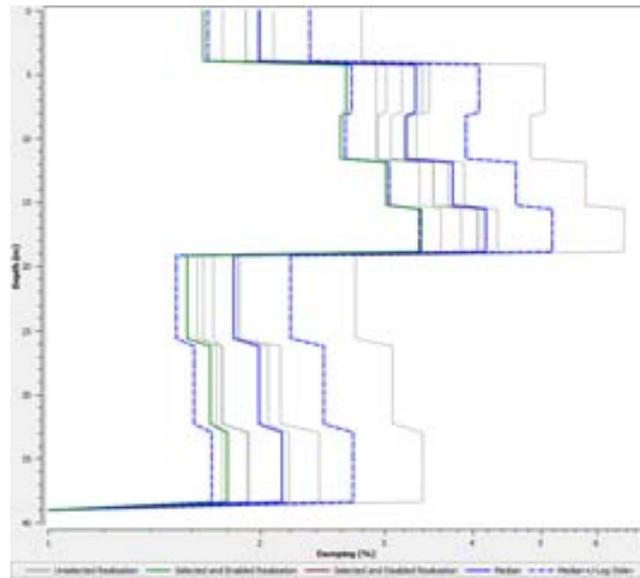


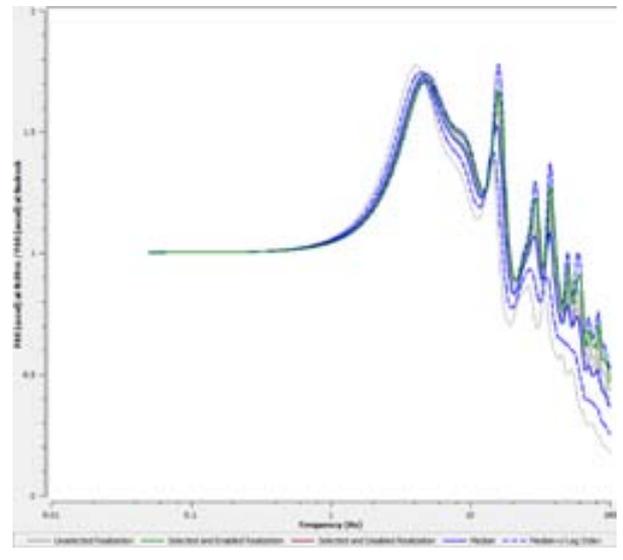
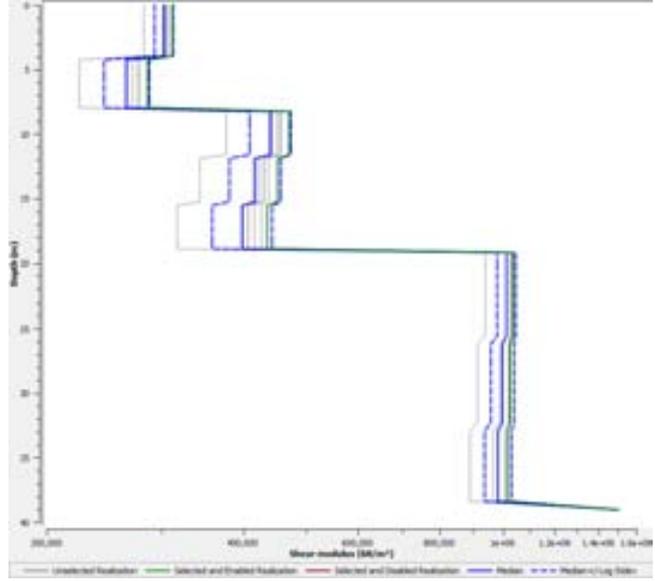
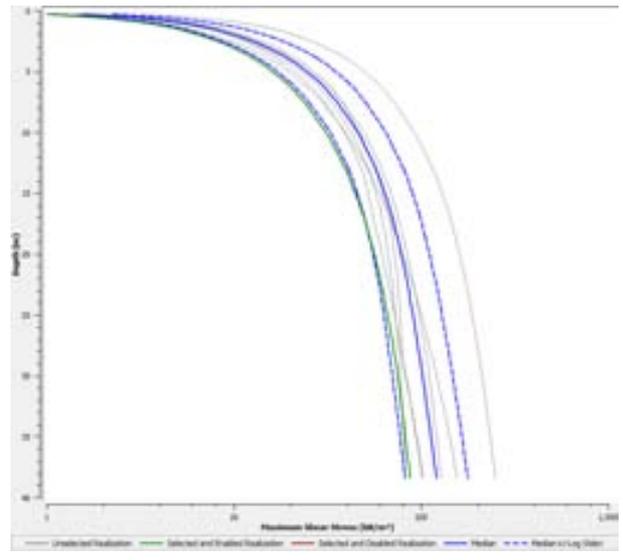
Figura 49: Sezione Geologico Tecnica A-A' Lucignano

Tabella 7: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Lucignano

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
FMT1b alterata	20	400	Rollins et al. 1998 medio	8.0
FMT1b	21	500	Rollins et al. 1998 medio	11.0
FMT1a	22	700	Darendeli e Stokoe 2001	20.0
Bedrock	23	800		

7.1.2.3.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali





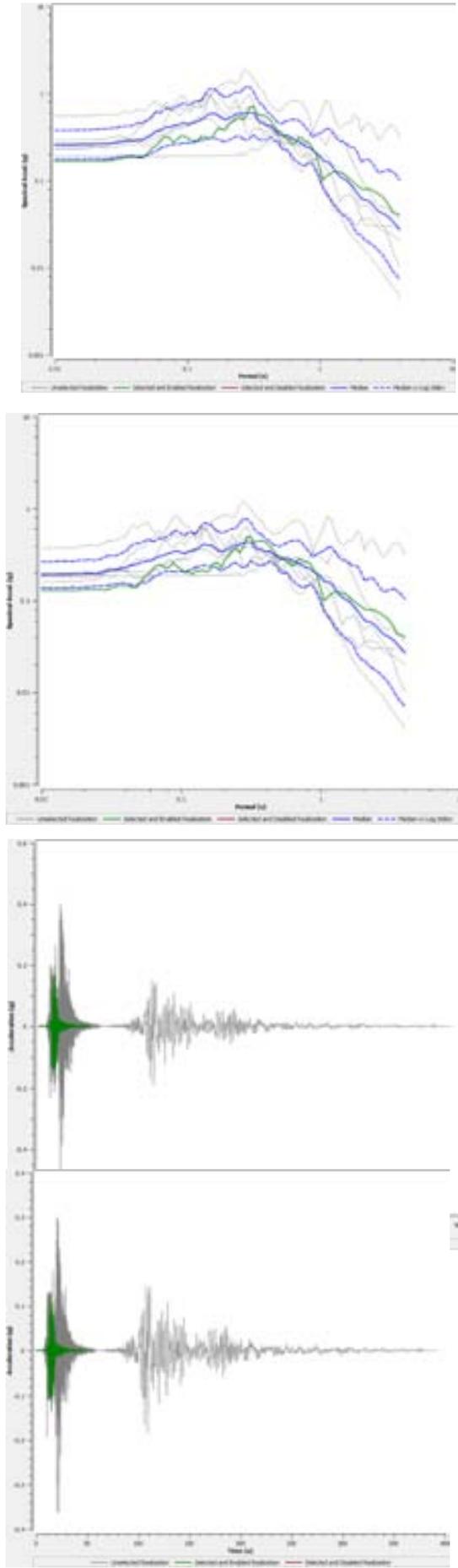
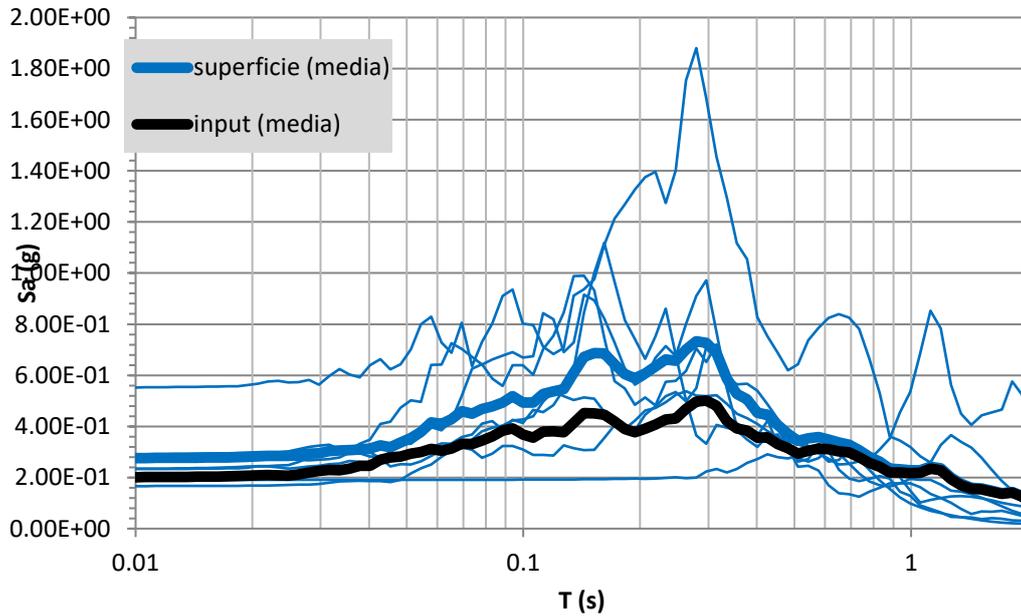


Tabella 8: Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.36	1.14	1.07



#### 7.1.2.4 Santa Croce

##### 7.1.2.4.1 Sezione Geologico Tecnica

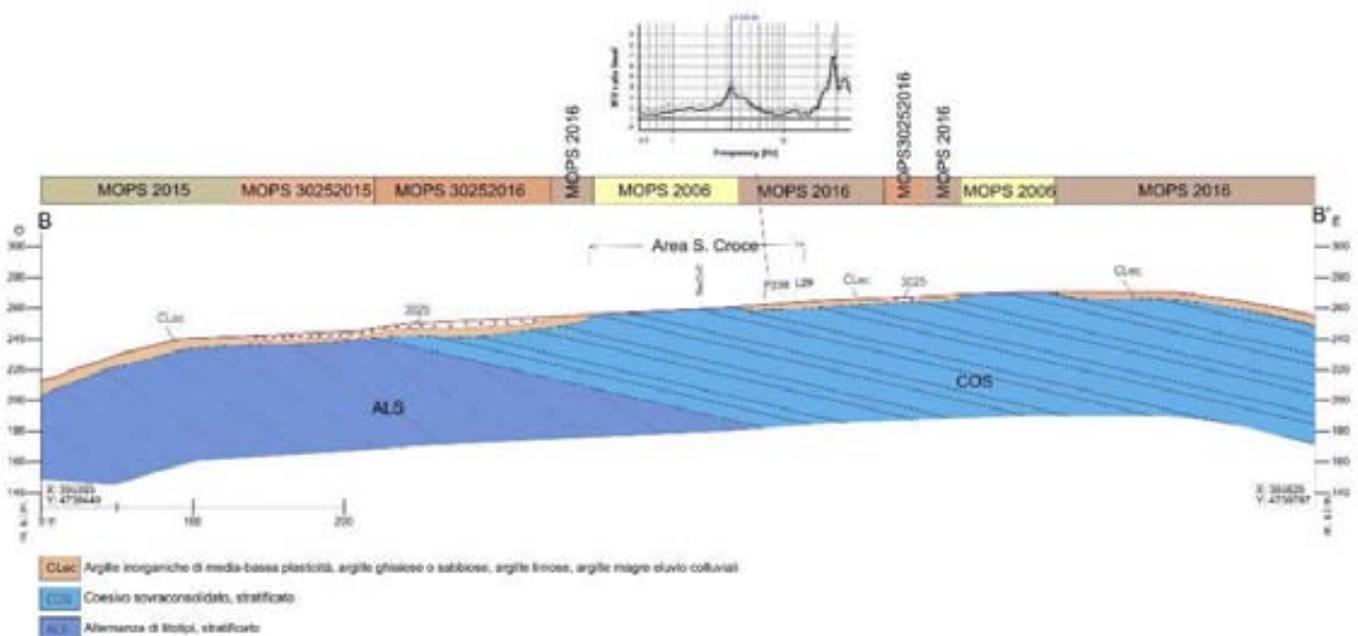


Figura 50: Sezione Geologico Tecnica B-B' Santa Croce

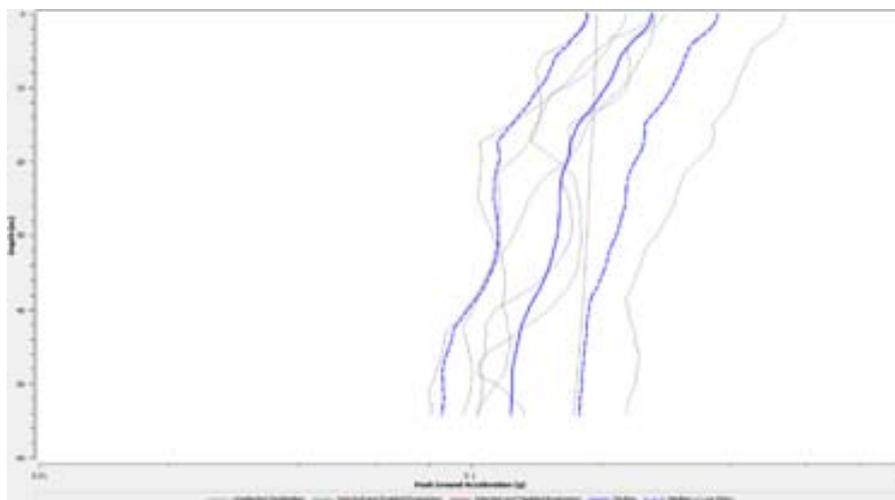
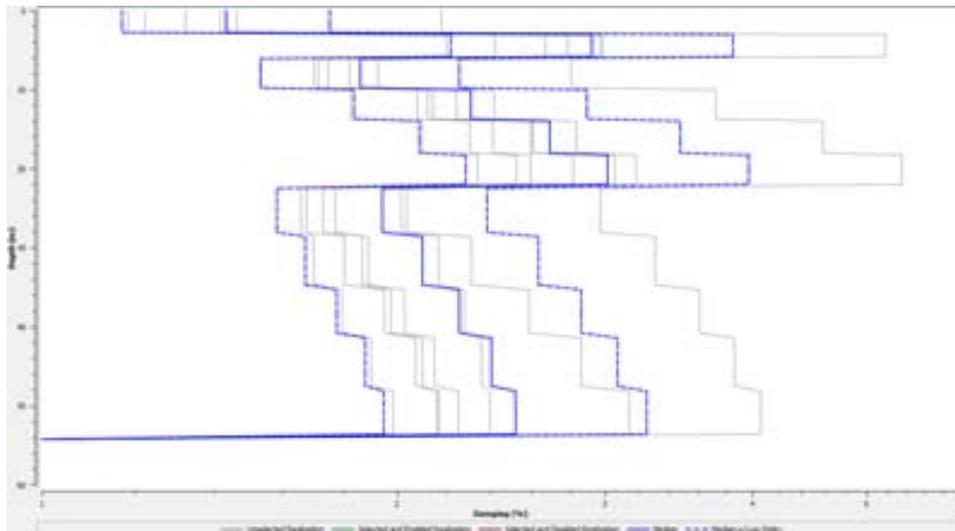
### 7.1.2.5 Santa Croce - Mops 2006

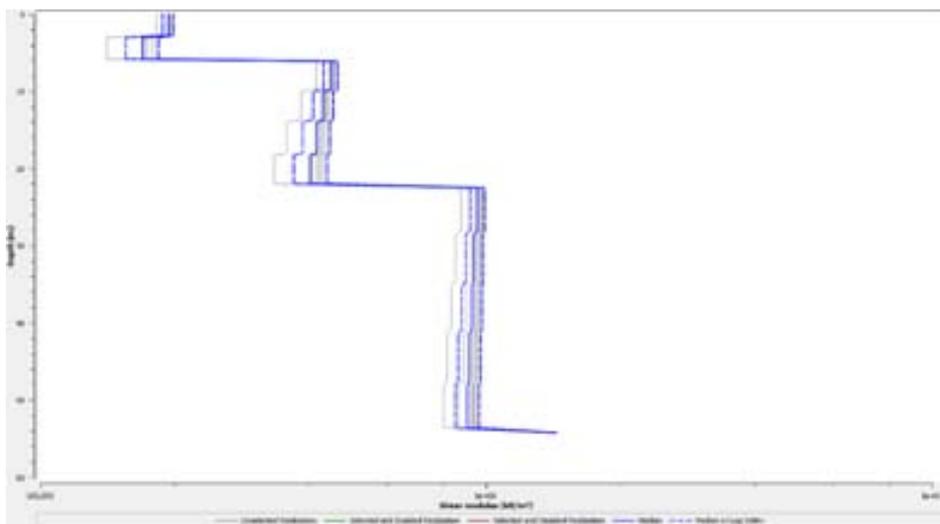
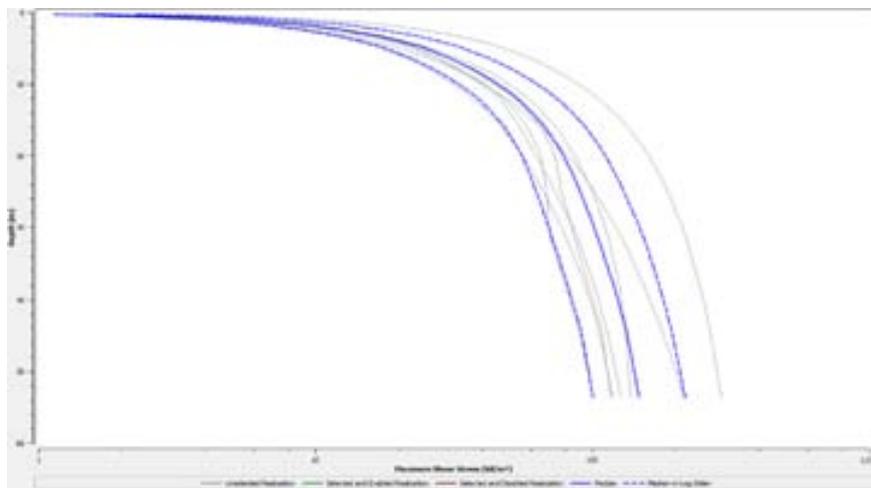
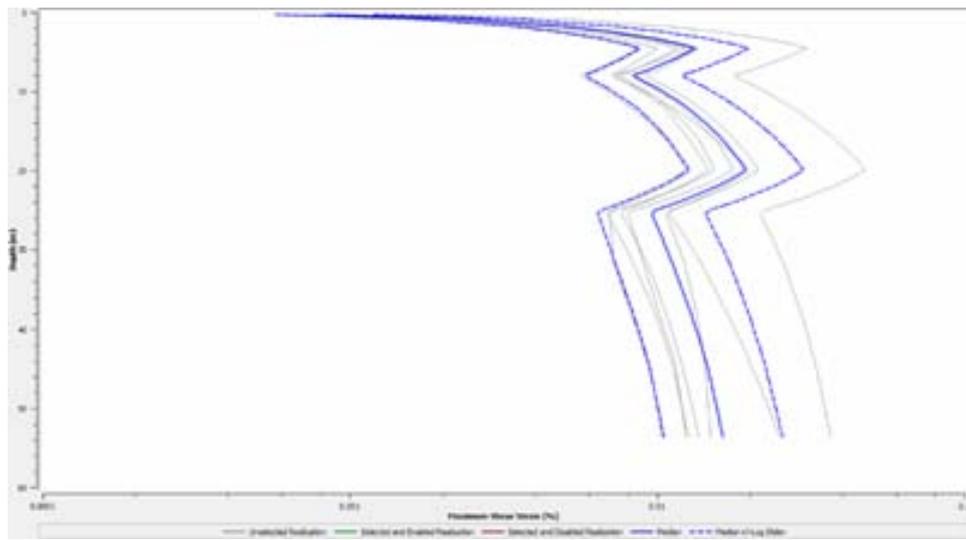
#### 7.1.2.5.1 Modello Numerico

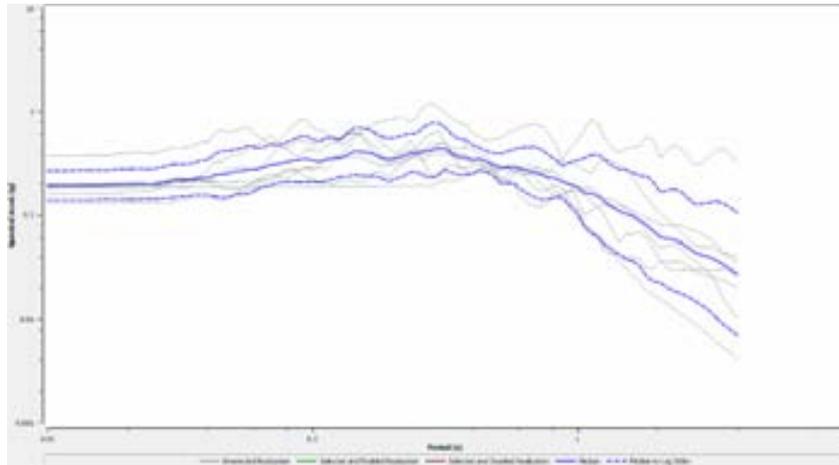
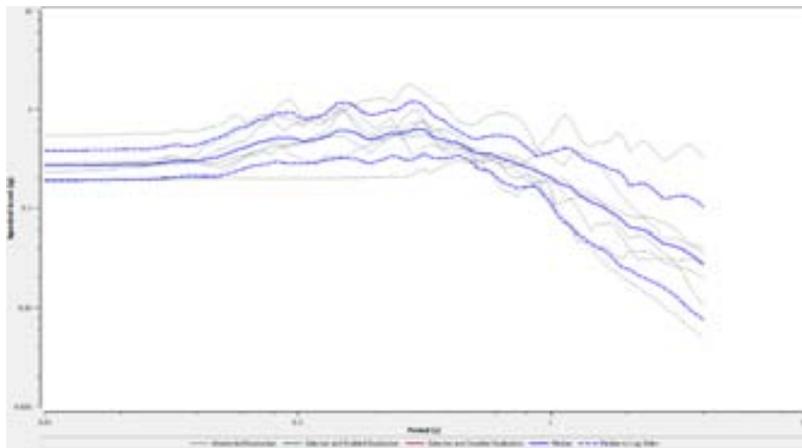
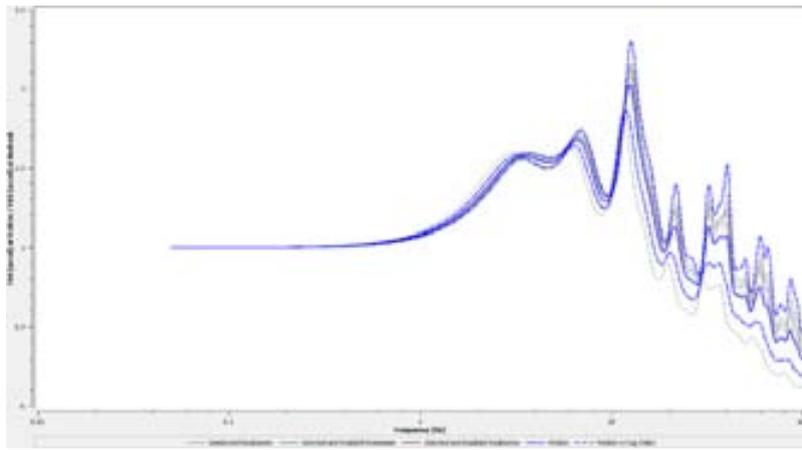
Tabella 9: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Santa Croce

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve Dinamiche	spessore [m]
FMT1a alterata	20	320	Darendeli & Stokoe (2001)	6.0
FMT1a	21	480	Darendeli & Stokoe (2001)	16.0
MVO	21	700	Darendeli e Stokoe 2001	32.0
Bedrock	22	800		

#### 7.1.2.5.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali







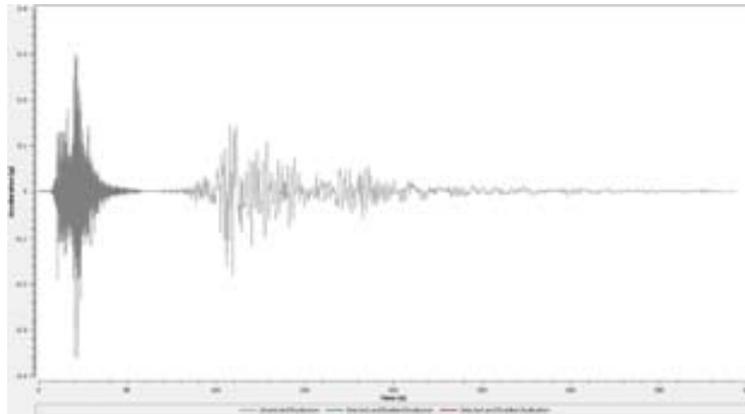
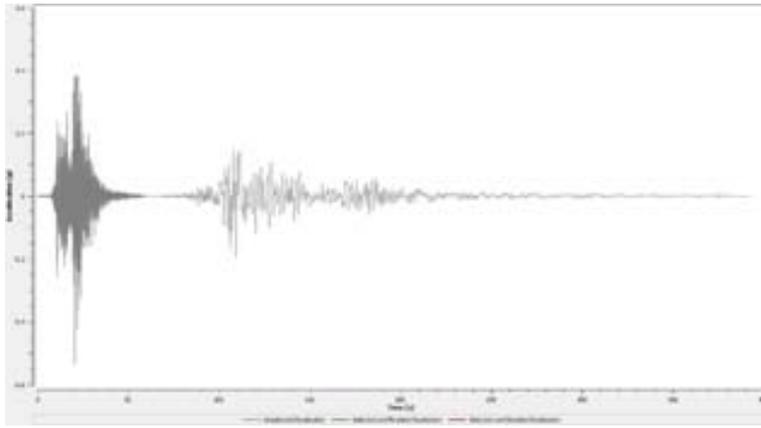
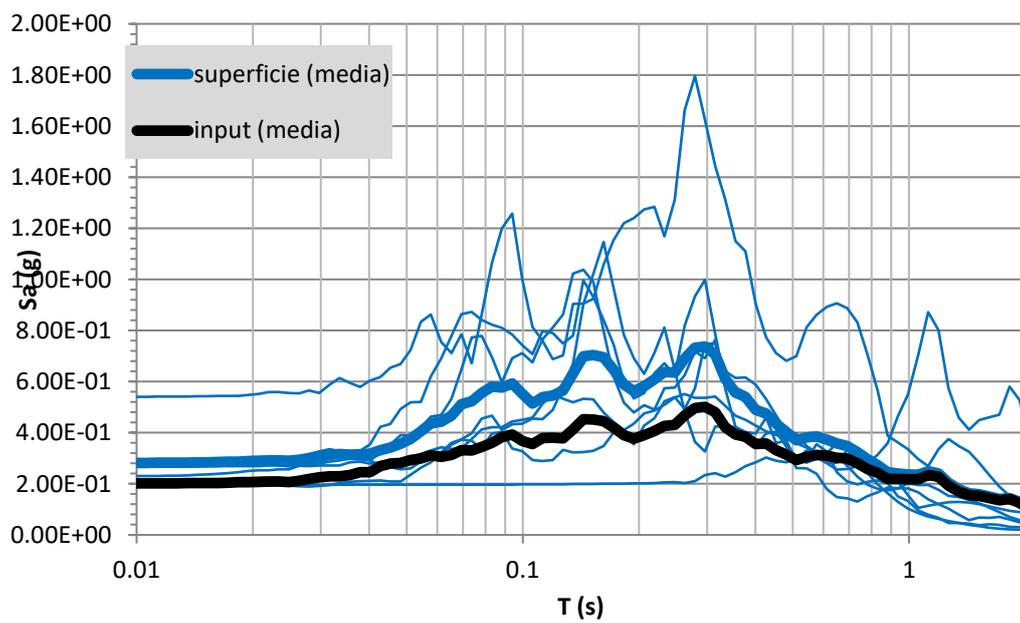


Tabella 10: Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.41	1.22	1.12



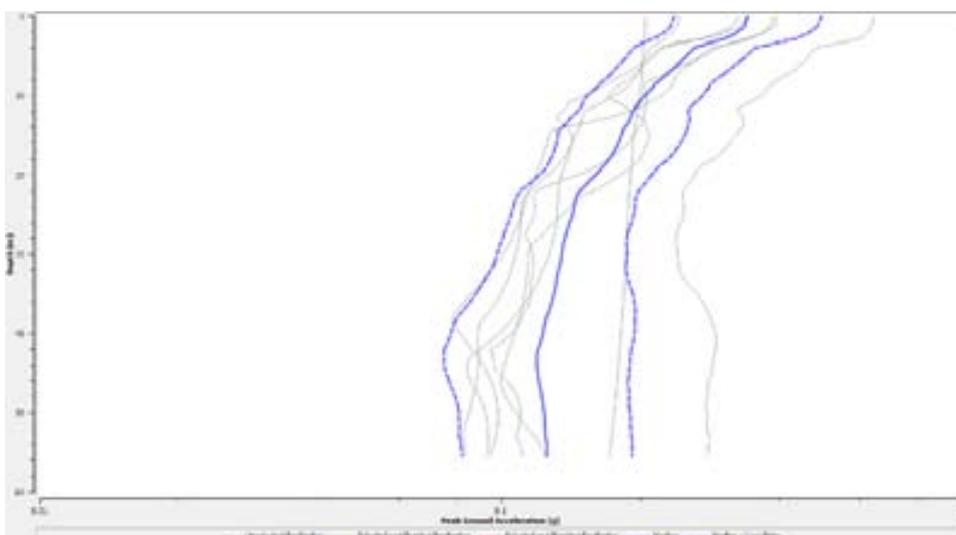
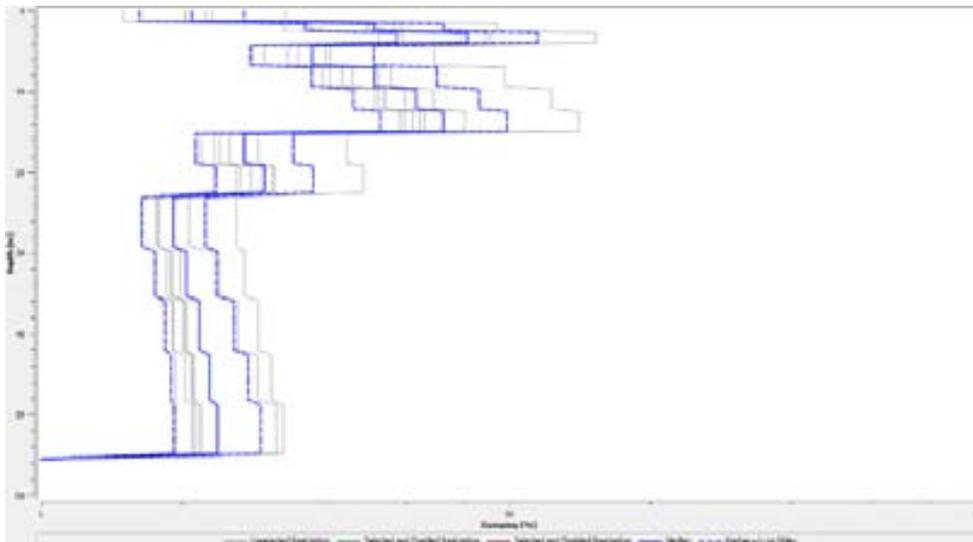
7.1.2.6 Santa Croce - Mops 2016

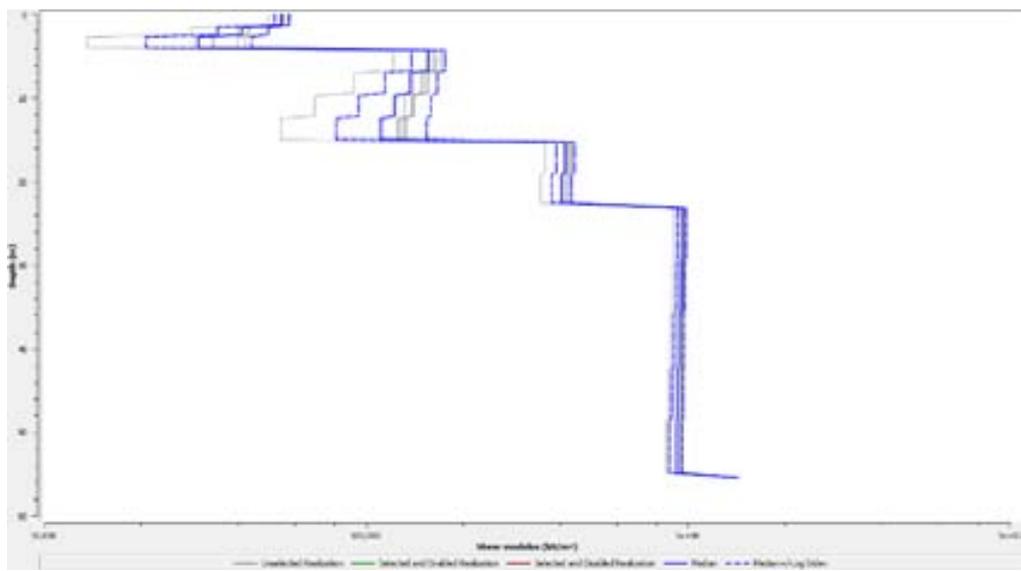
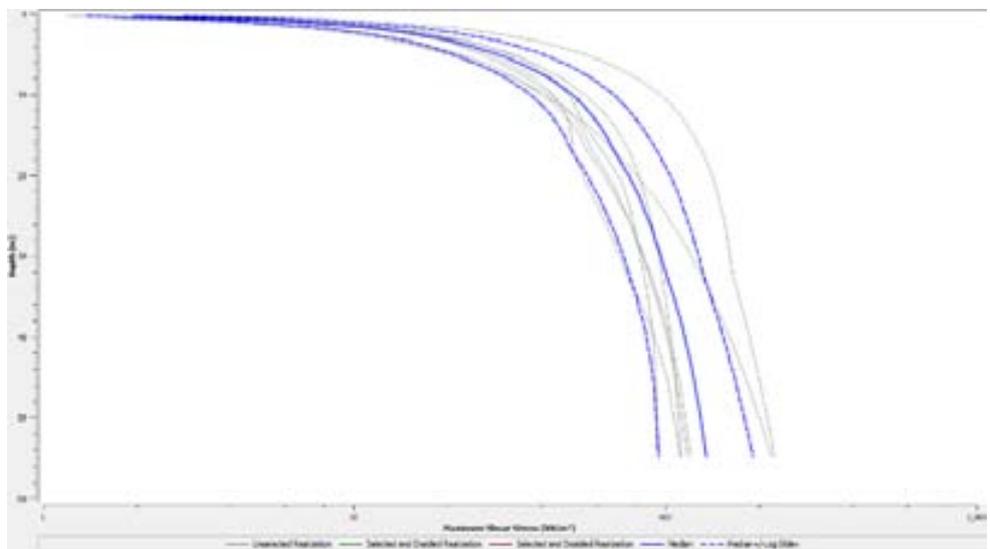
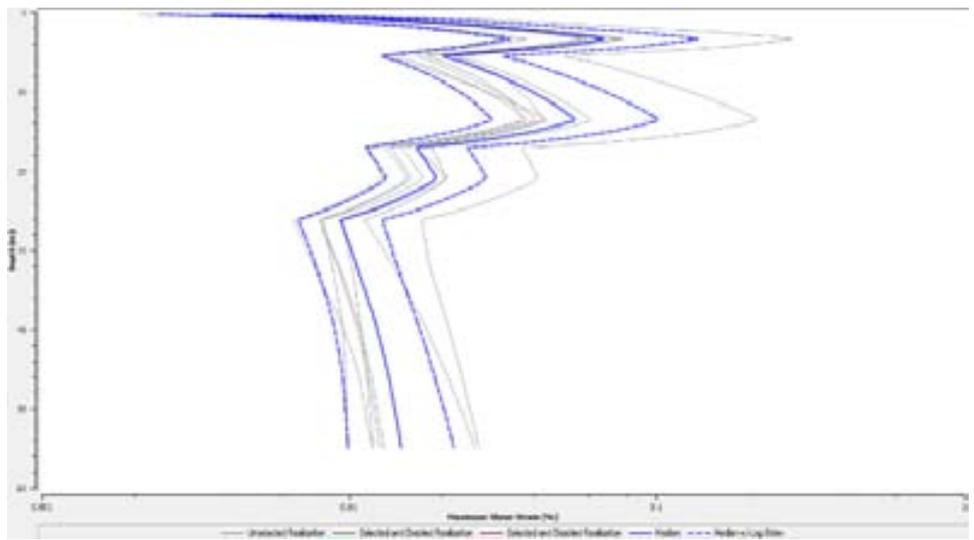
7.1.2.6.1 Modello Numerico

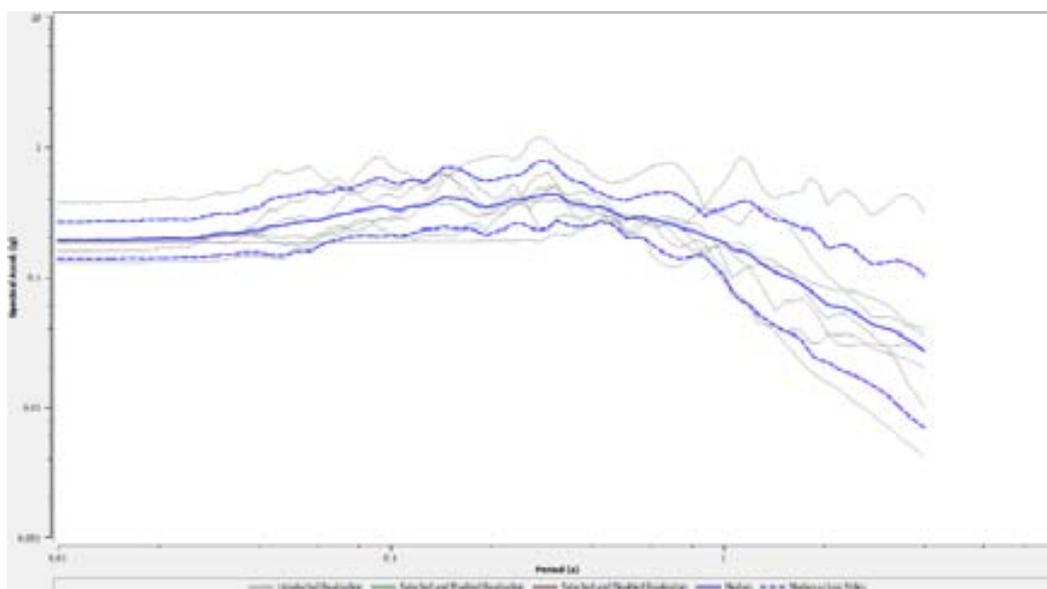
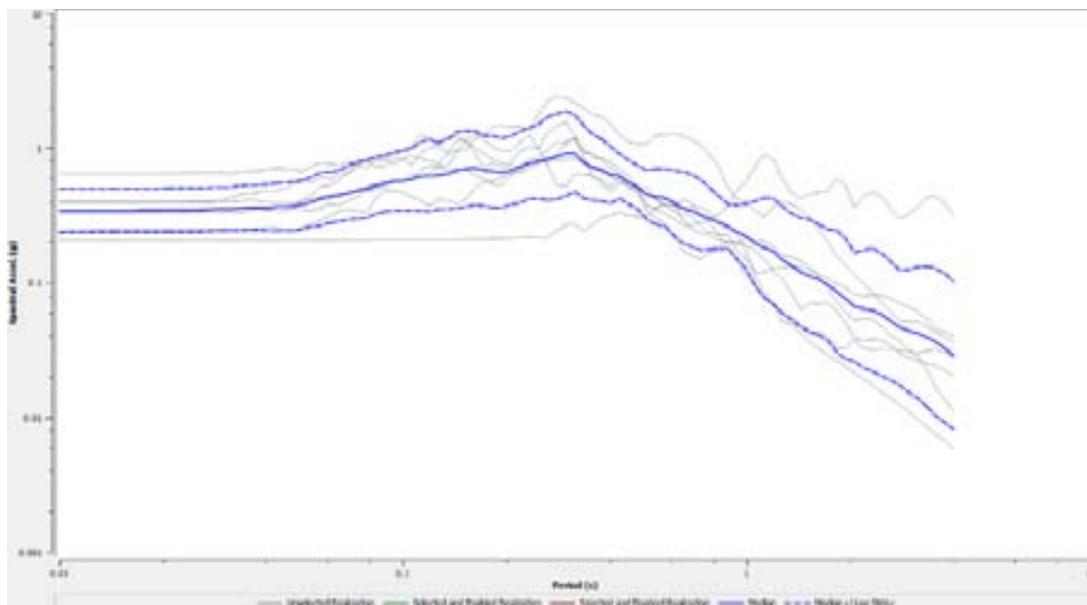
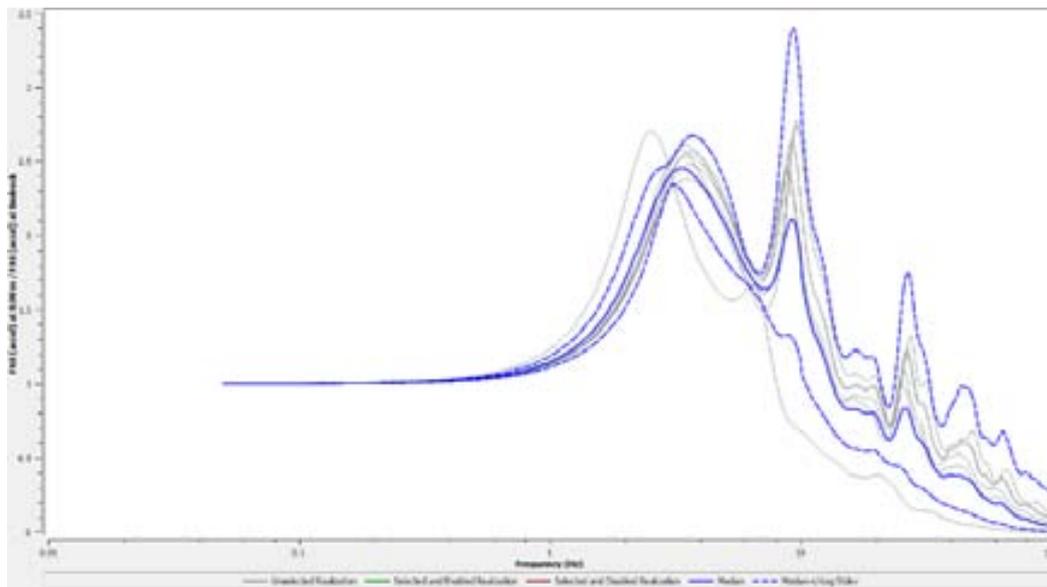
Tabella 11: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Santa Croce

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
Clec	19	180	Darendeli & Stokoe (2001)	4.0
FMT1a alterata	20	320	Darendeli & Stokoe (2001)	11.0
FMT1a	21	480	Darendeli e Stokoe 2001	8.0
MVO	21	700	Darendeli e Stokoe 2001	32
Bedrock	22	800		

7.1.2.6.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali







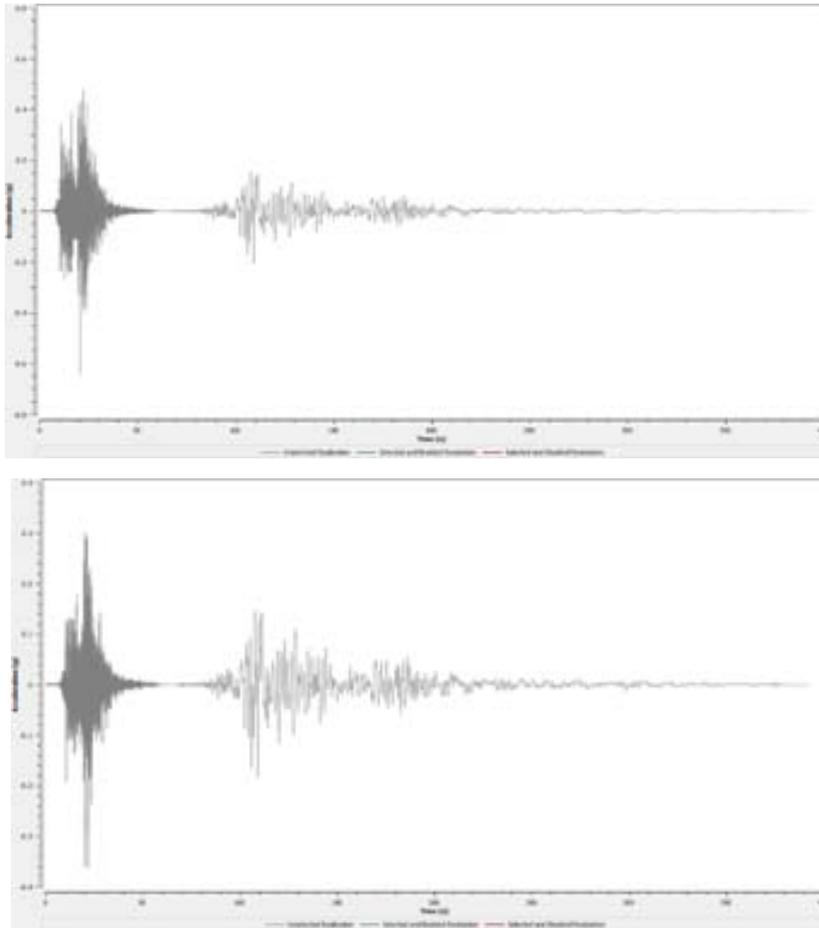
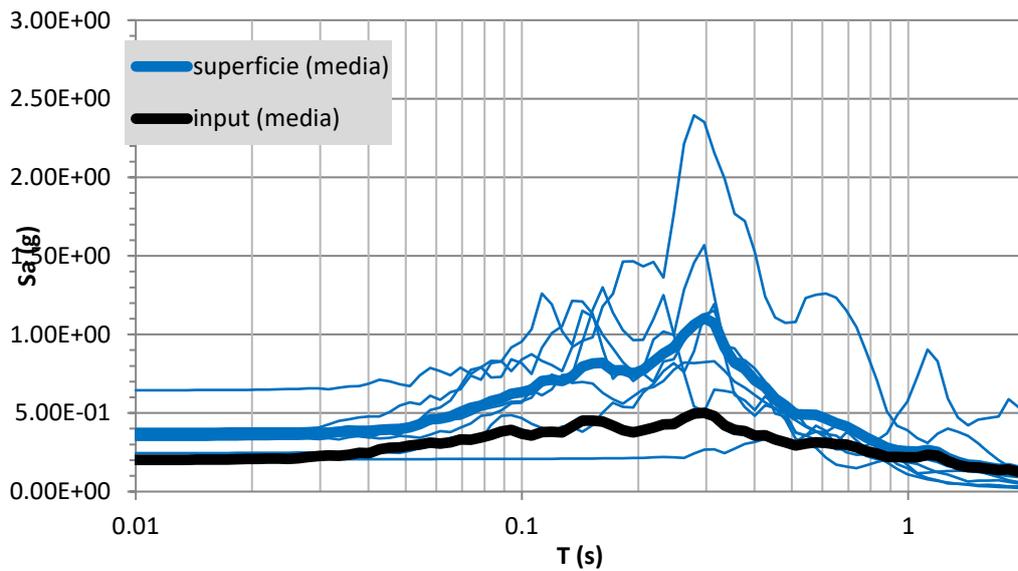


Tabella 12 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.90	1.49	1.25



## 7.1.2.7 Santa Croce Mops 30322016

### 7.1.2.7.1 Sezione Geologico Tecnica e Modello Numerico

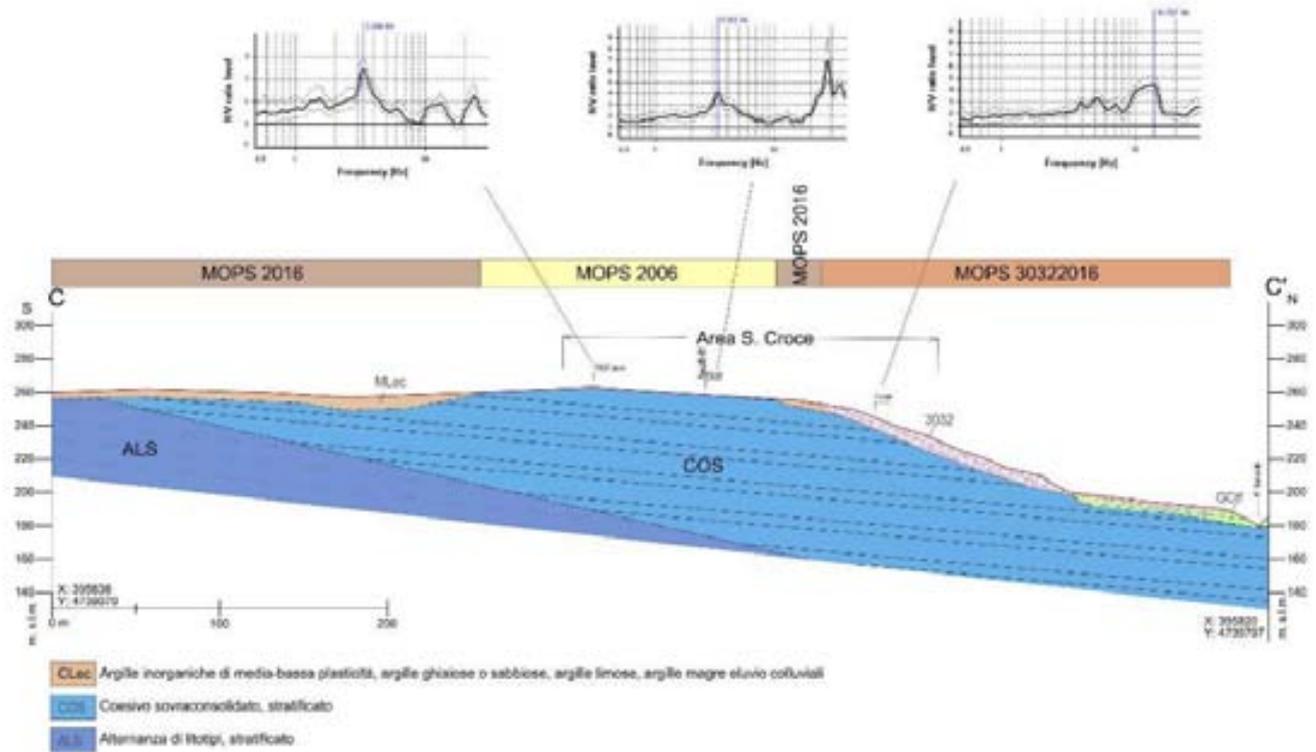
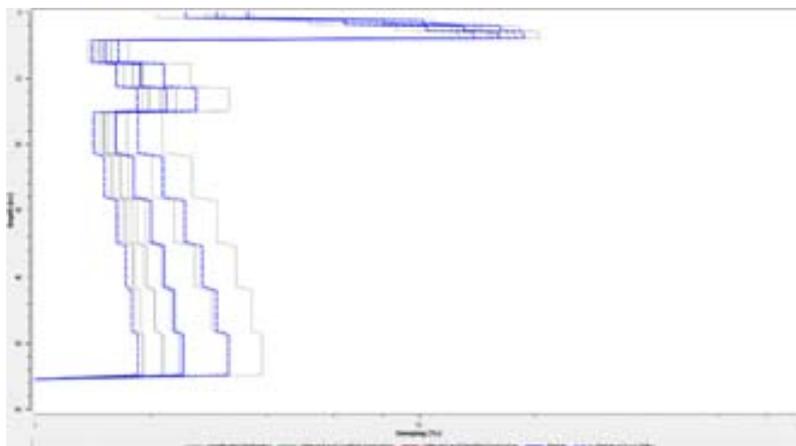


Figura 51: Sezione Geologico Tecnica C-C' Santa Croce

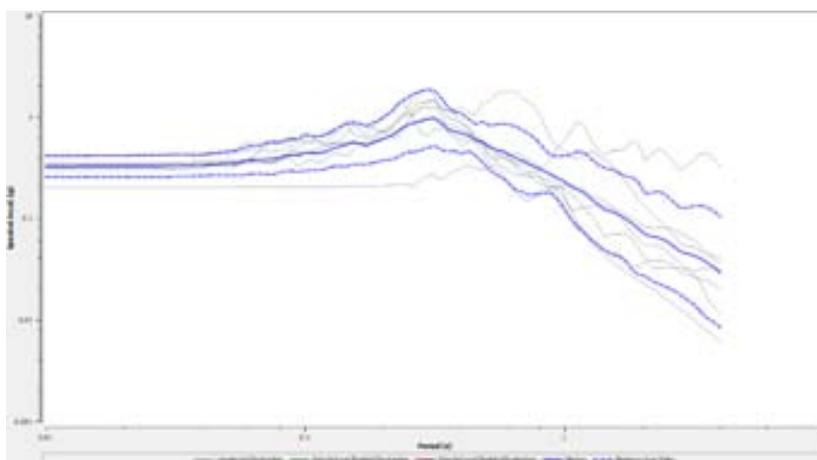
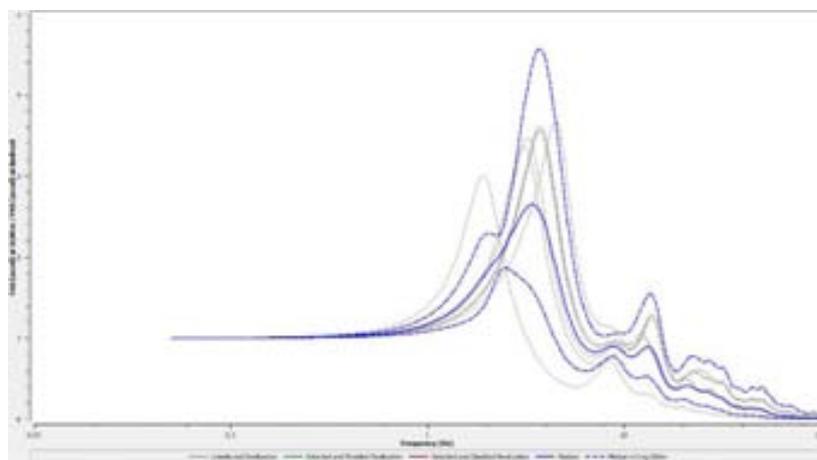
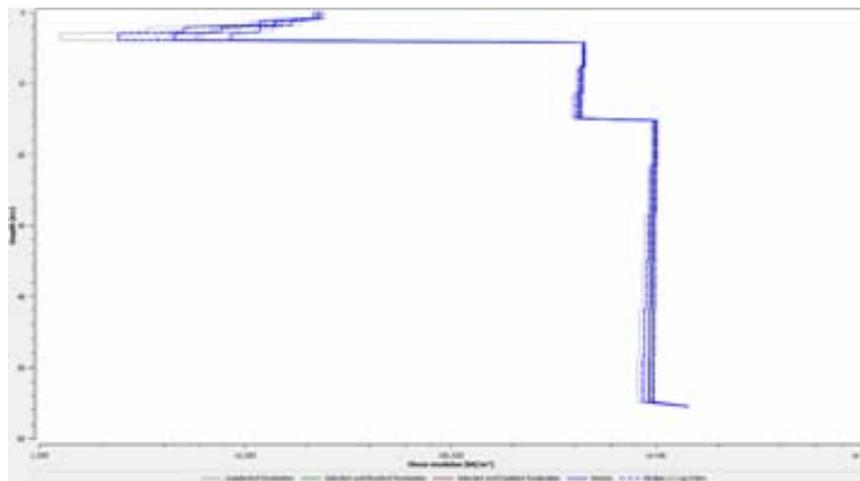
Tabella 13: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Santa Croce

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
CLec	19	120	Darendeli & Stokoe (2001)	4.0
FMT1a	21	470	Darendeli e Stokoe 2001	11.0
MVO	21	700	Darendeli e Stokoe 2001	40
Bedrock	22	800		

### 7.1.2.7.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali







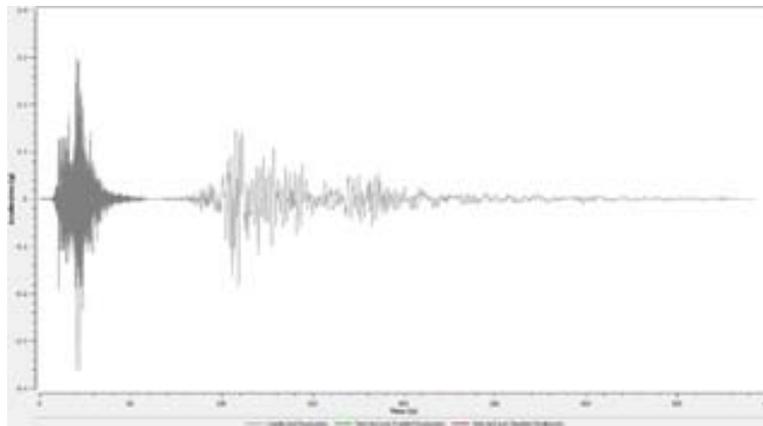
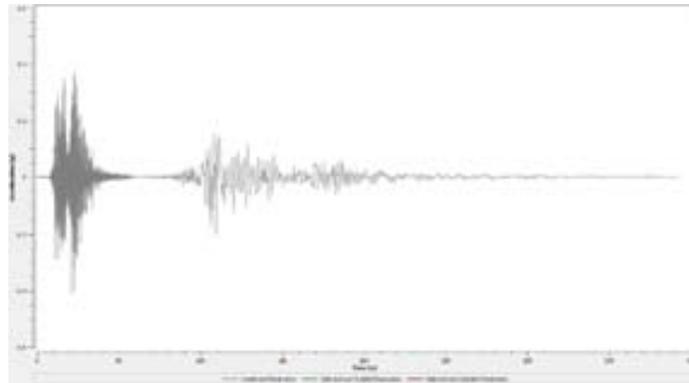
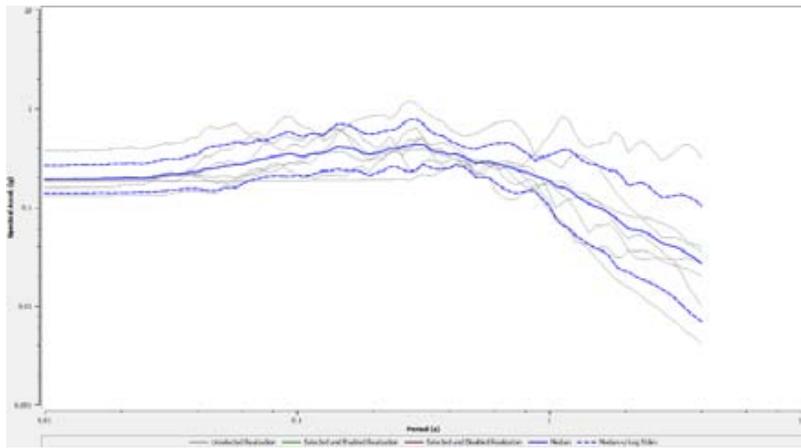
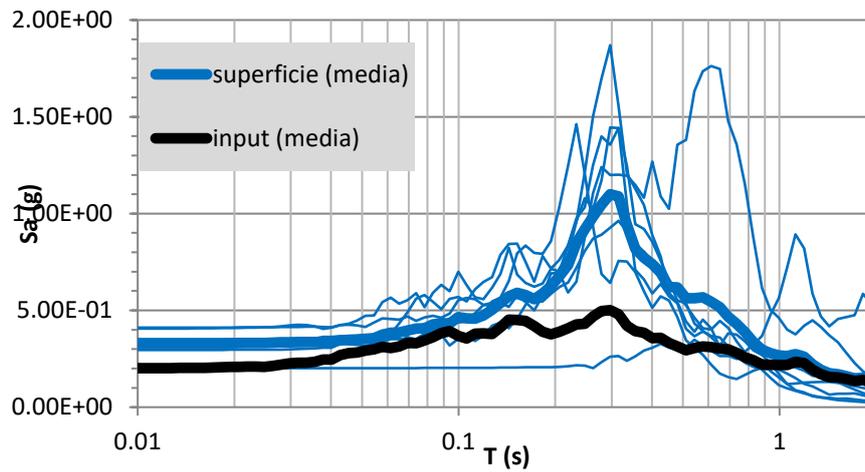


Tabella 14 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.86	1.61	1.31



### 7.1.2.8 Sant'Eurosia

#### 7.1.2.8.1 Sezione Geologico Tecnica

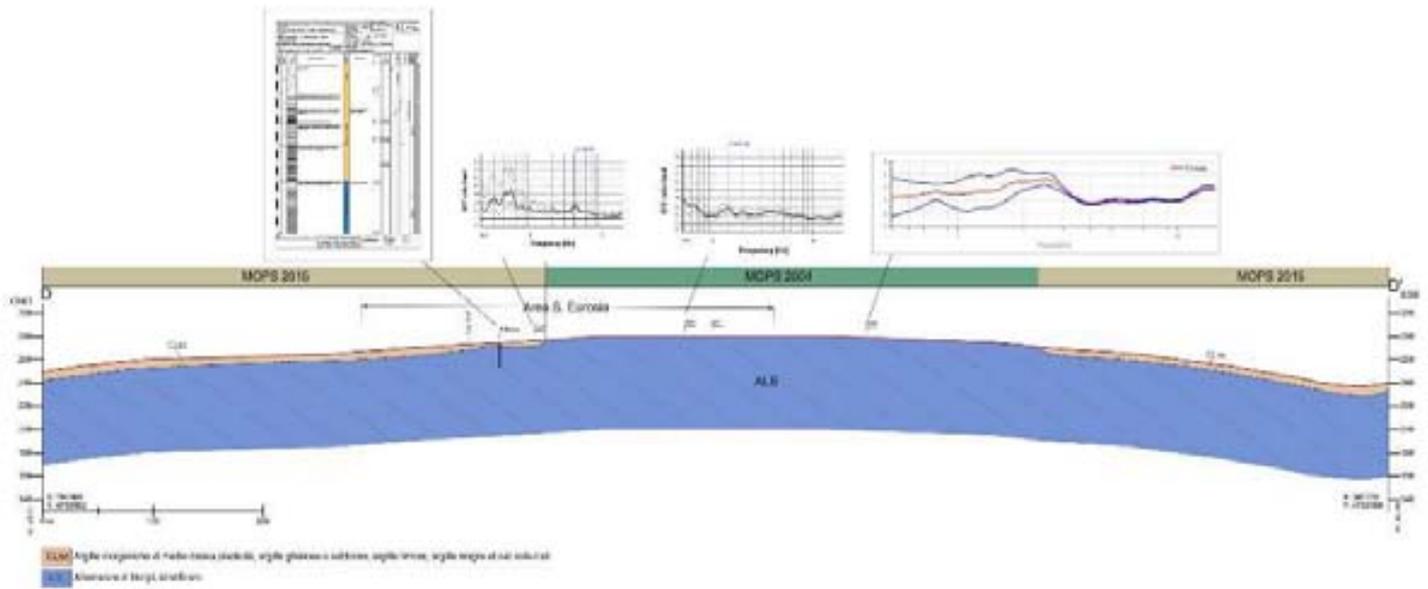


Figura 52: Sezione Geologico Tecnica D-D' Sant'Eurosia

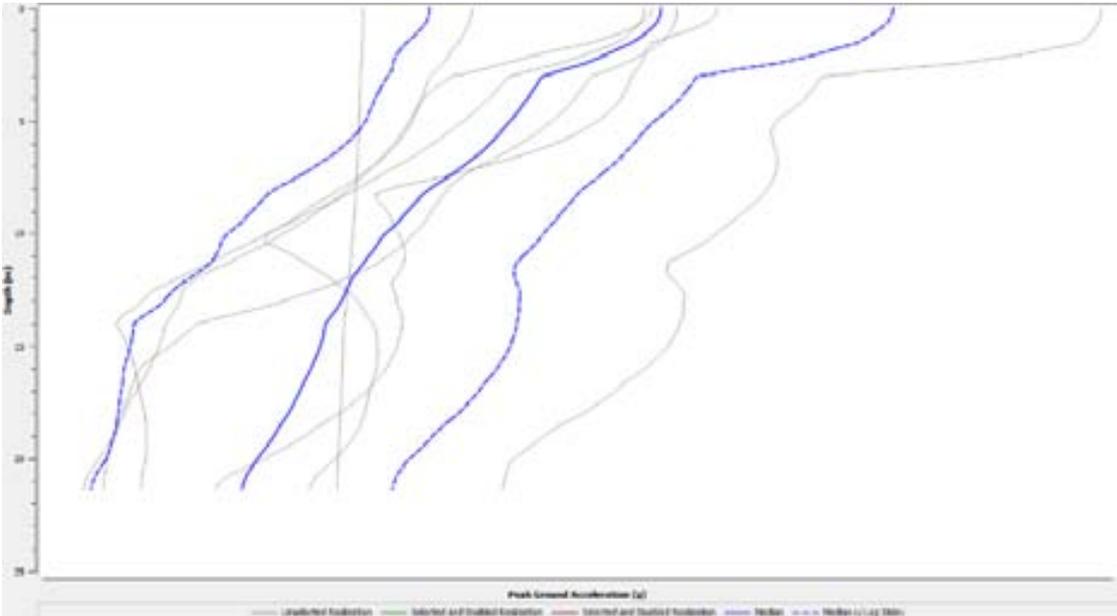
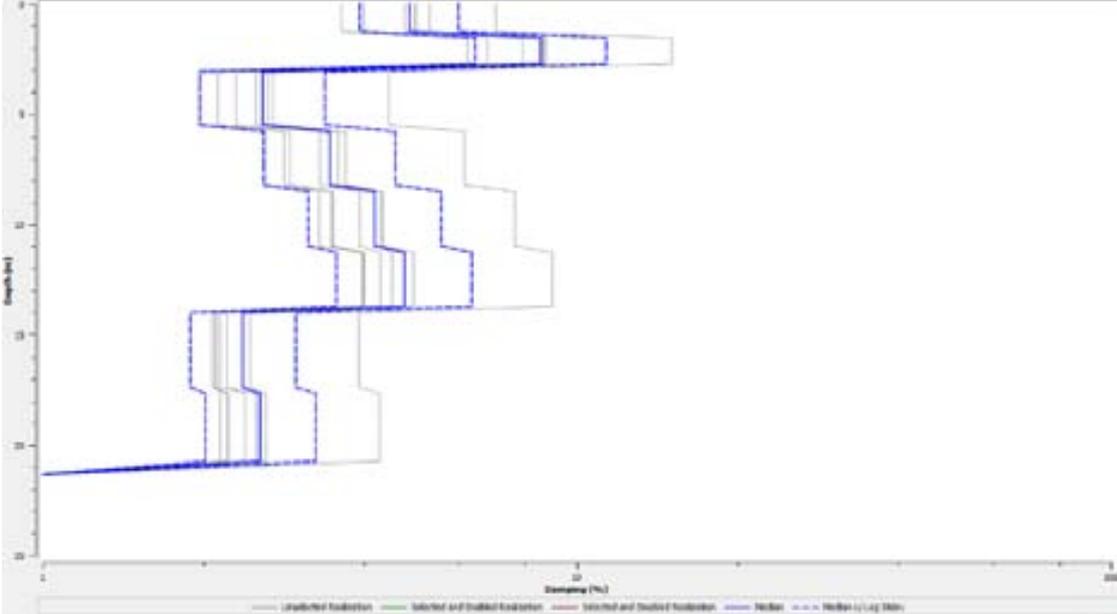
### 7.1.2.9 Sant'Eurosia Mops 2015

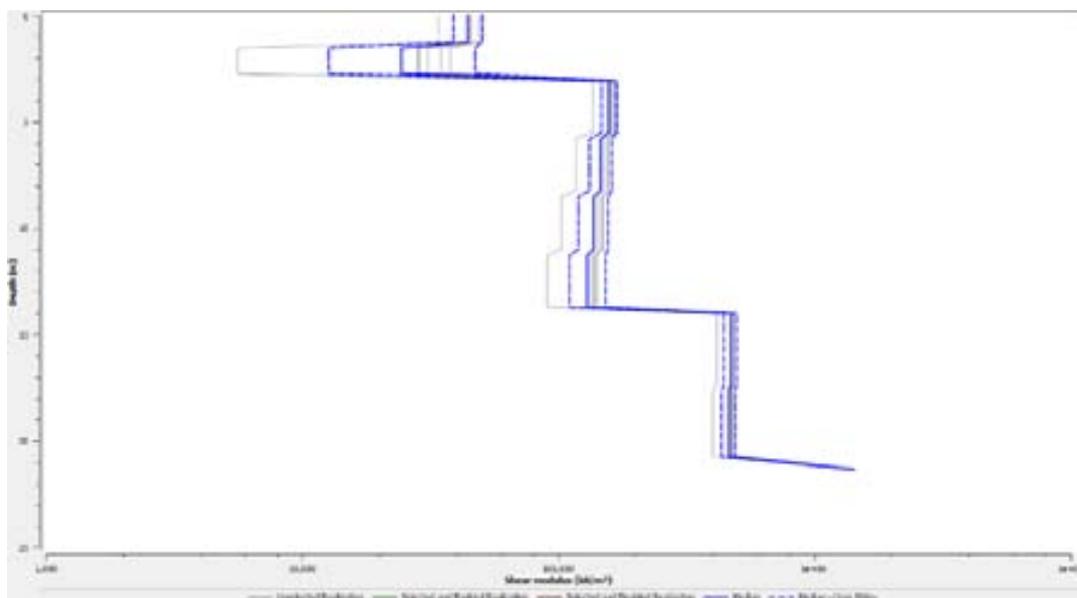
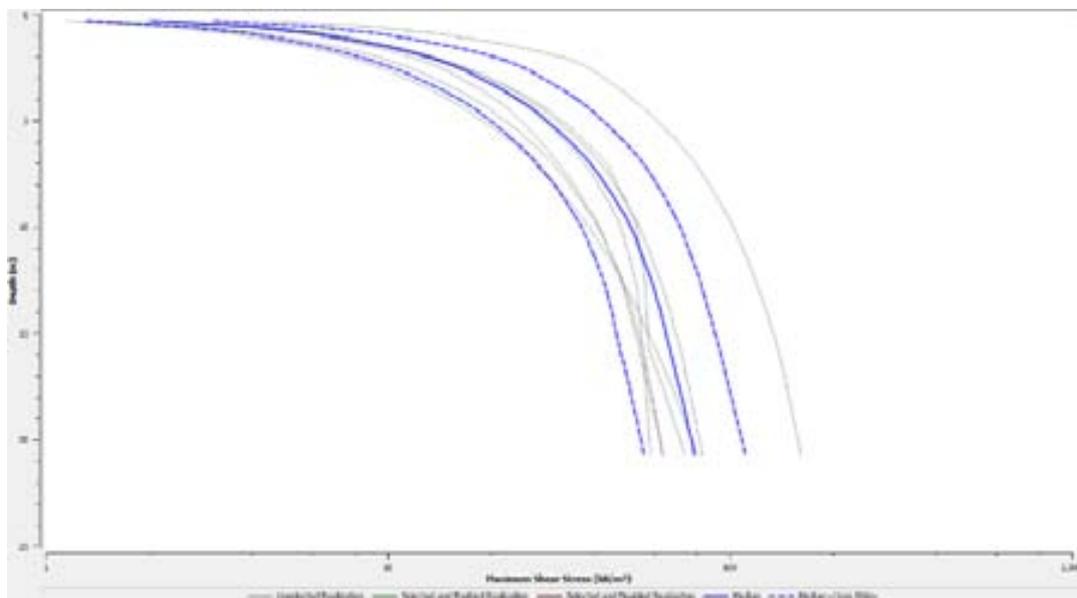
#### 7.1.2.9.1 1.1.1.1.1 Modello Numerico

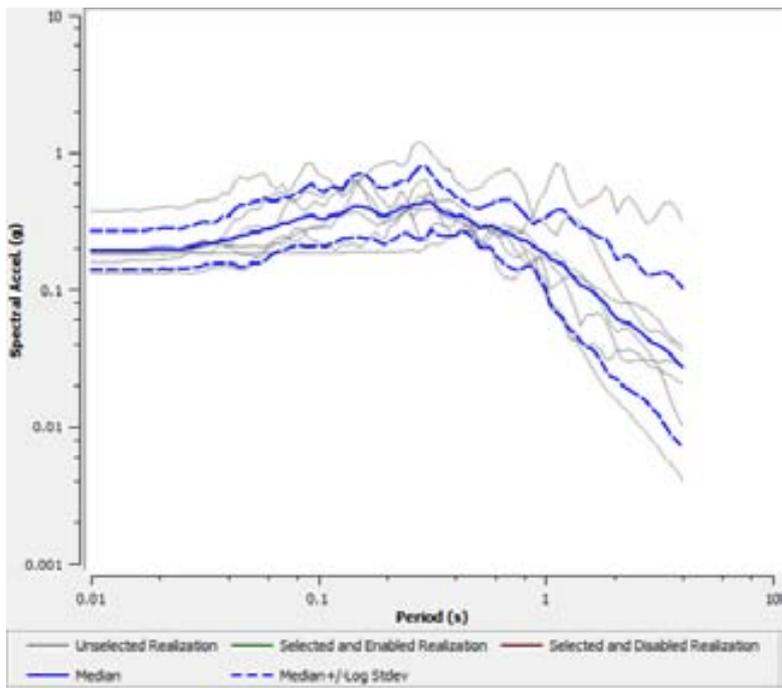
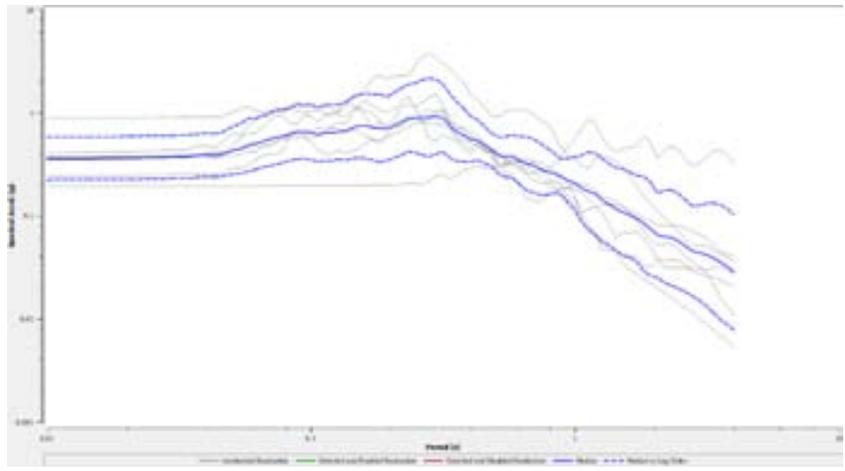
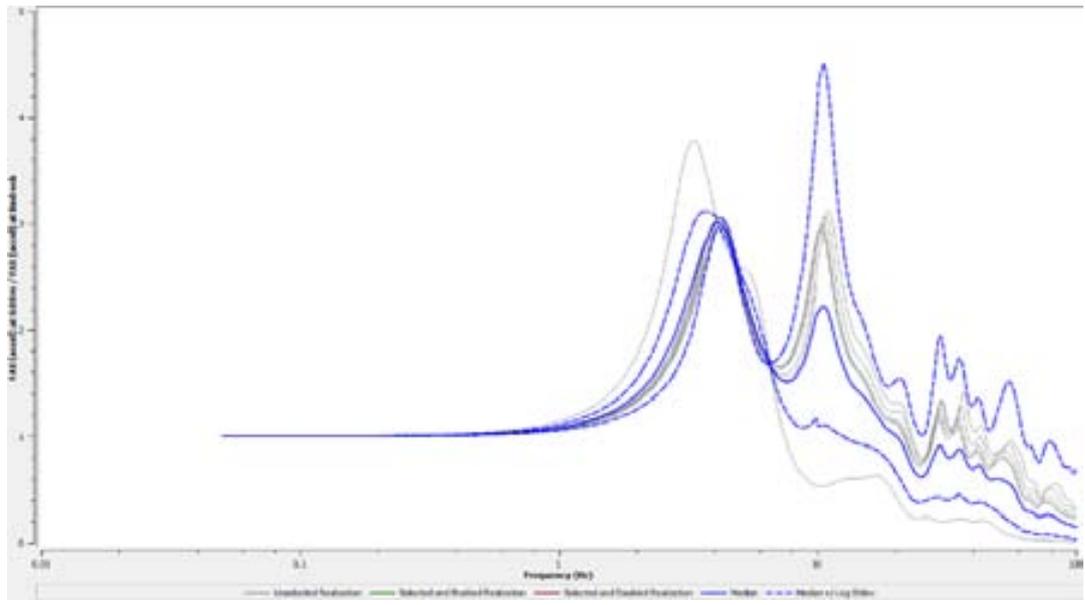
Tabella 15: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Sant'Eurosia

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
CLec	19	170	CR_SANT'EUROSIA	3.0
MVO alterate	20	300	Darendeli e Stokoe 2001	11.0
MVO	21	500	Darendeli e Stokoe 2001	7.0
Bedrock	22	800		

7.1.2.9.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali







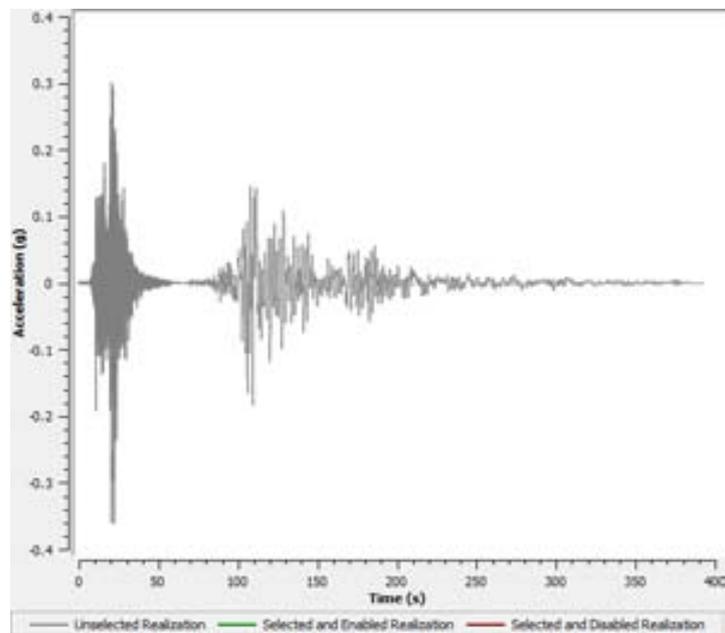
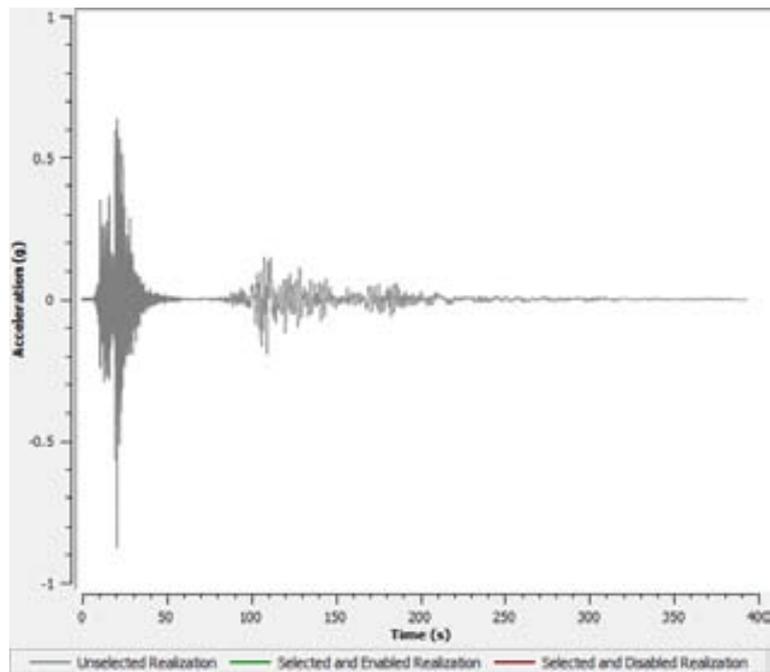
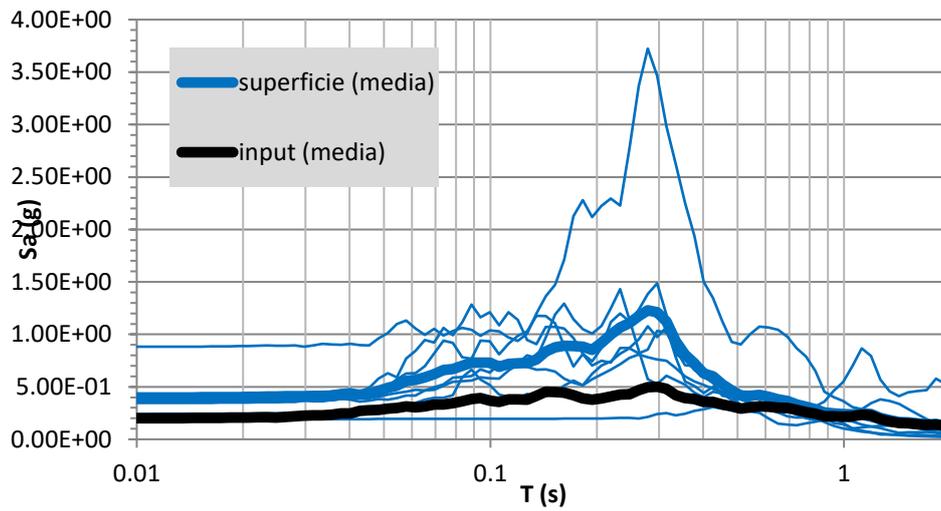


Tabella 16 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.87	1.31	1.14



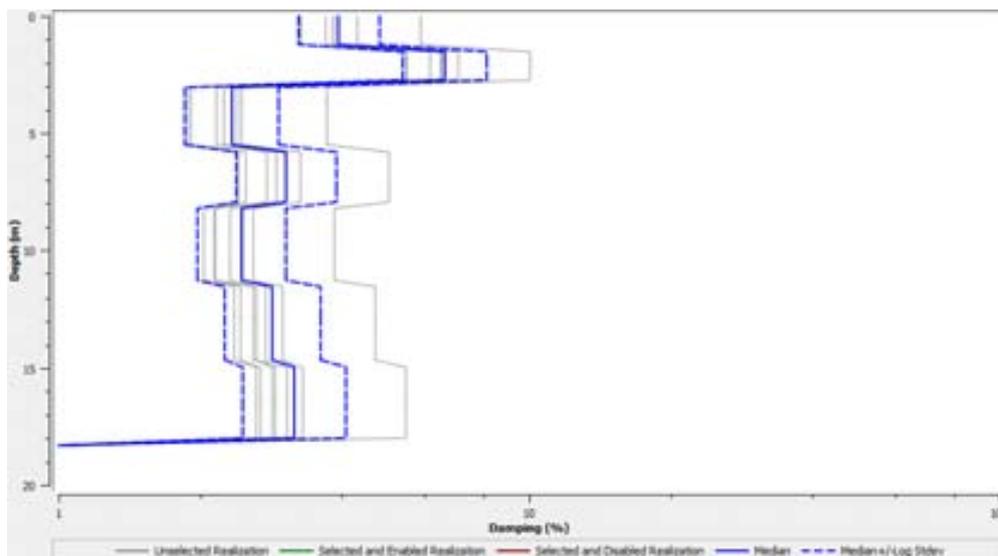
### 7.1.2.10 Sant'Eurosia Mops 2004

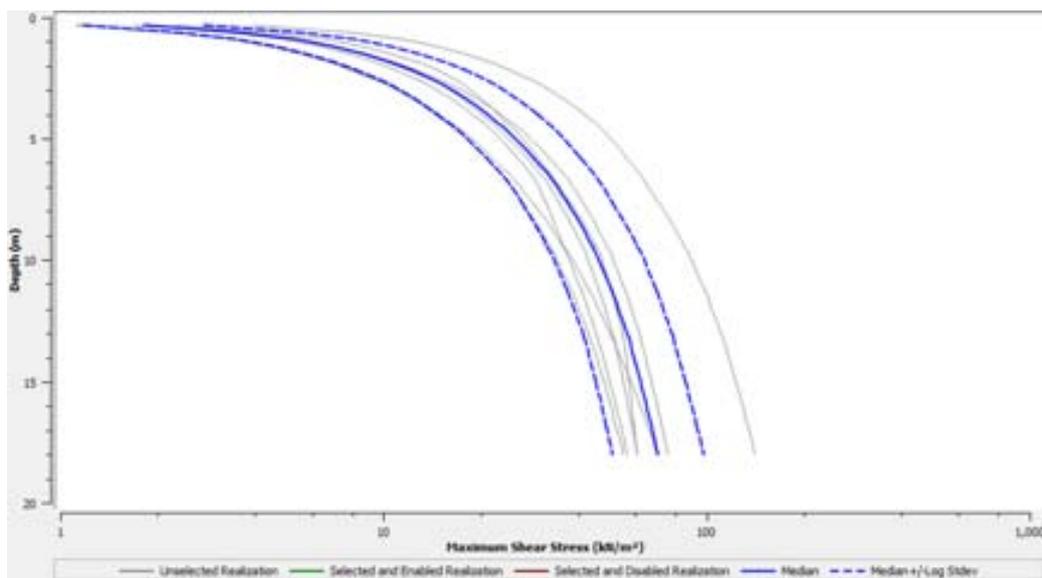
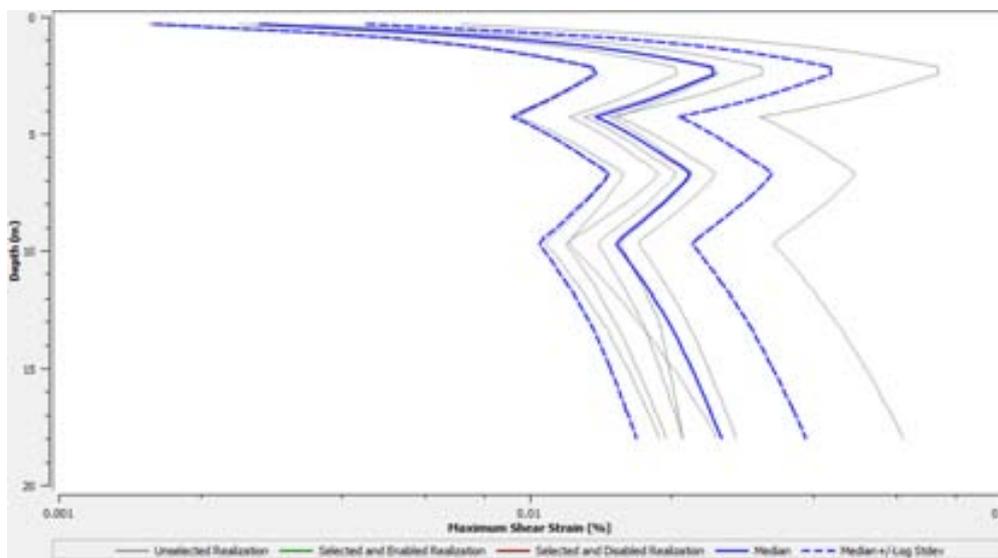
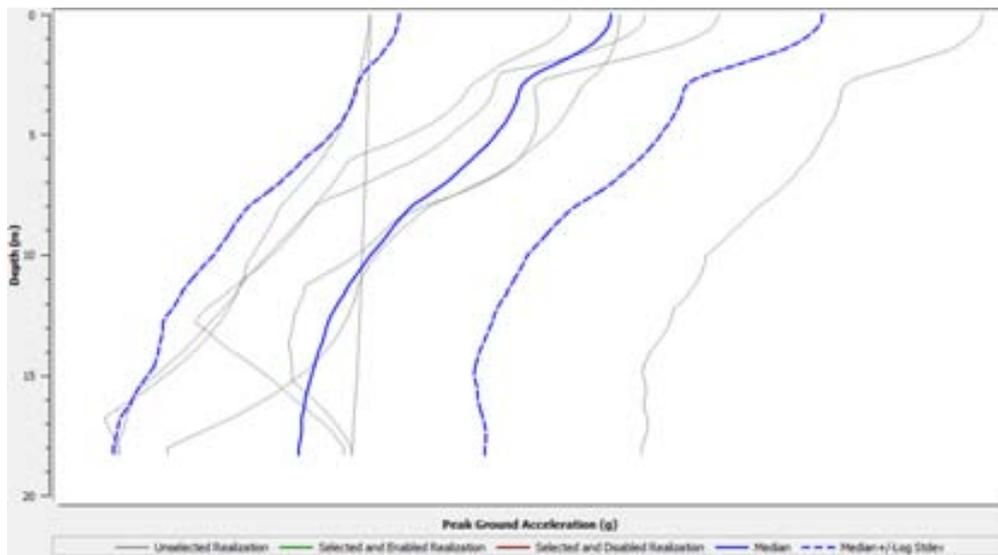
#### 7.1.2.10.1 Modello Numerico

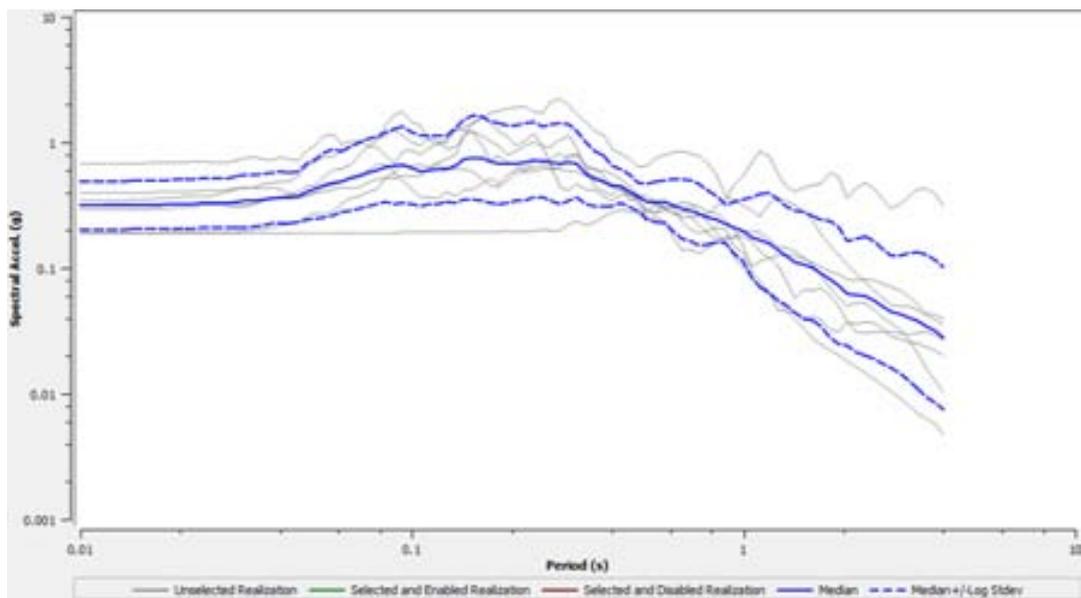
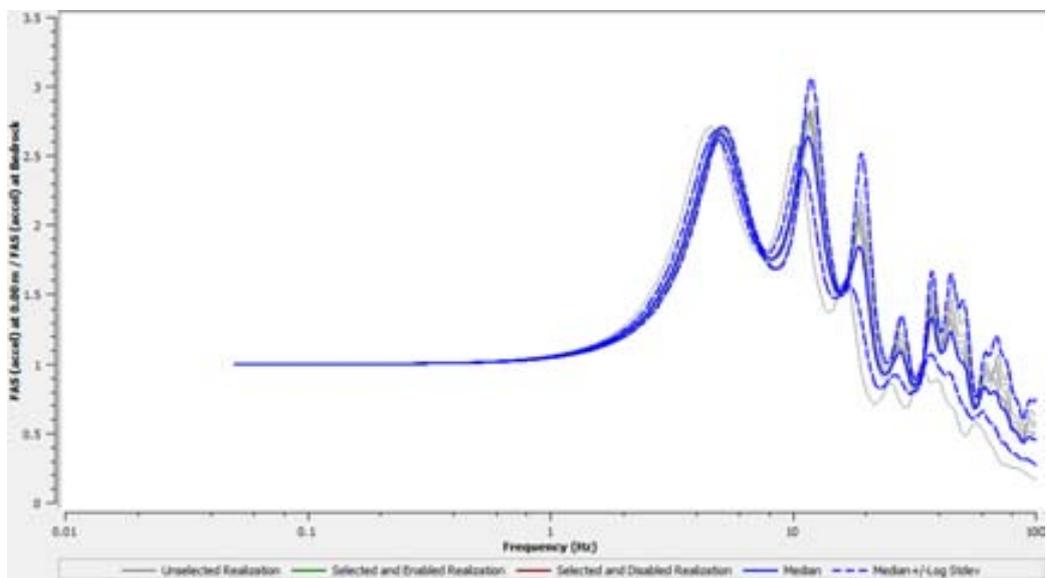
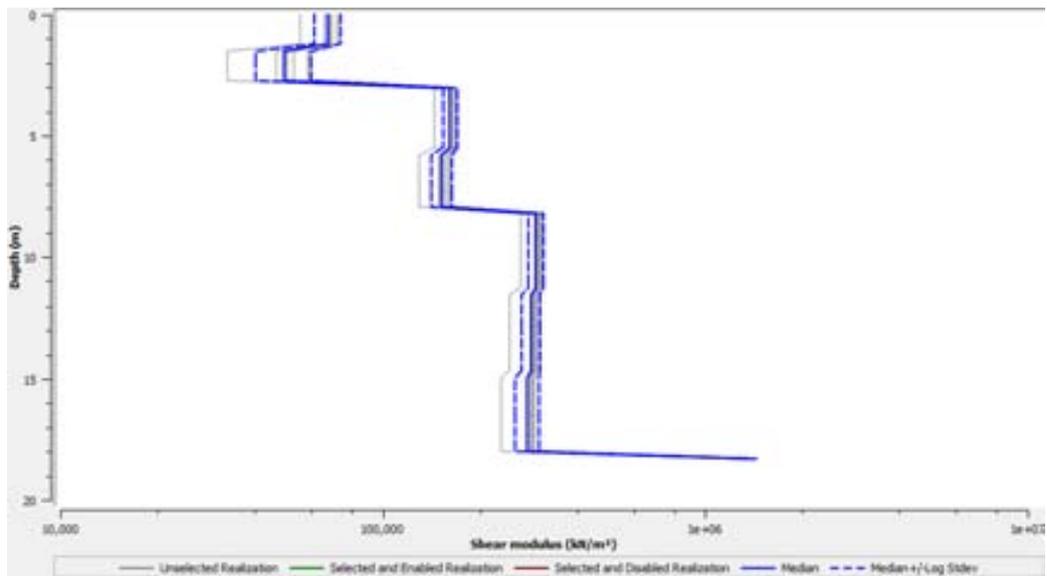
Tabella 17: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Sant'Eurosia

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
CLec	19	200	CR_SANT'EUROSIA	3.0
MVO alterate	20	300	Darendeli & Stokoe (2001)	5.0
MVO	21	400	Darendeli e Stokoe 2001	10
Bedrock	22	800		

#### 7.1.2.10.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali







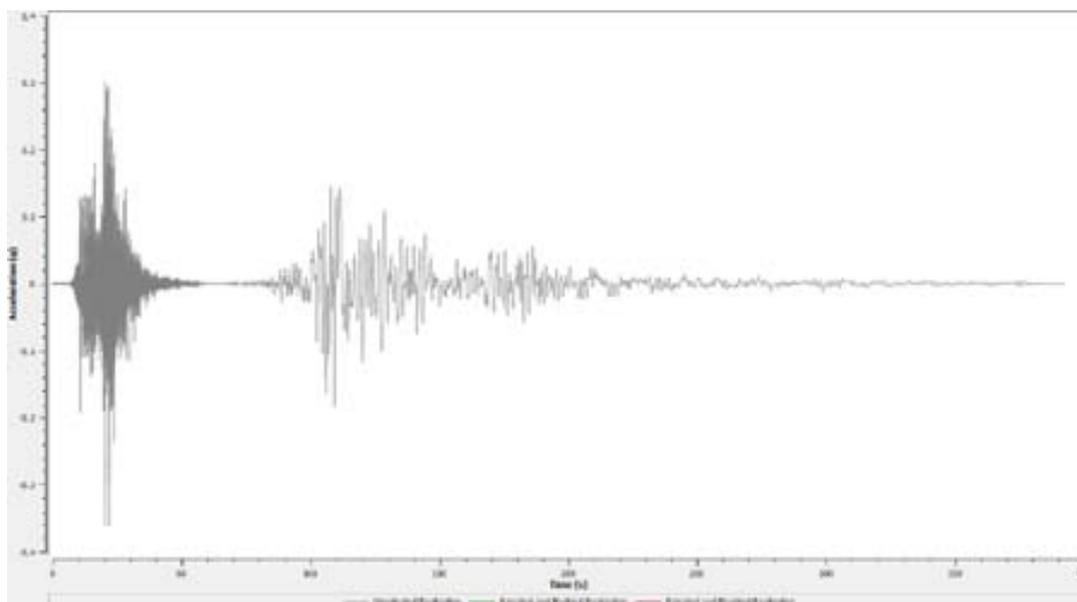
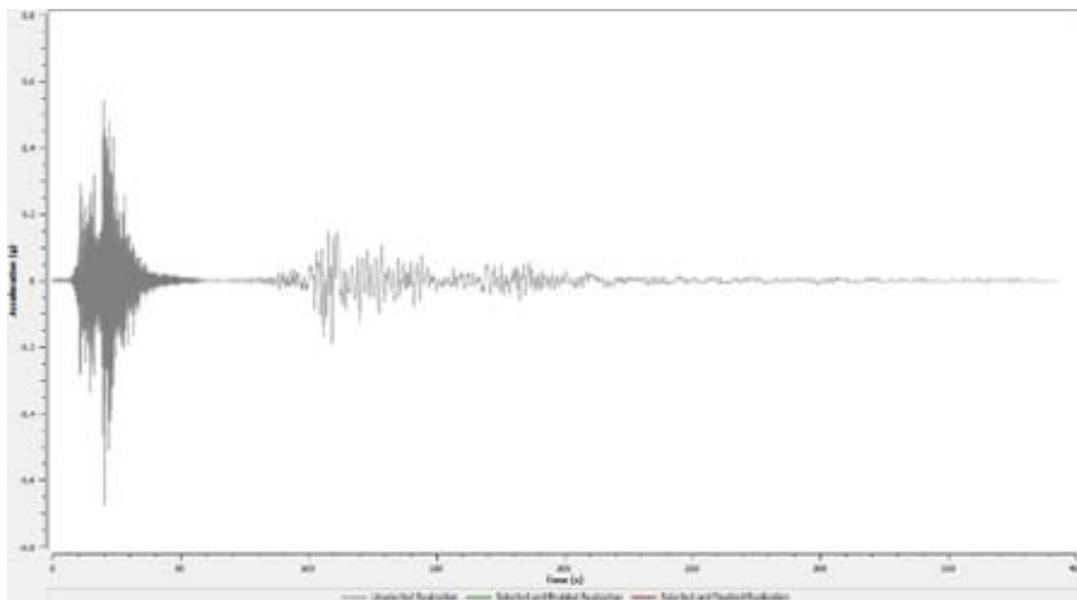
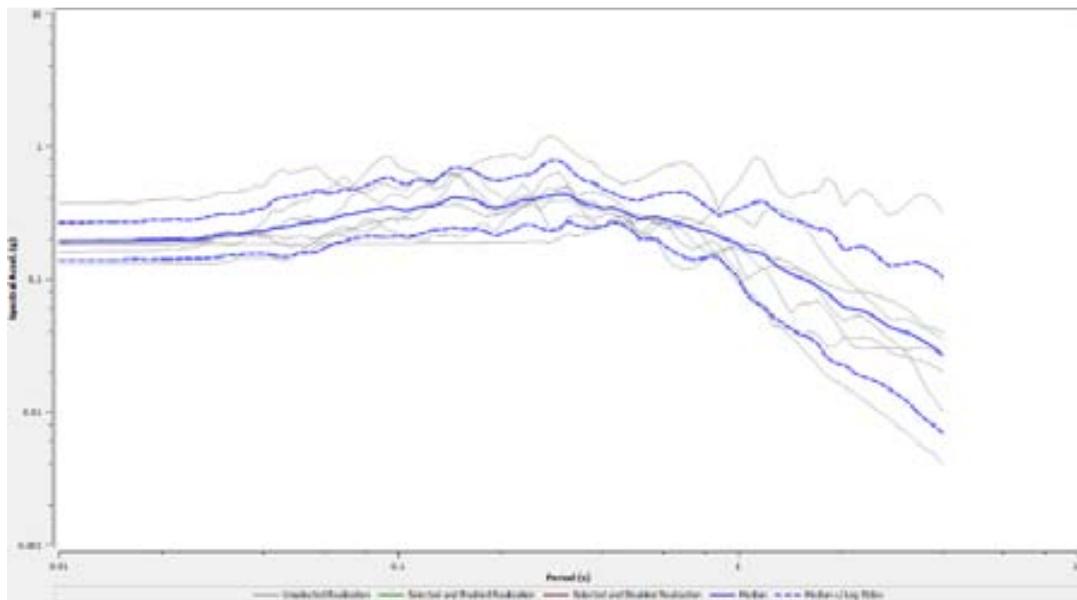
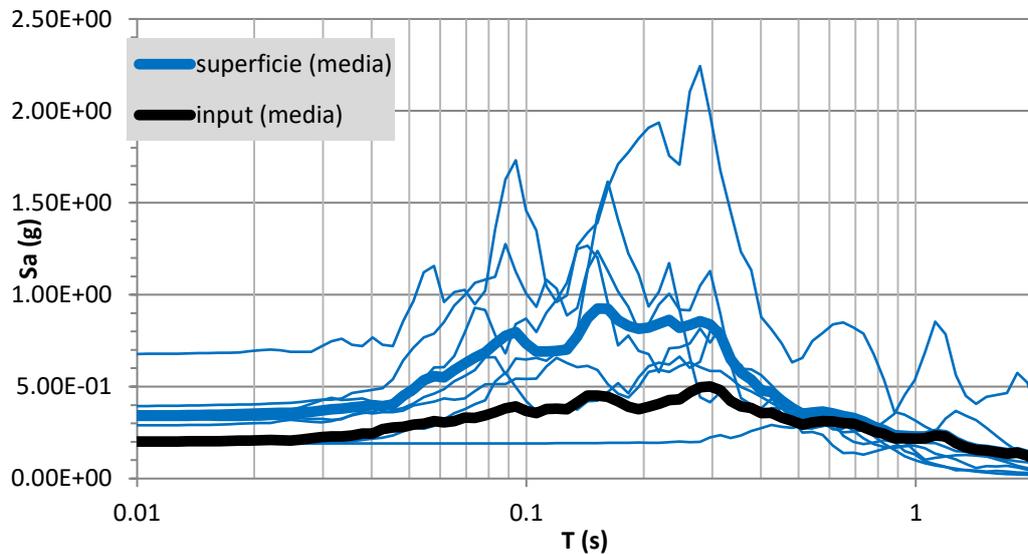


Tabella 18 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.59	1.17	1.08



#### 7.1.2.11 Categoria di sottosuolo da NTC e valore di VS30

L'identificazione della categoria di sottosuolo è stata effettuata in base ai valori della velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. L'indagine di sismica ha restituito una velocità delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità pari a 397 m/s ± 20%.

Pertanto si ritiene di far ricadere il sito in esame nella "Categoria di sottosuolo B" secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2008.

Categoria di sottosuolo	Descrizione
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

#### 7.1.2.12 Borranò

Sulla base dell'andamento litostratigrafico e morfologico della cresta collinare su cui sorge il nucleo abitato di Borranò esterno all'area in frana, sono stati elaborati due specifici modelli numerici: uno per l'area identificata come "Borranò Nord" e l'altro per l'area identificata come "Borranò Sud".

### 7.1.2.13 Sezione Geologica Tecnica F-F' - Borranò

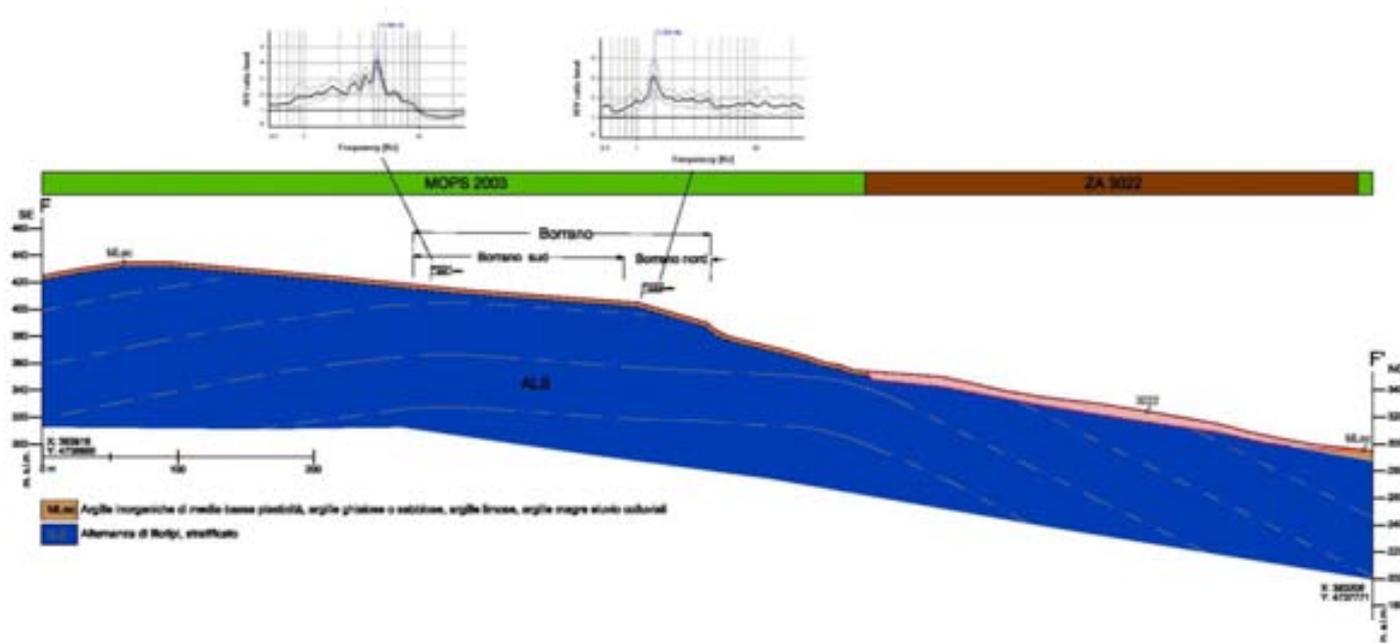


Figura 53: Sezione Geologica Tecnica F-F' Borranò

### 7.1.2.14 “Borranò Nord” - Mops 2003

Il modello elaborato sulla modellazione geologica già descritta e implementando i sismostrati sulla base dell’indagine sismica.

Il substrato sismico è stato impostato a 30 m di profondità dal p.c., all’interno dell’Associazione arenaceo-pelitica della Formazione della Laga, in cui la velocità delle onde di taglio sono certamente superiori a 800 m/s.

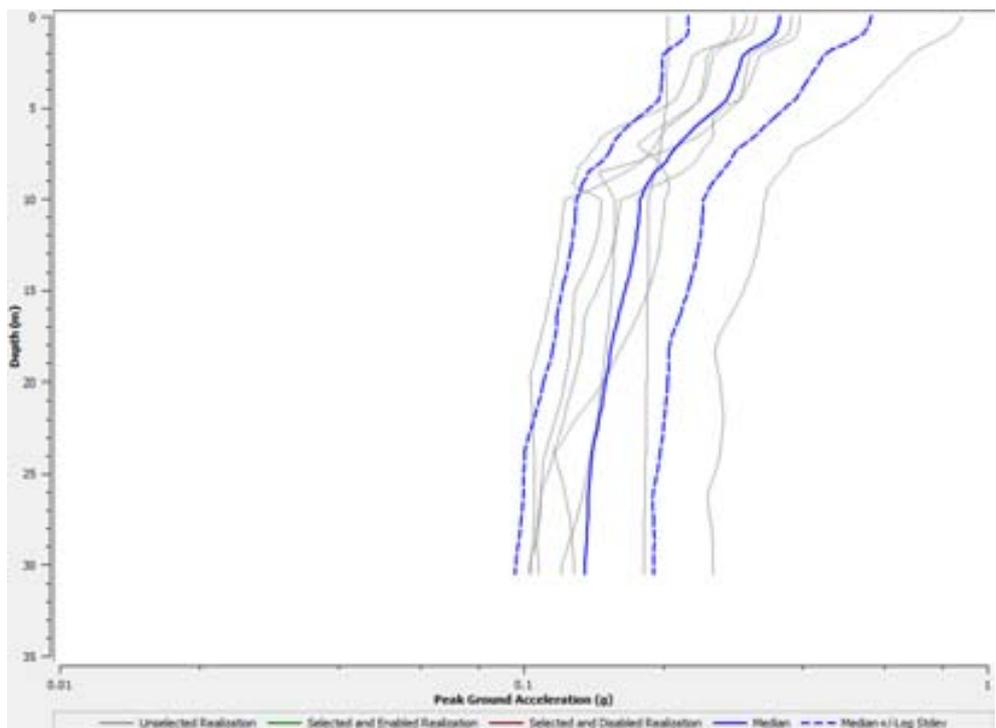
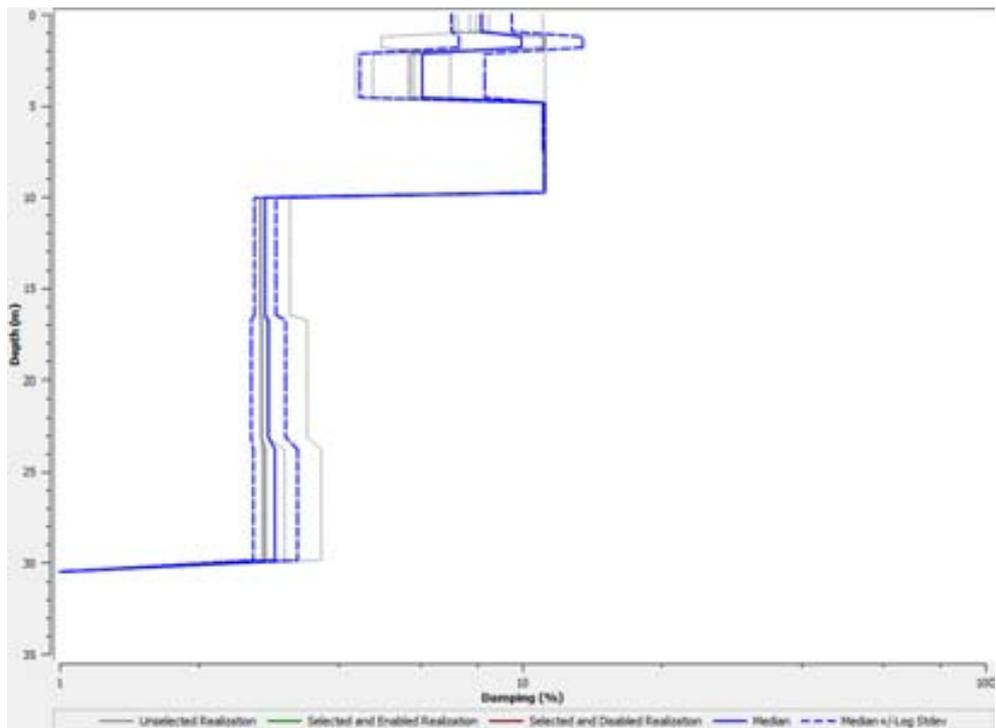
#### 7.1.2.14.1 Modello Numerico

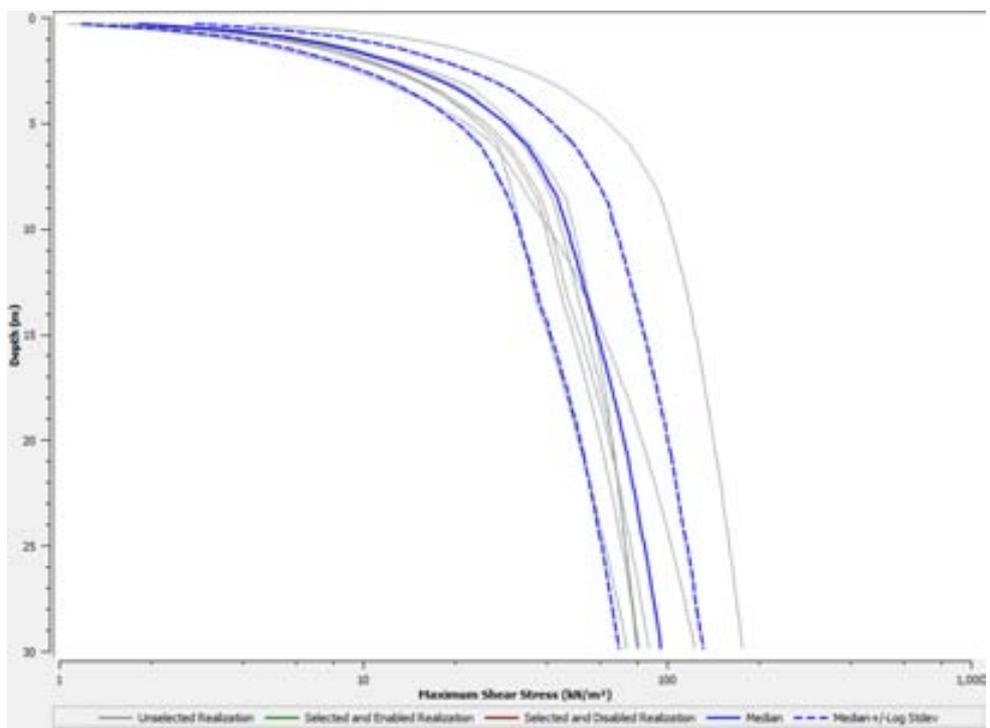
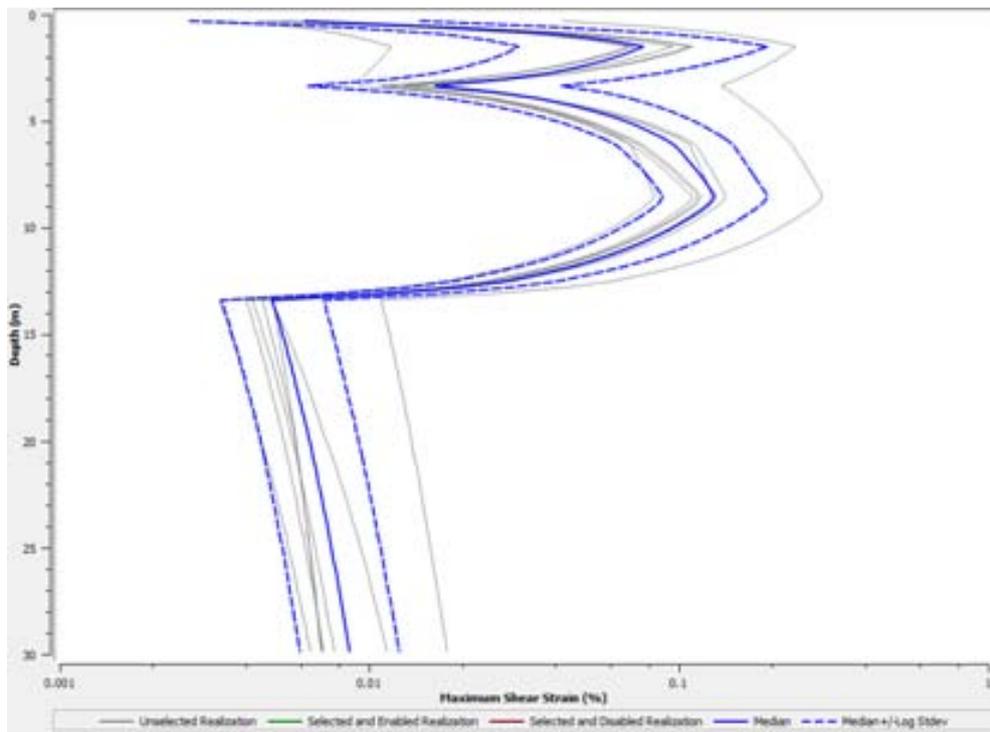
Di seguito la modellazione stratigrafica di riferimento utilizzata per la modellazione sismica.

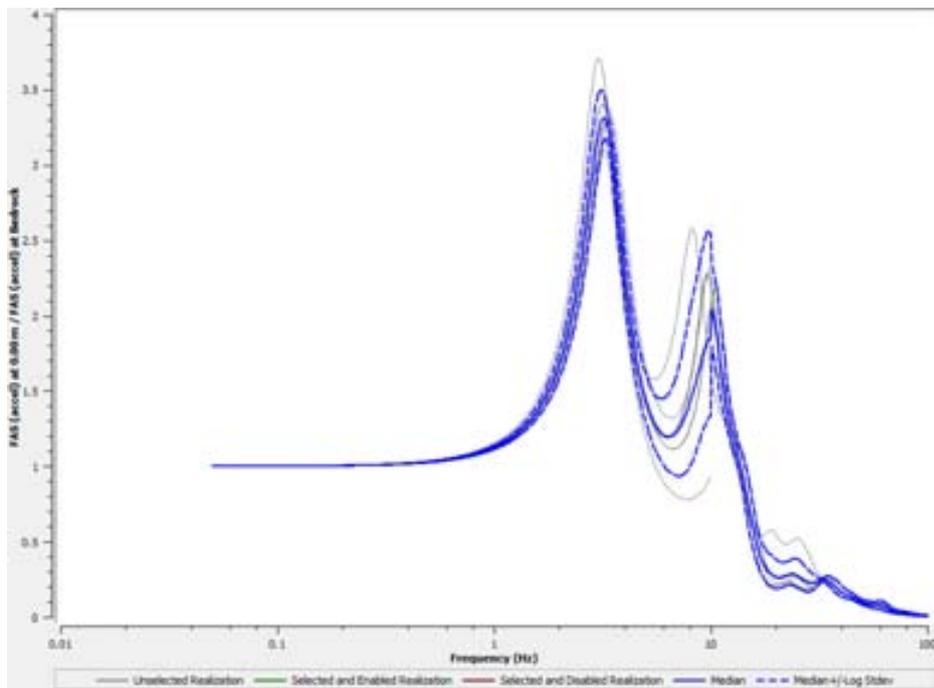
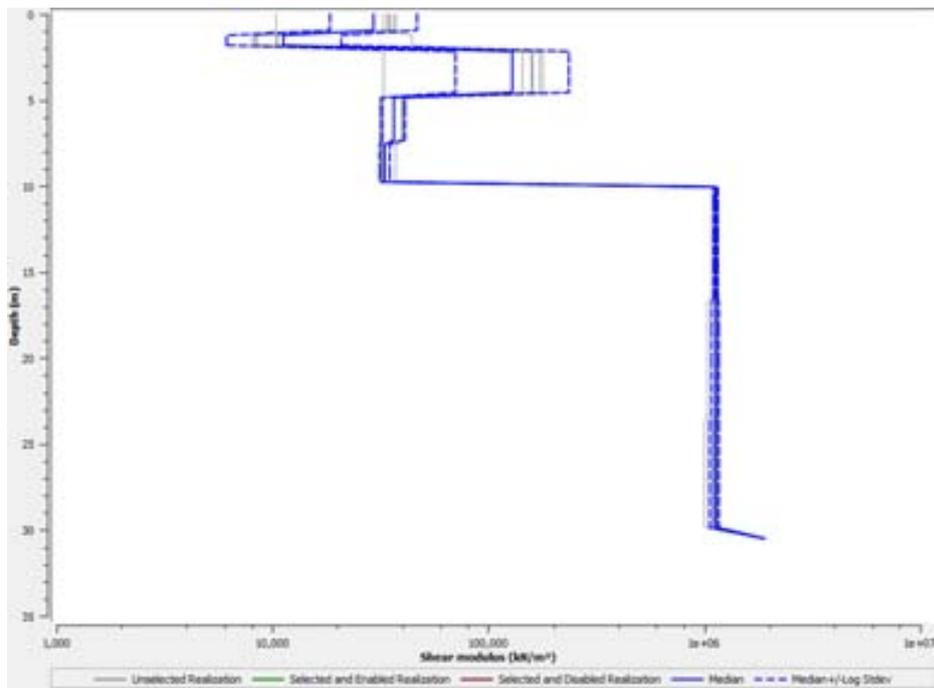
Tabella 19: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D “Borranò Nord”

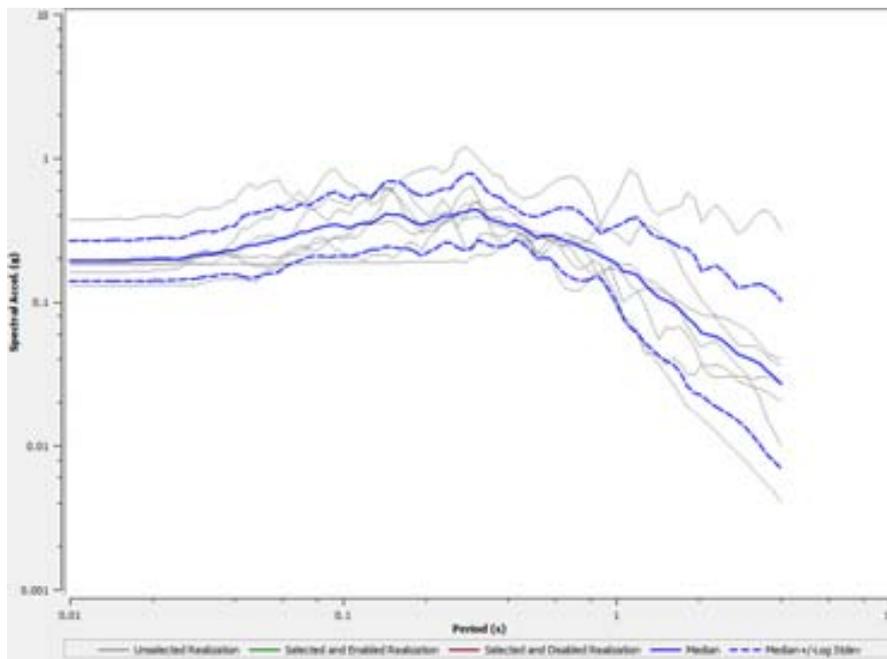
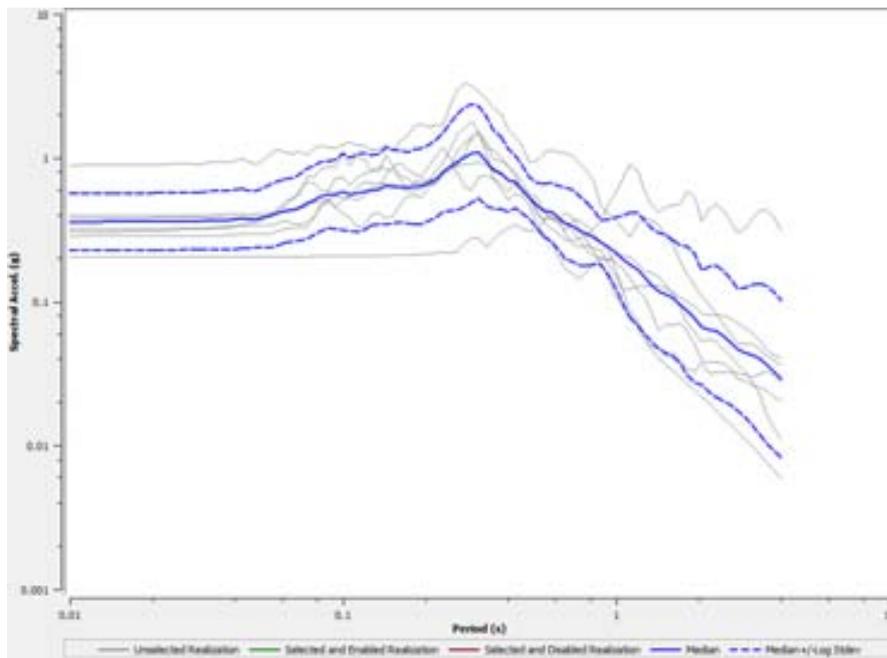
Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
ML ec	17	170	CR_PONZANO	2.0
LAG6e superficiale	21	300	CR_PONZANO	8.0
LAG6e profondo	22	720	CR_CASTEL CASTAGNA	20.0
Bedrock	23	900		

7.1.2.14.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali









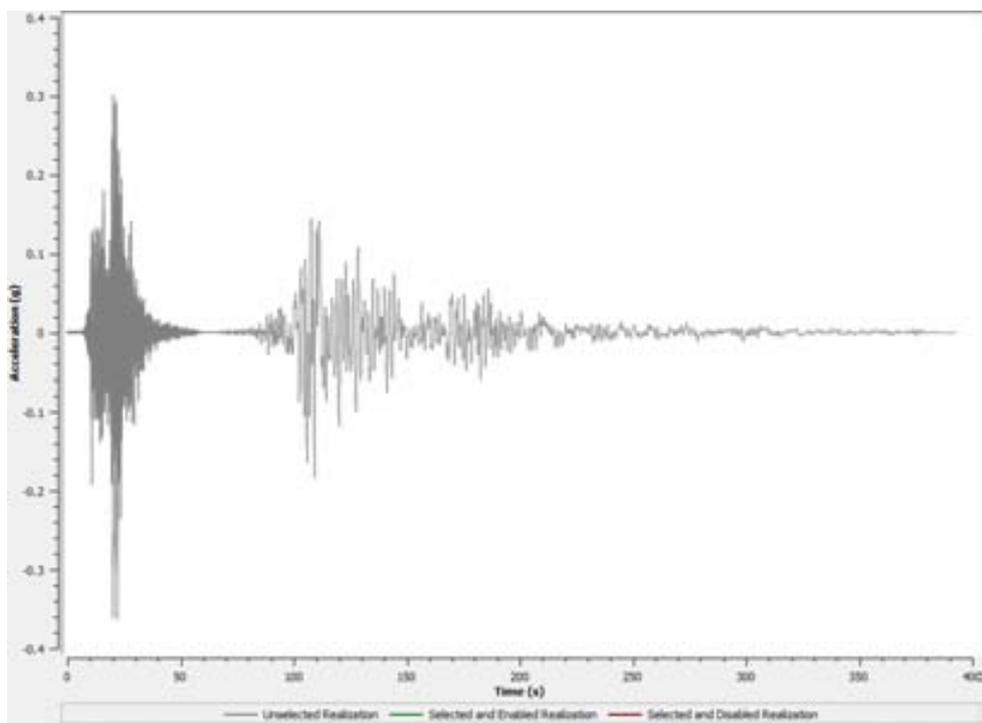
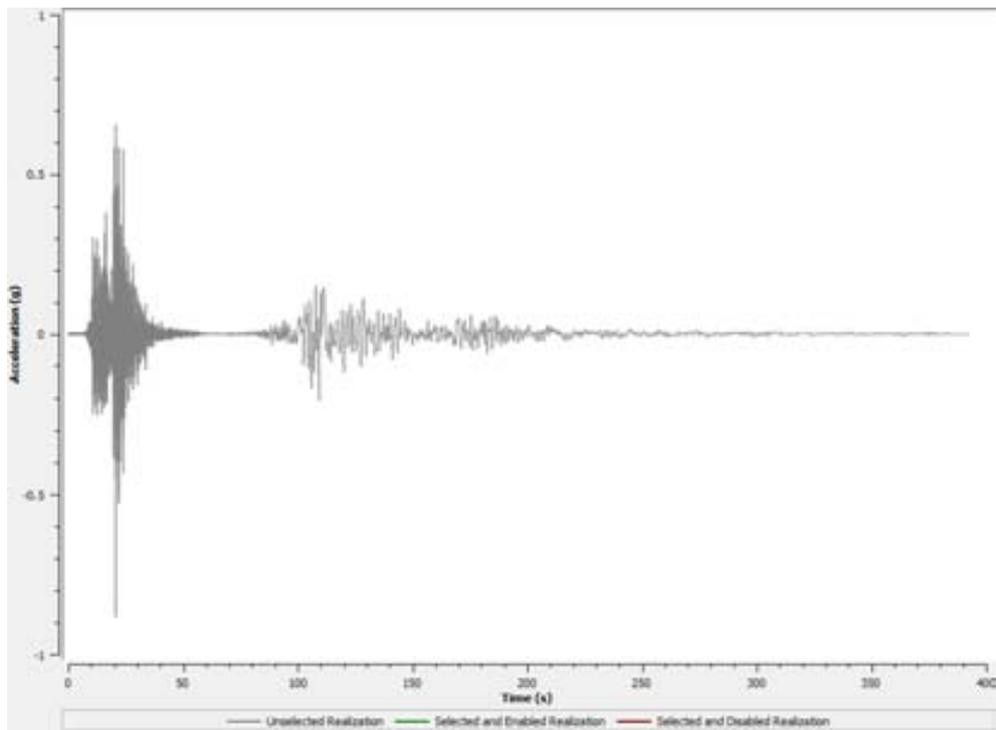
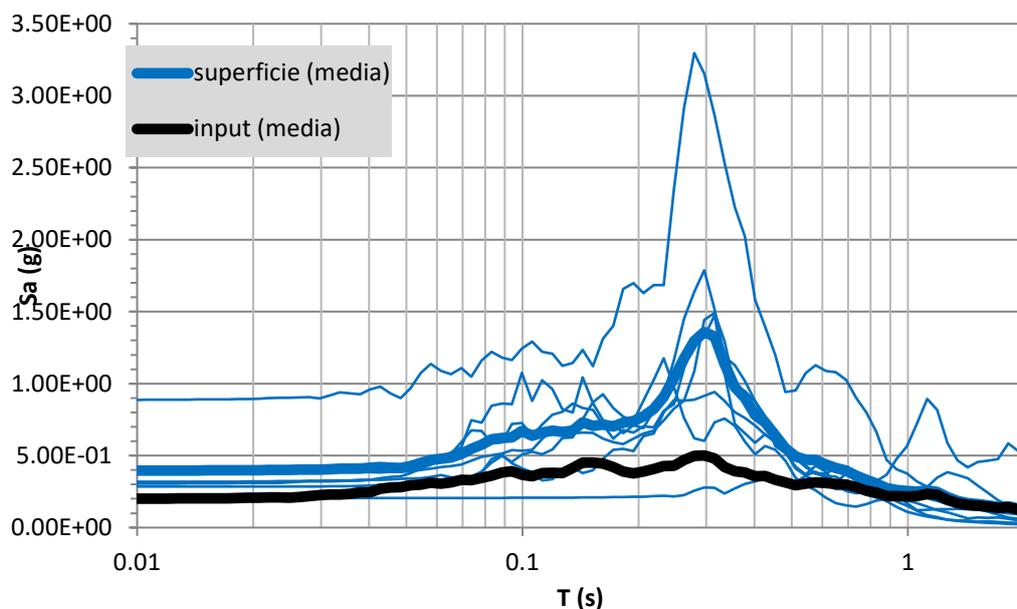


Tabella 20 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
2.02	1.51	1.23



#### 7.1.2.15 Borranò sud” - Mops 2003

Il modello elaborato sulla modellazione geologica già descritta con i sismostri definiti sulla base dell’indagine sismica passiva.

Il substrato sismico è stato impostato a 28 m di profondità dal p.c., all’interno dell’Associazione arenaceo-pelitica della Formazione della Laga, in cui la velocità delle onde di taglio sono certamente superiori a 800 m/s.

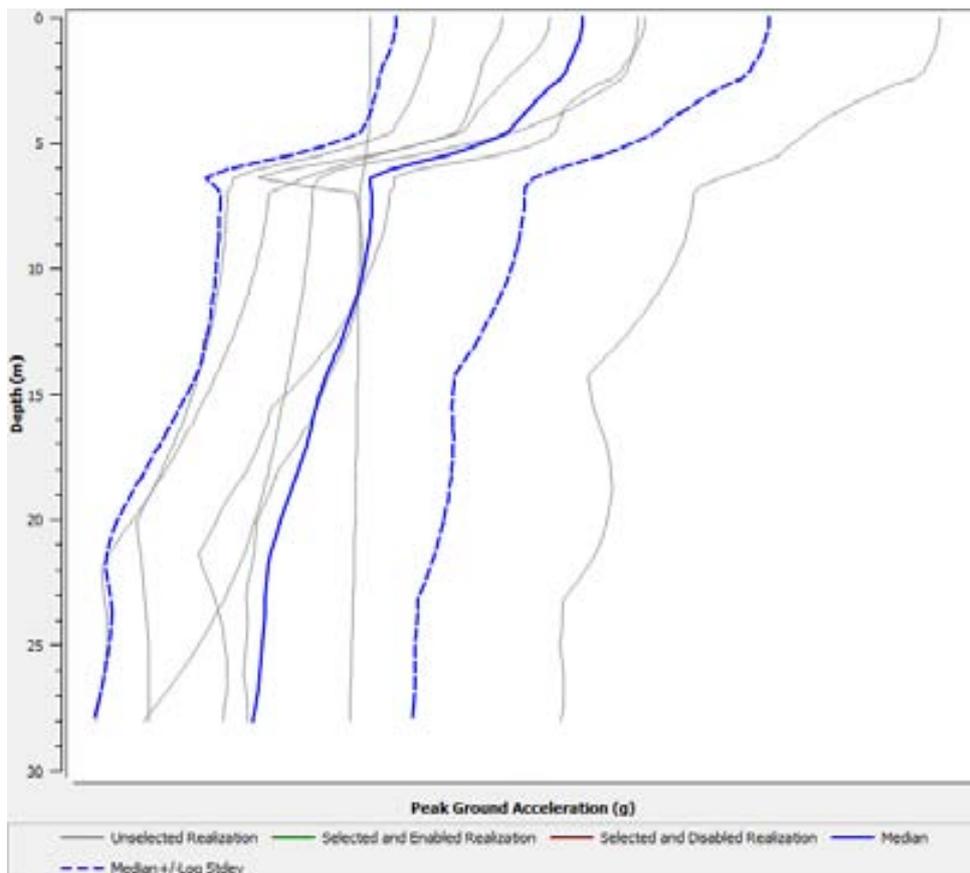
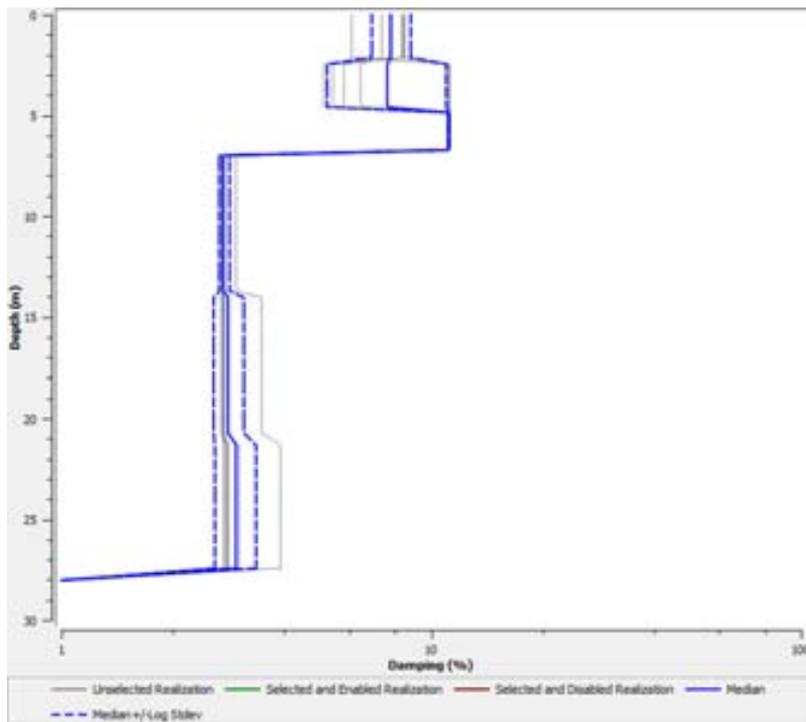
##### 7.1.2.15.1 Modello Numerico

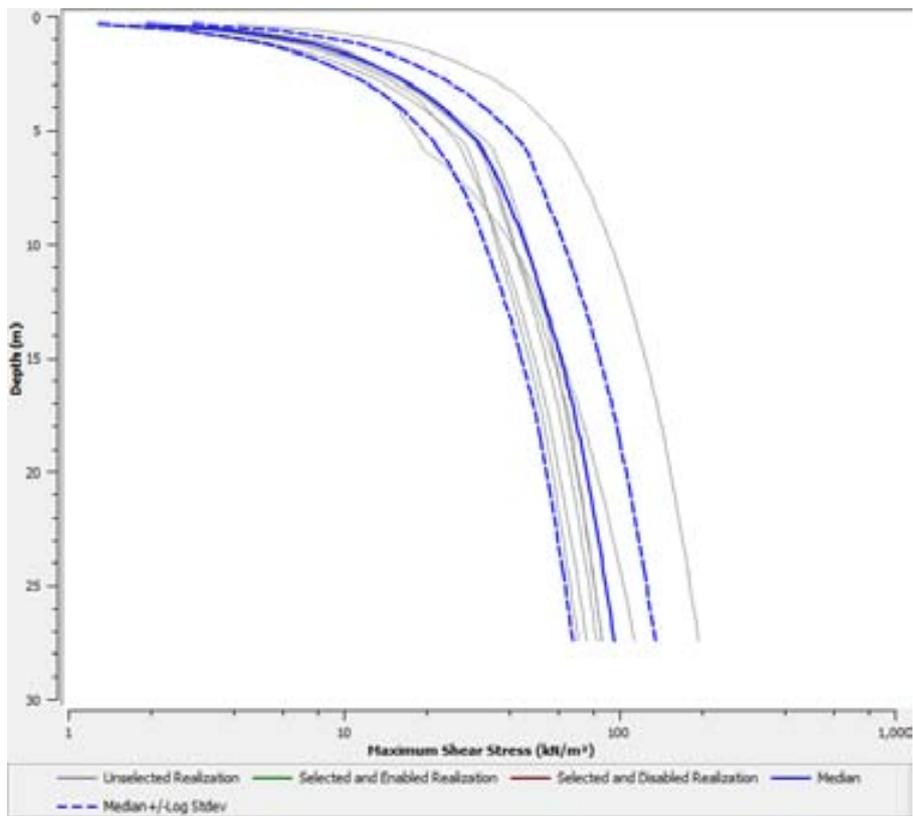
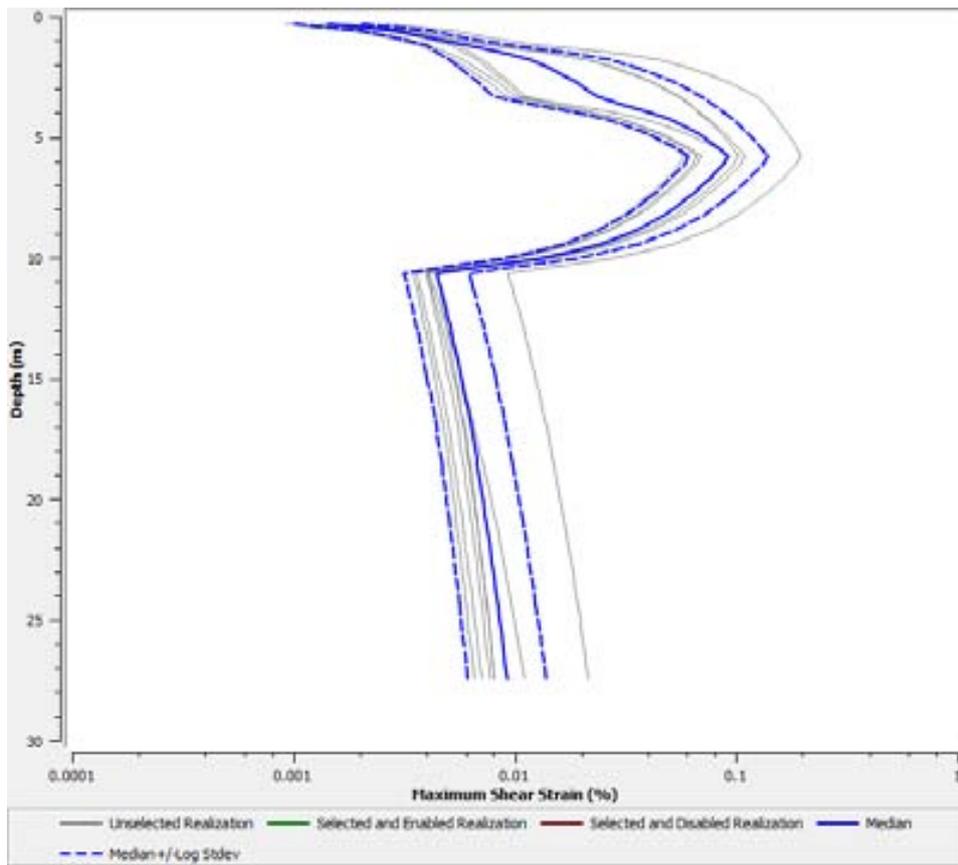
Di seguito la modellazione stratigrafica di riferimento utilizzata per la modellazione sismica.

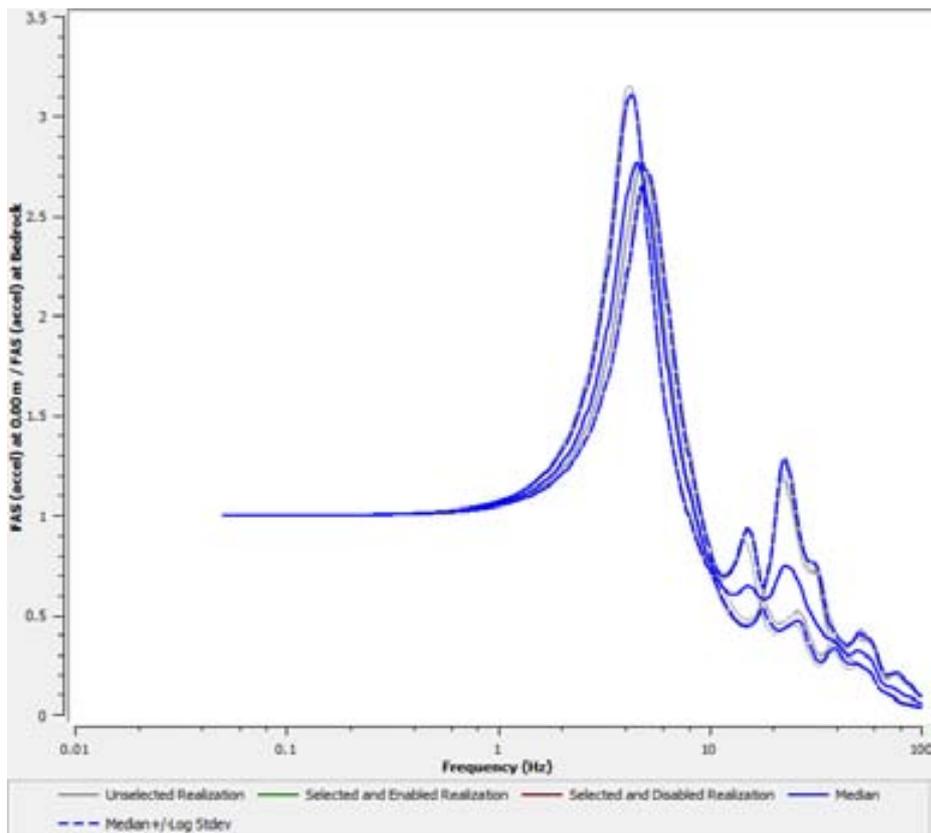
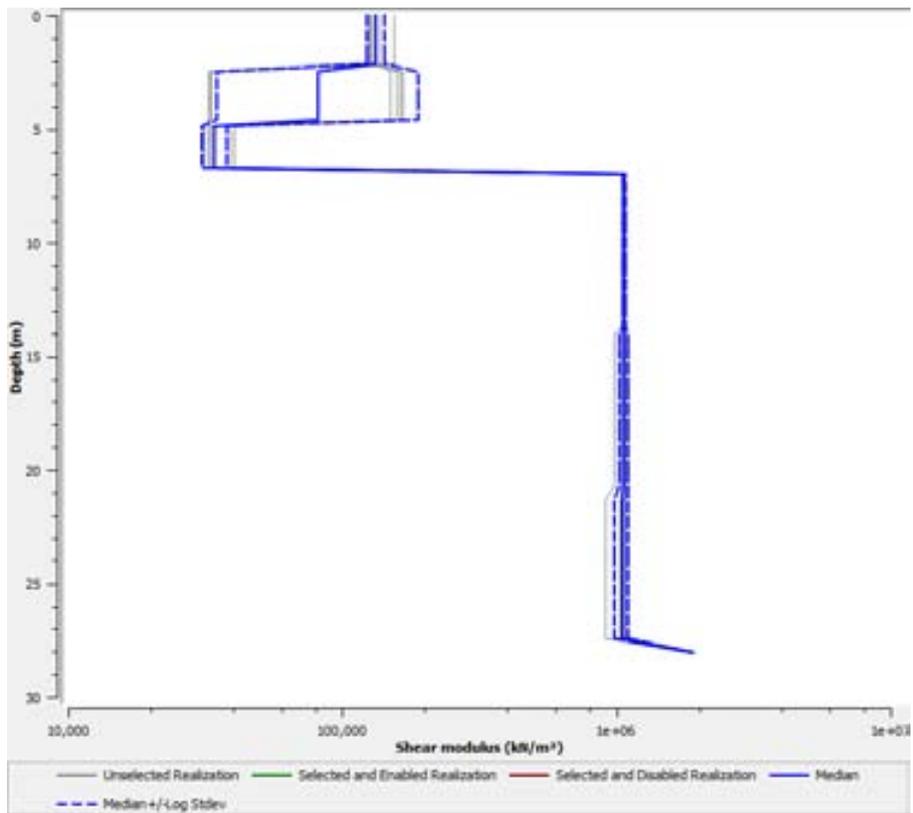
Tabella 21: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D “Borranò Sud”

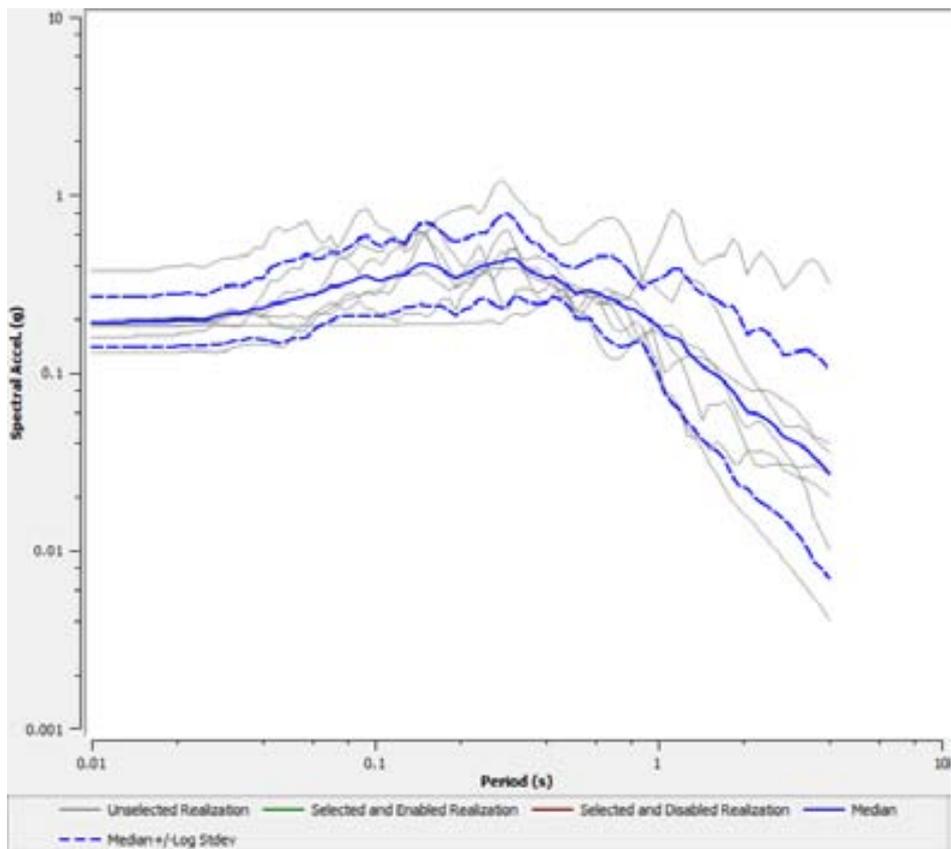
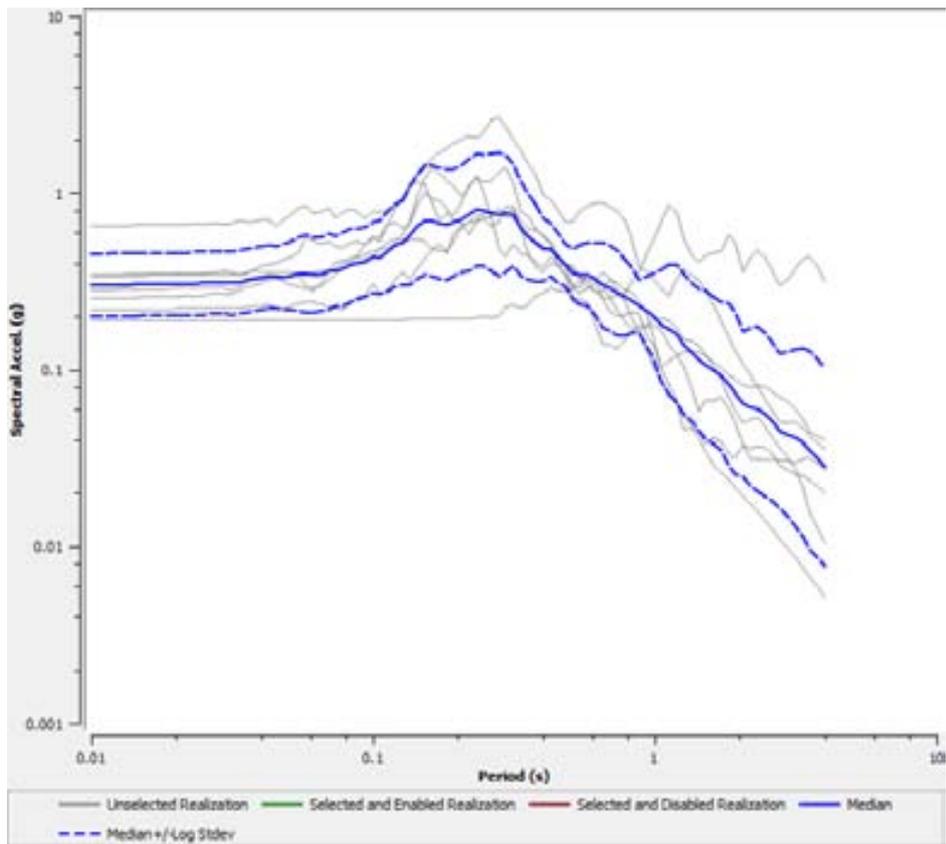
Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
<b>LAG6e superficiale</b>	21	300	CR_PONZANO	7.0
<b>LAG6e profondo</b>	22	700	CR_CASTEL CASTAGNA	21.0
<b>Bedrock</b>	23	900		

7.1.2.15.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali









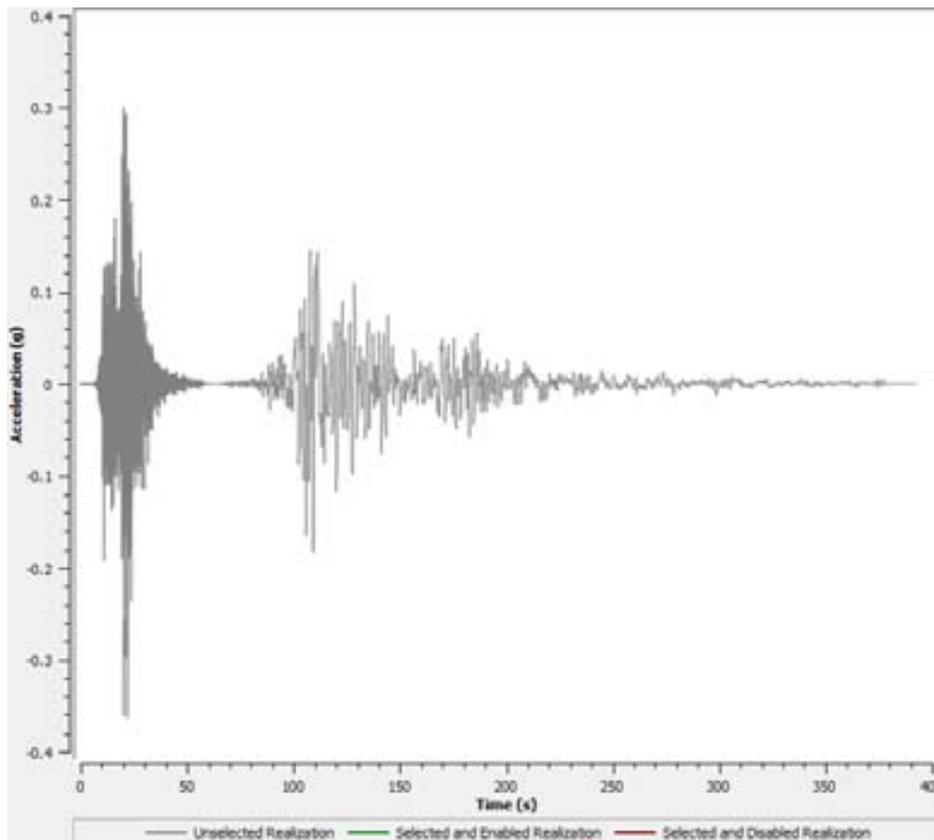
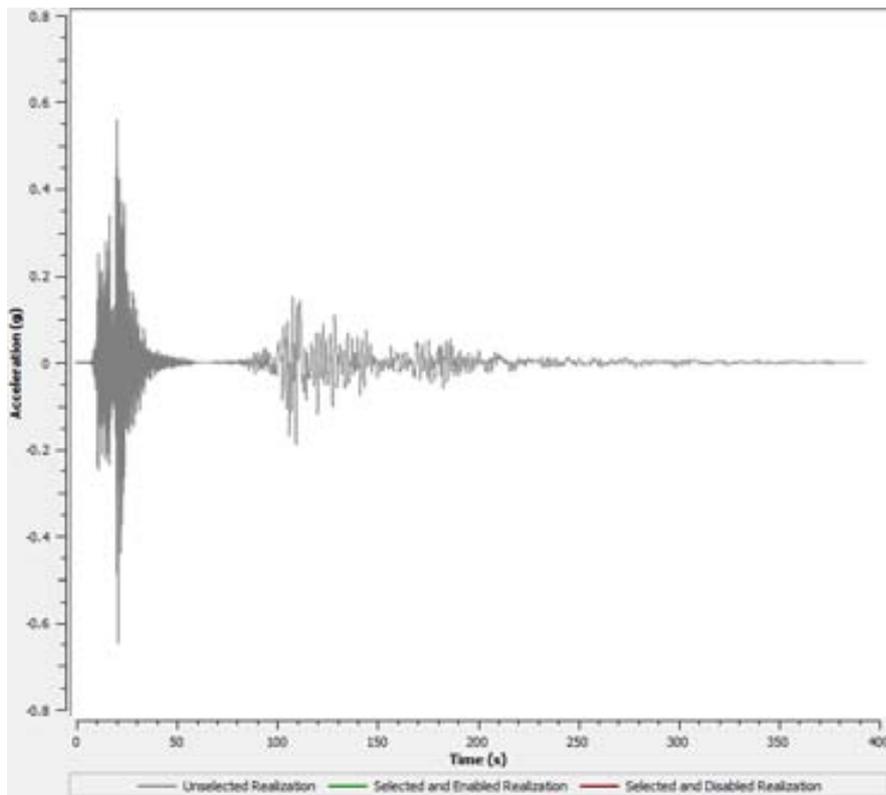
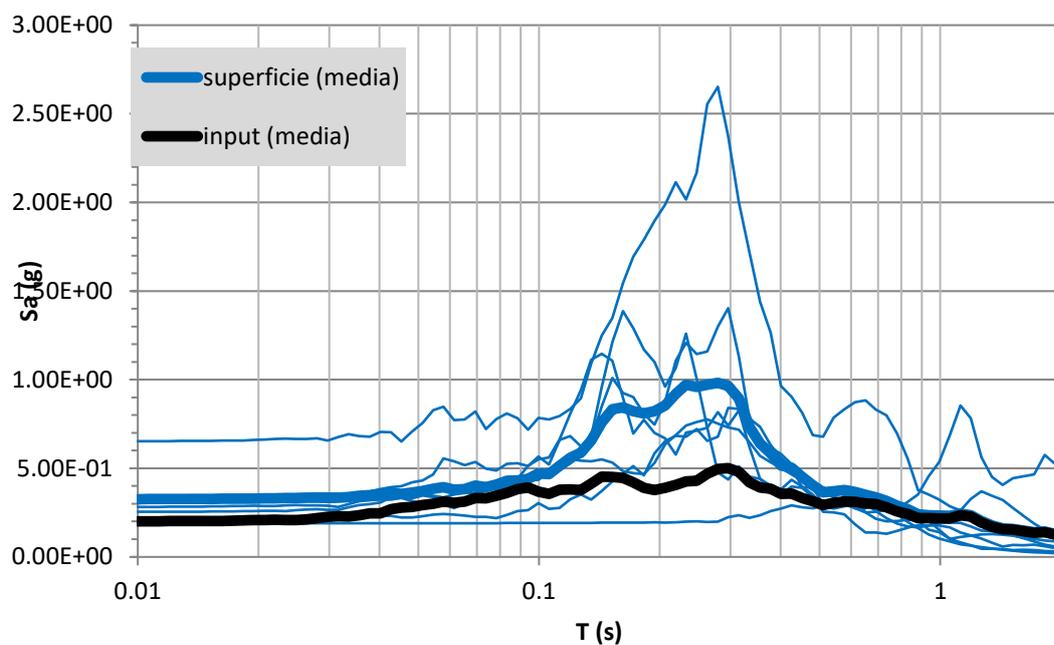


Tabella 22 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.64	1.21	1.10



#### 7.1.2.16 “Borrano sud” - Mops 30252003

Nell’area identificata come “Borrano sud” vi ricade la MOPS 30252003. Il modello elaborato sulla base della modellazione geologica già descritta. Anche in questo caso, il bedrock sismico è stato impostato a 28 m di profondità, all’interno dell’Associazione arenaceo-pelitica della Formazione della Laga.

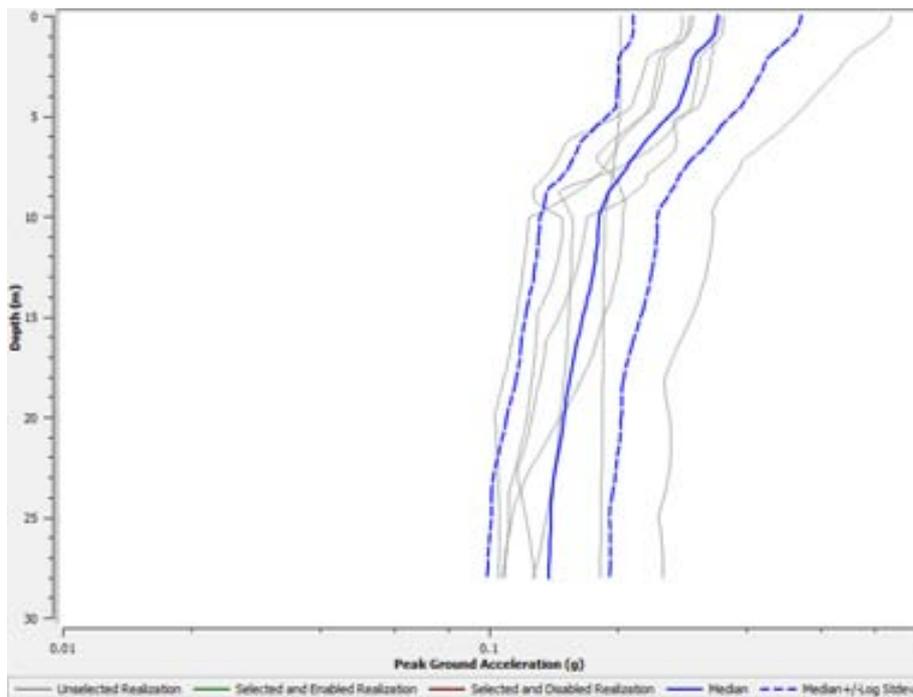
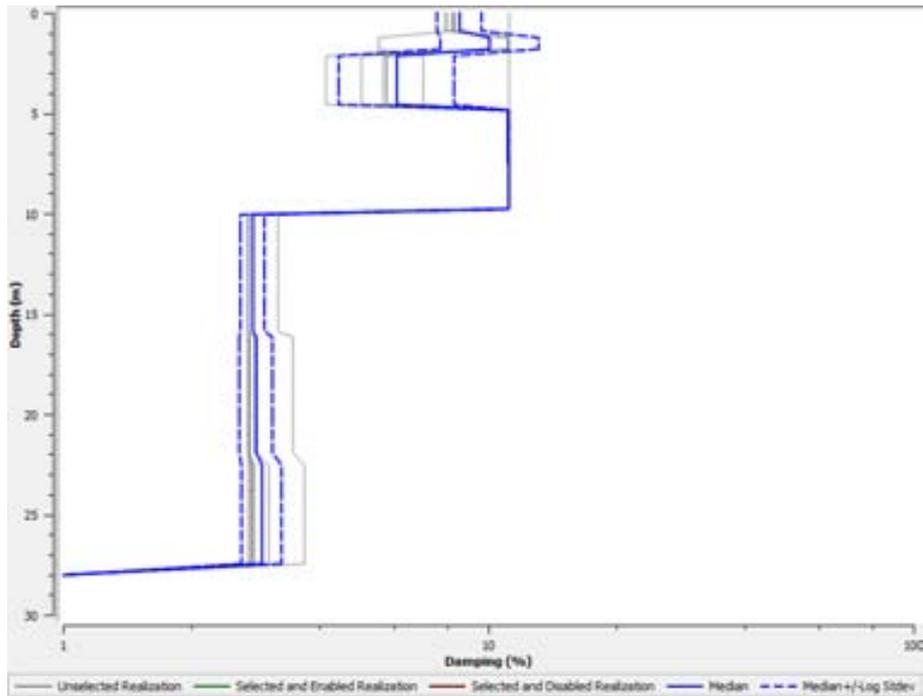
##### 7.1.2.16.1 Modello Numerico

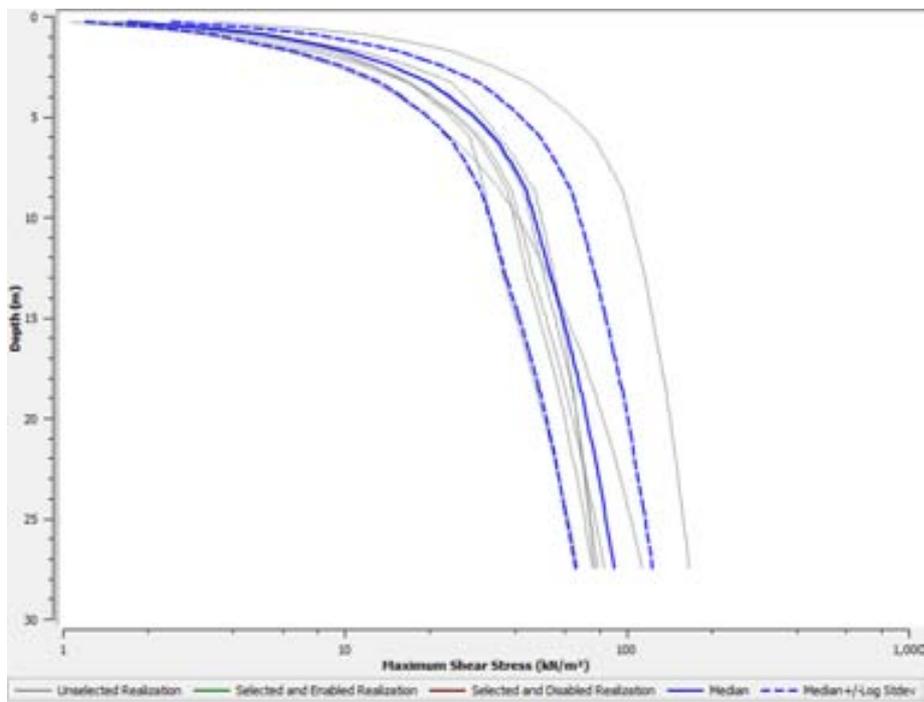
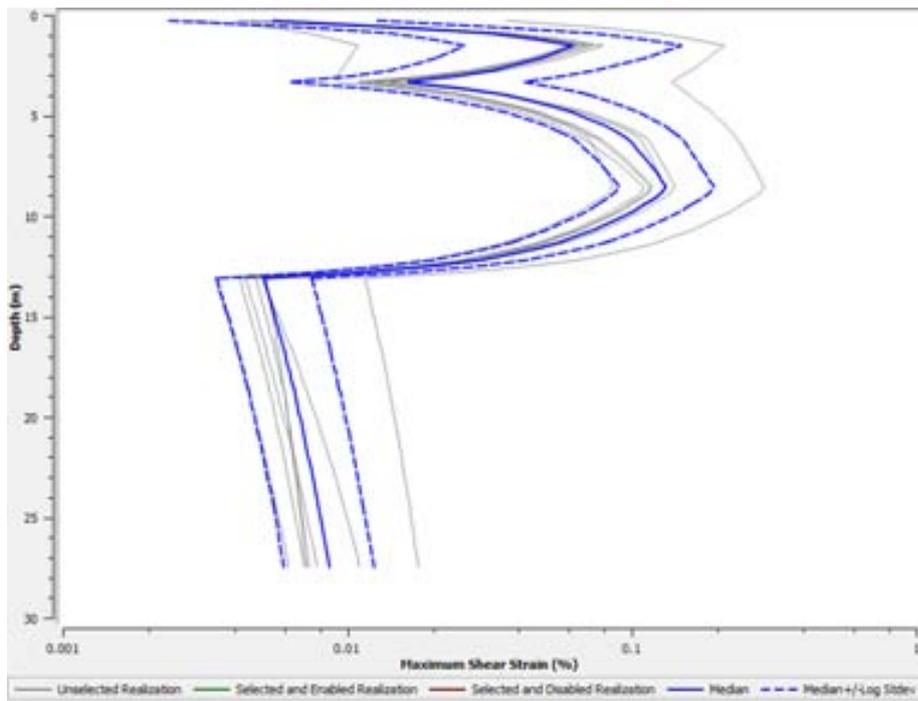
Di seguito la modellazione stratigrafica di riferimento utilizzata per la modellazione sismica.

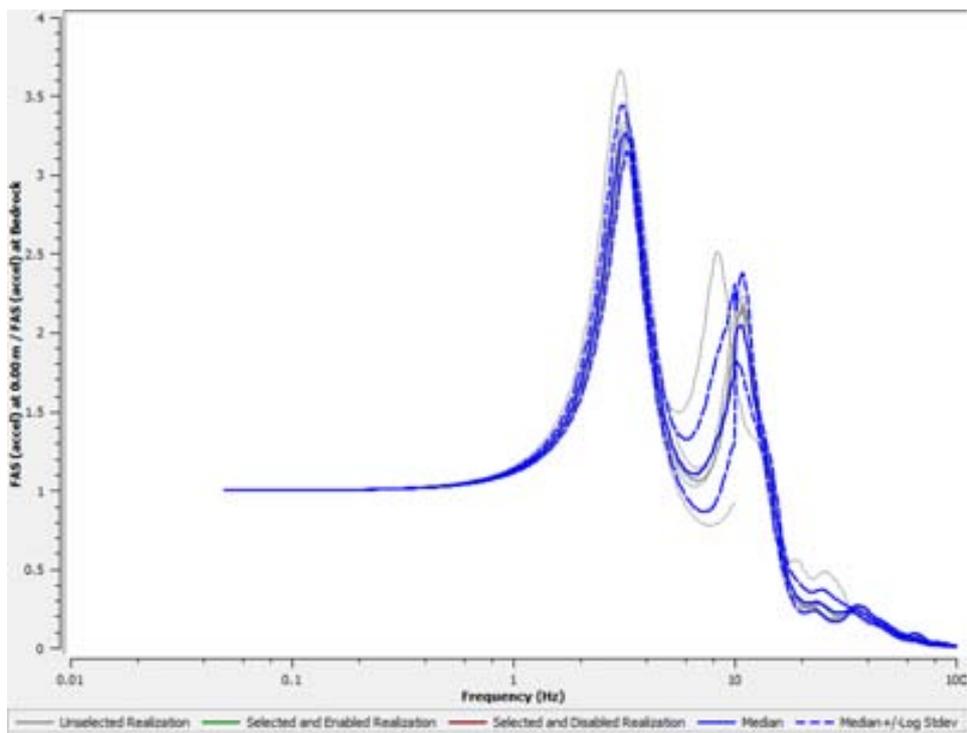
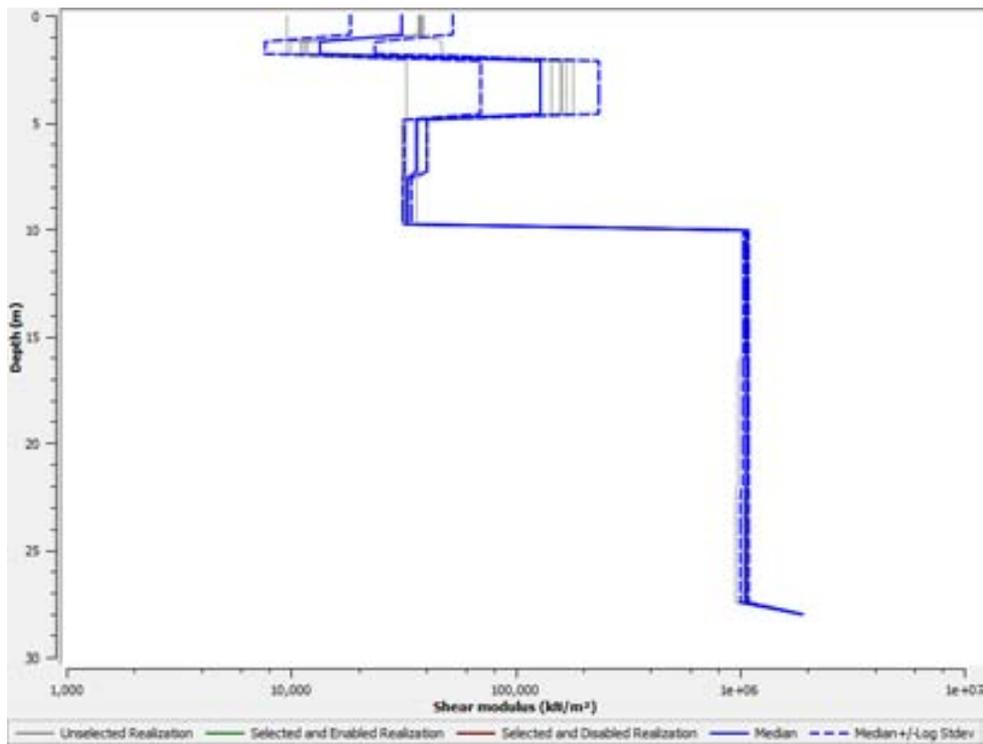
Tabella 23: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Borrano

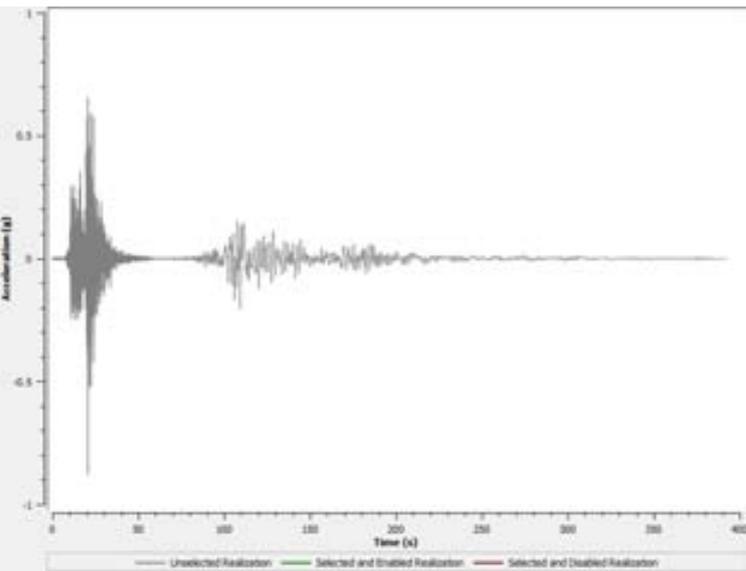
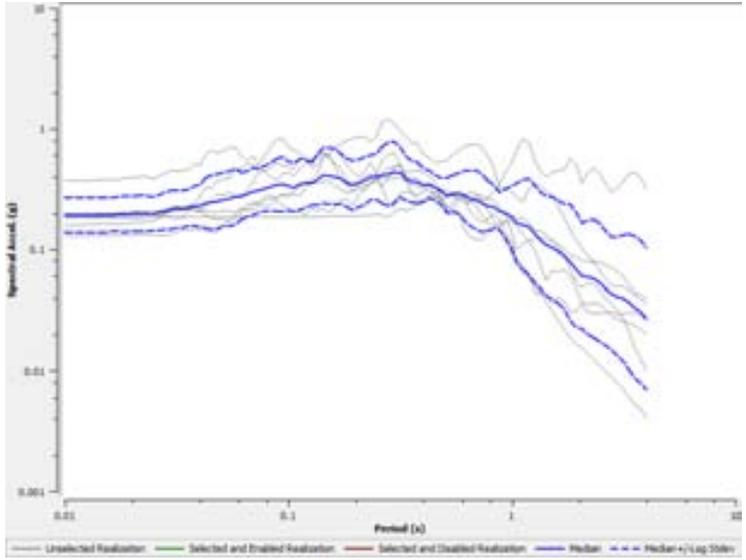
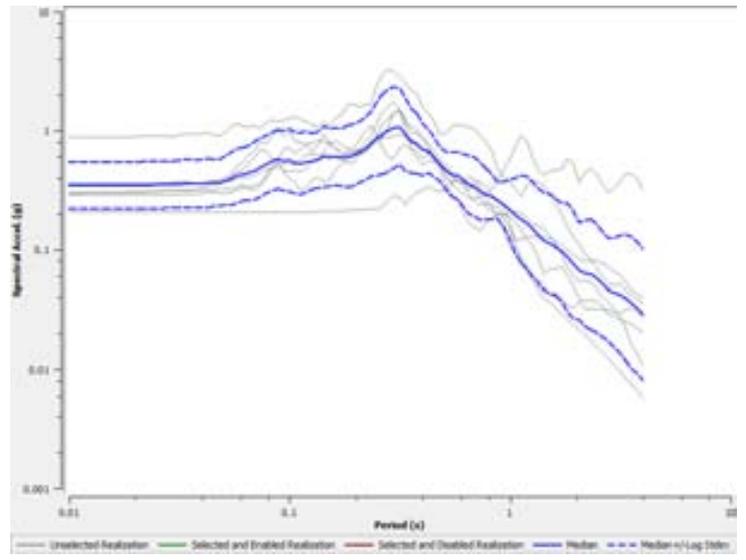
Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
ML ec	17	170	CR_PONZANO	2.0
LAG6e superficiale	21	300	CR_PONZANO	8.0
LAG6e profondo	22	700	CR_CASTEL CASTAGNA	18.0
Bedrock	23	900		

7.1.2.16.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali









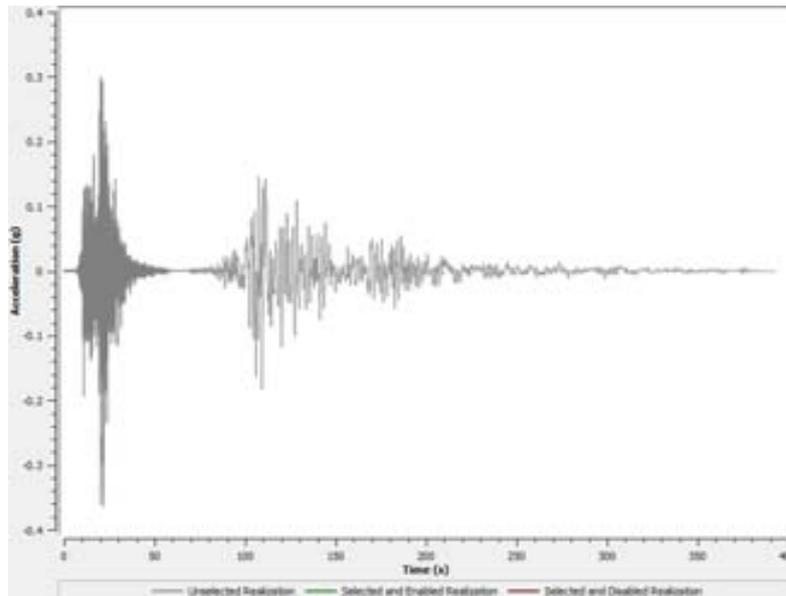
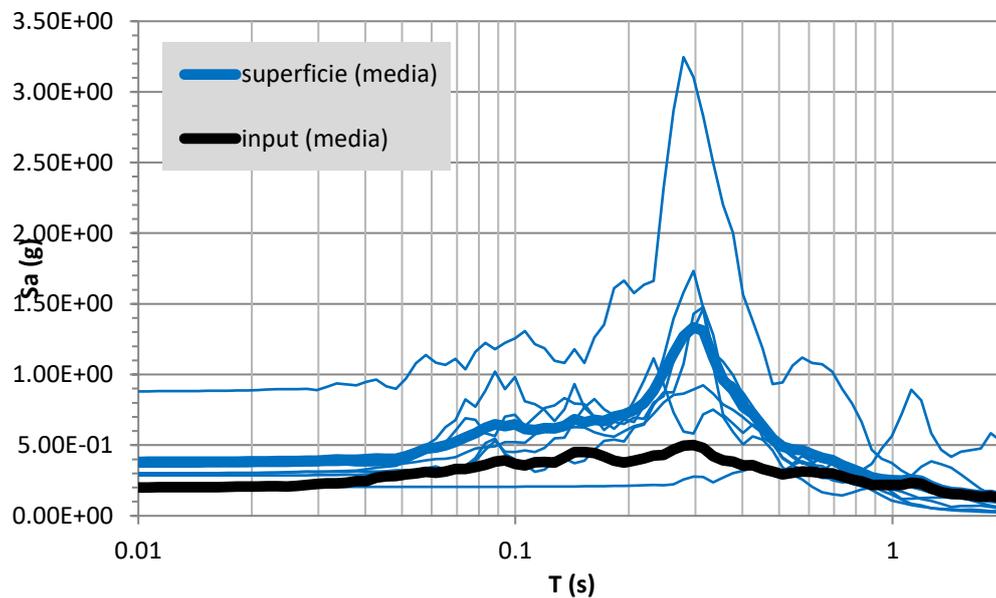


Tabella 24 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.97	1.50	1.23



#### 7.1.2.17 Valutazione degli effetti topografici

Si ritiene per le aree in esame di assegnare un  $S_T$  (coefficiente di amplificazione topografica) = 1,27 per il  $T_0 = 0,7-1,1$  s.

7.1.2.18.1 Sezione Geologico Tecnica e Modello Numerico

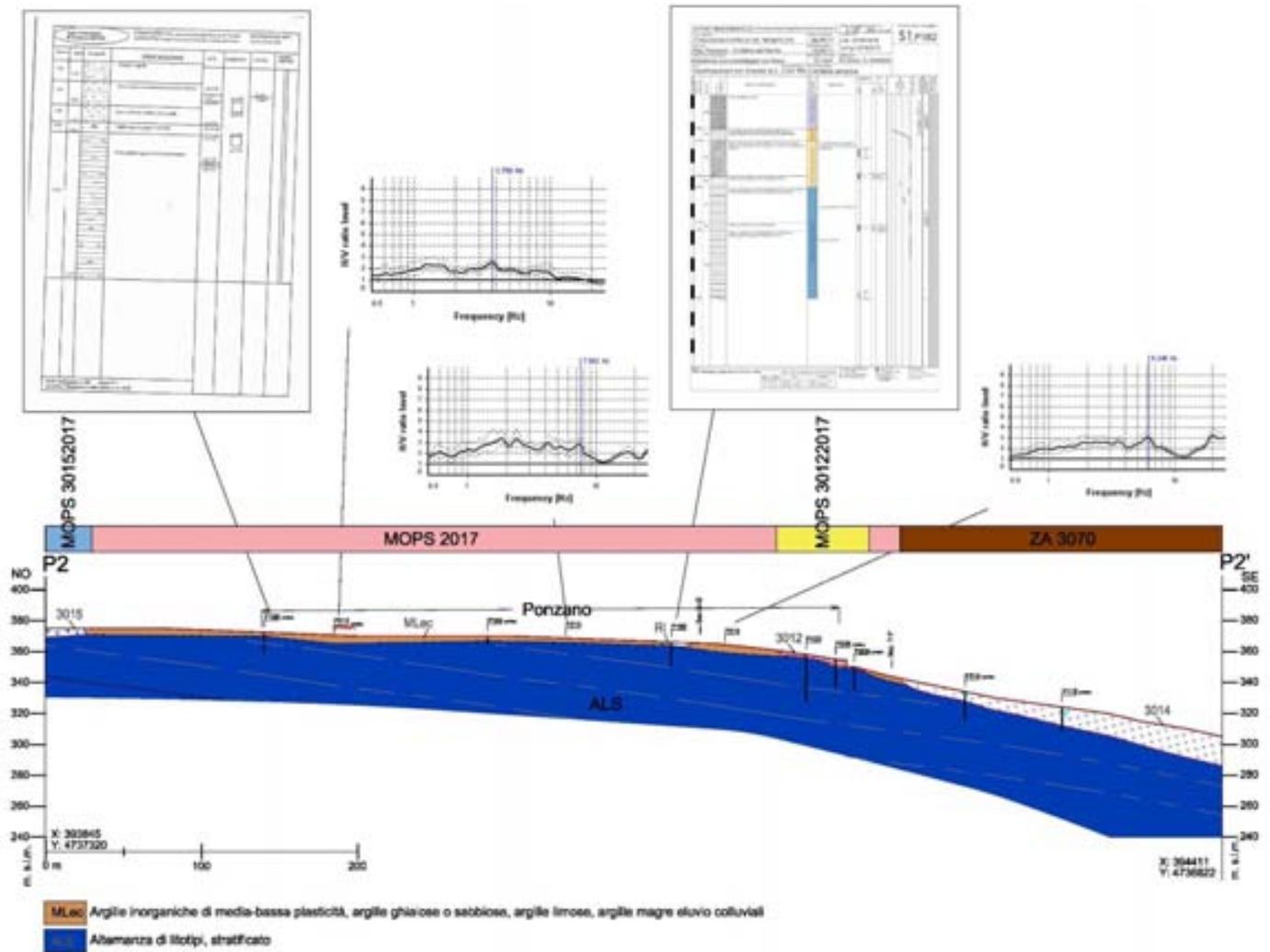
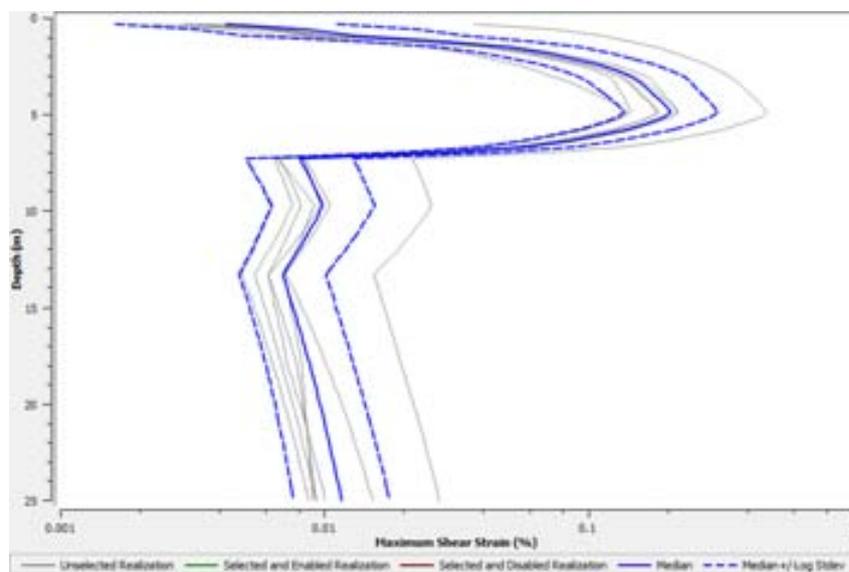
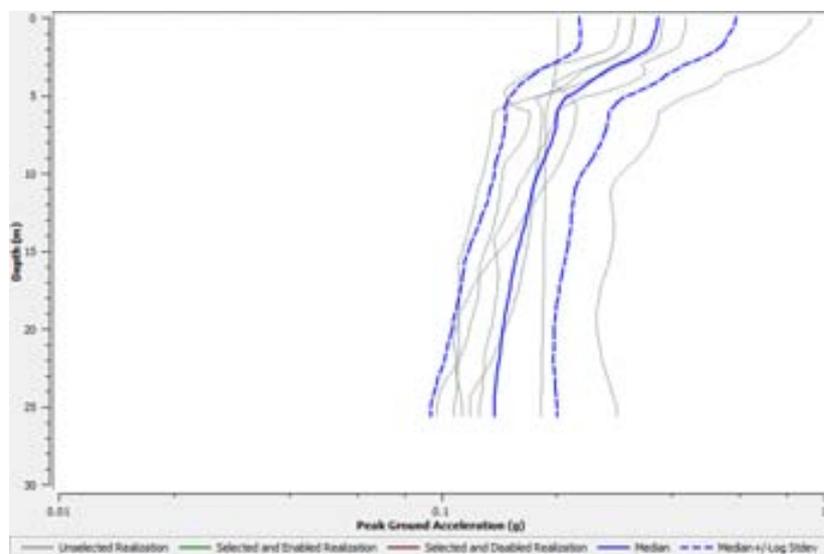


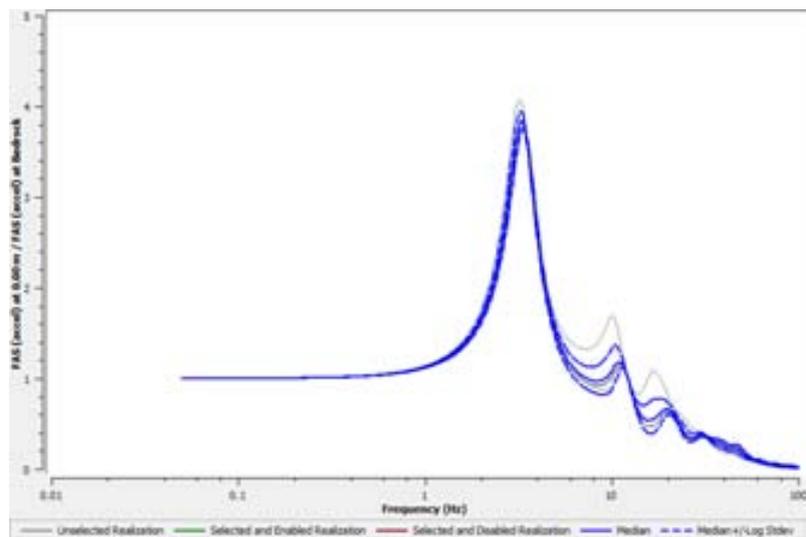
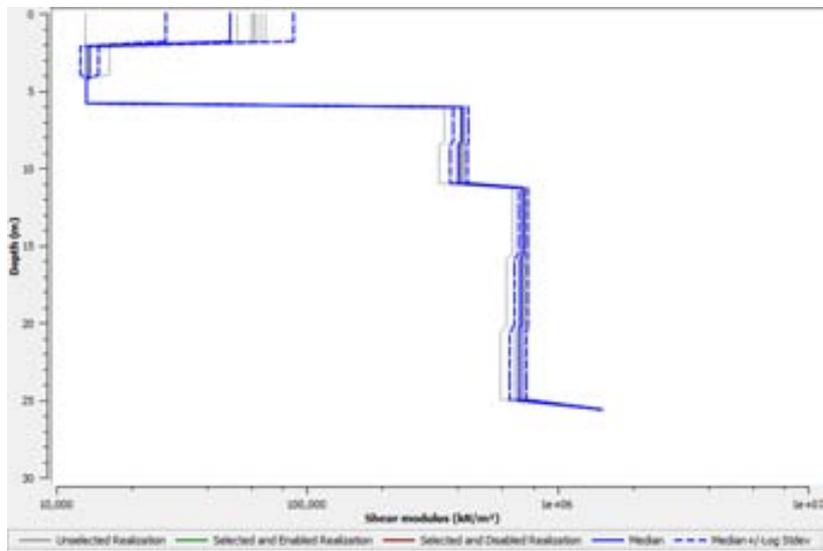
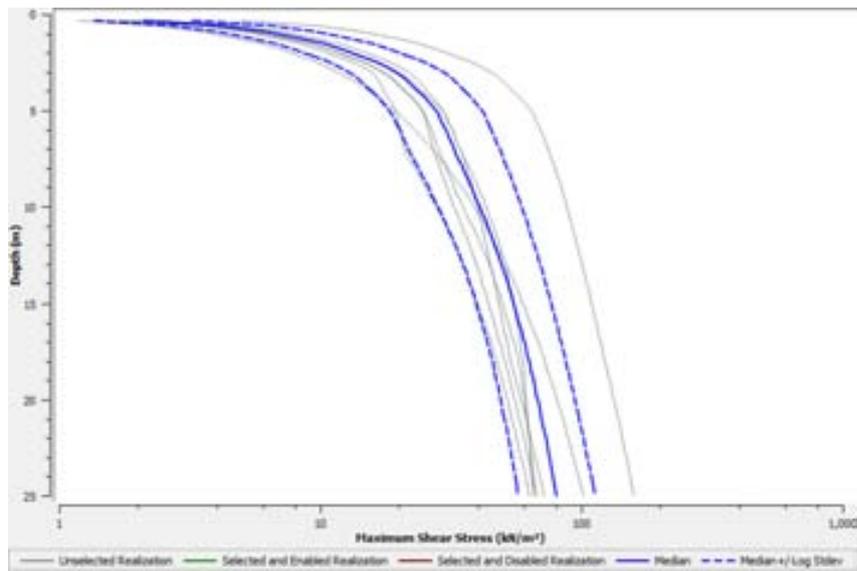
Figura 54: Sezione Geologico Tecnica P2-P2' di Ponzano

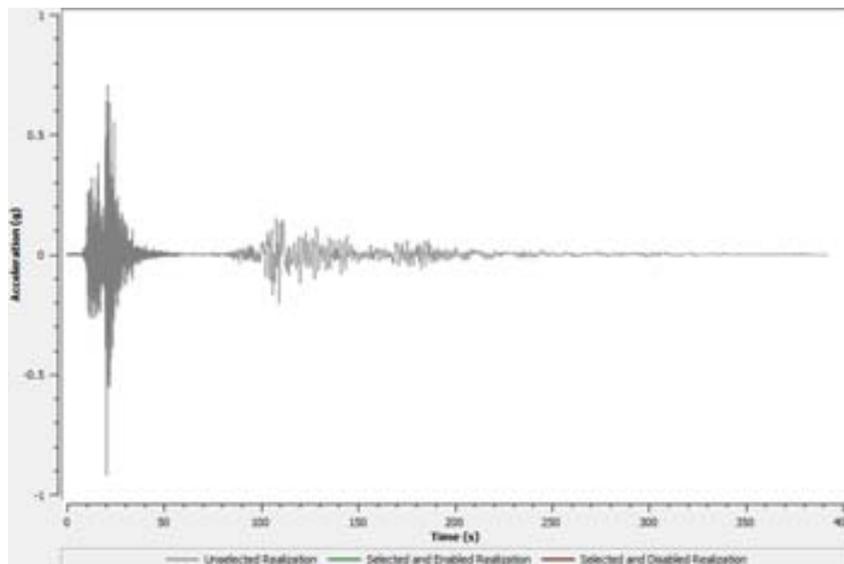
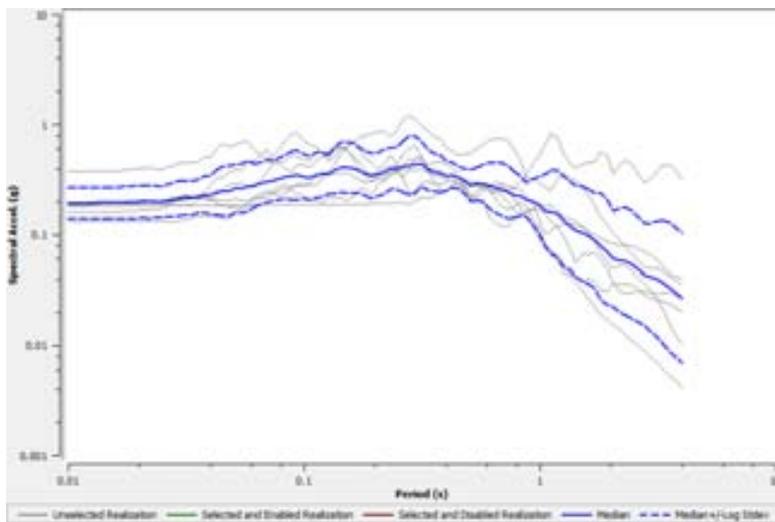
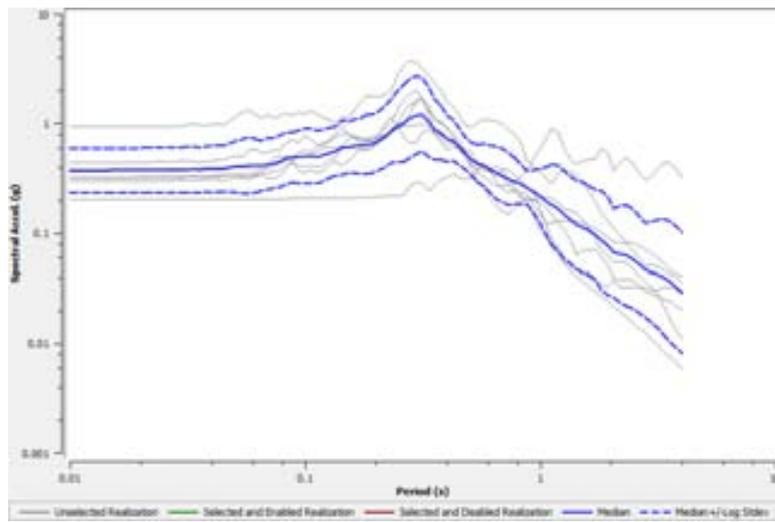
Tabella 25: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Ponzano

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
ML ec	19	200	CR_PONZANO	6.0
LAG6c alterato	21	450	CR_CASTEL CASTAGNA	5.0
LAG6c	21	580	CR_CASTEL CASTAGNA	14.0
Bedrock	23	800		

7.1.2.18.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali







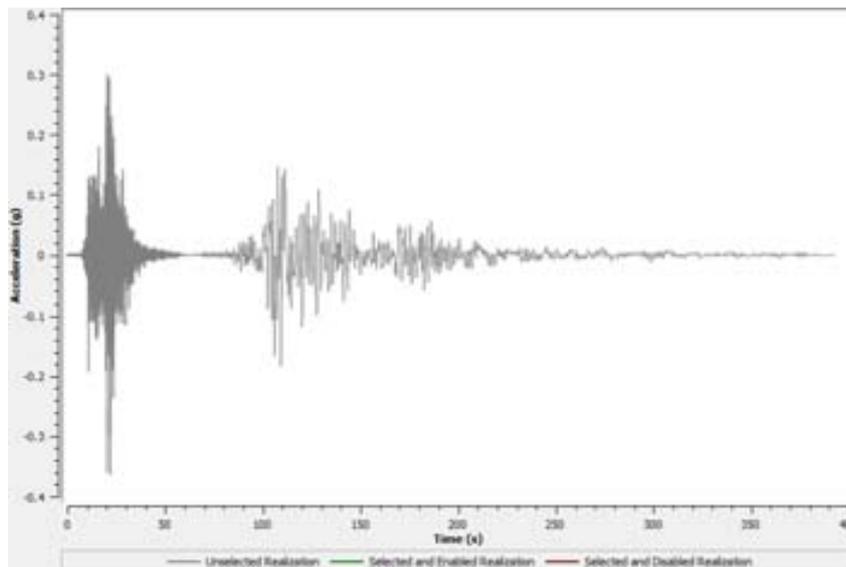
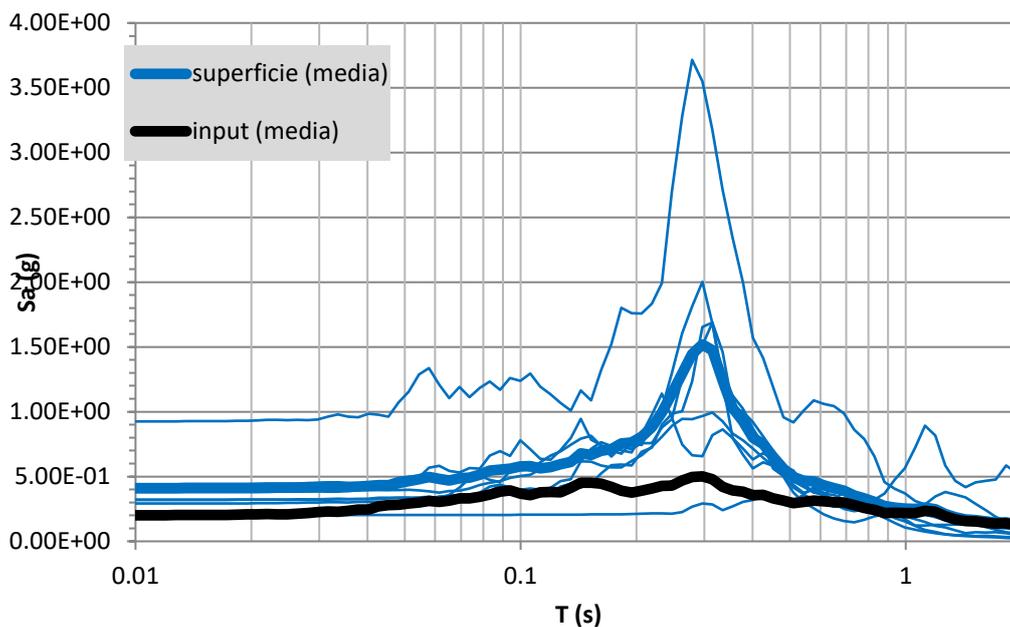


Tabella 26 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
2.09	1.52	1.23



#### 7.1.2.19 Categoria di sottosuolo da NTC e valore di VS30

L'identificazione della categoria di sottosuolo è stata effettuata in base ai valori della velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. L'indagine di sismica ha restituito una velocità delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità pari a 548 m/s  $\pm$  20%.

Pertanto si ritiene di far ricadere il sito in esame nella "Categoria di sottosuolo B" secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2008.

Categoria di sottosuolo	Descrizione
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

### 7.1.2.20 Colle Santa Maria dei Lumi

#### 7.1.2.20.1 Sezione Geologico Tecnica

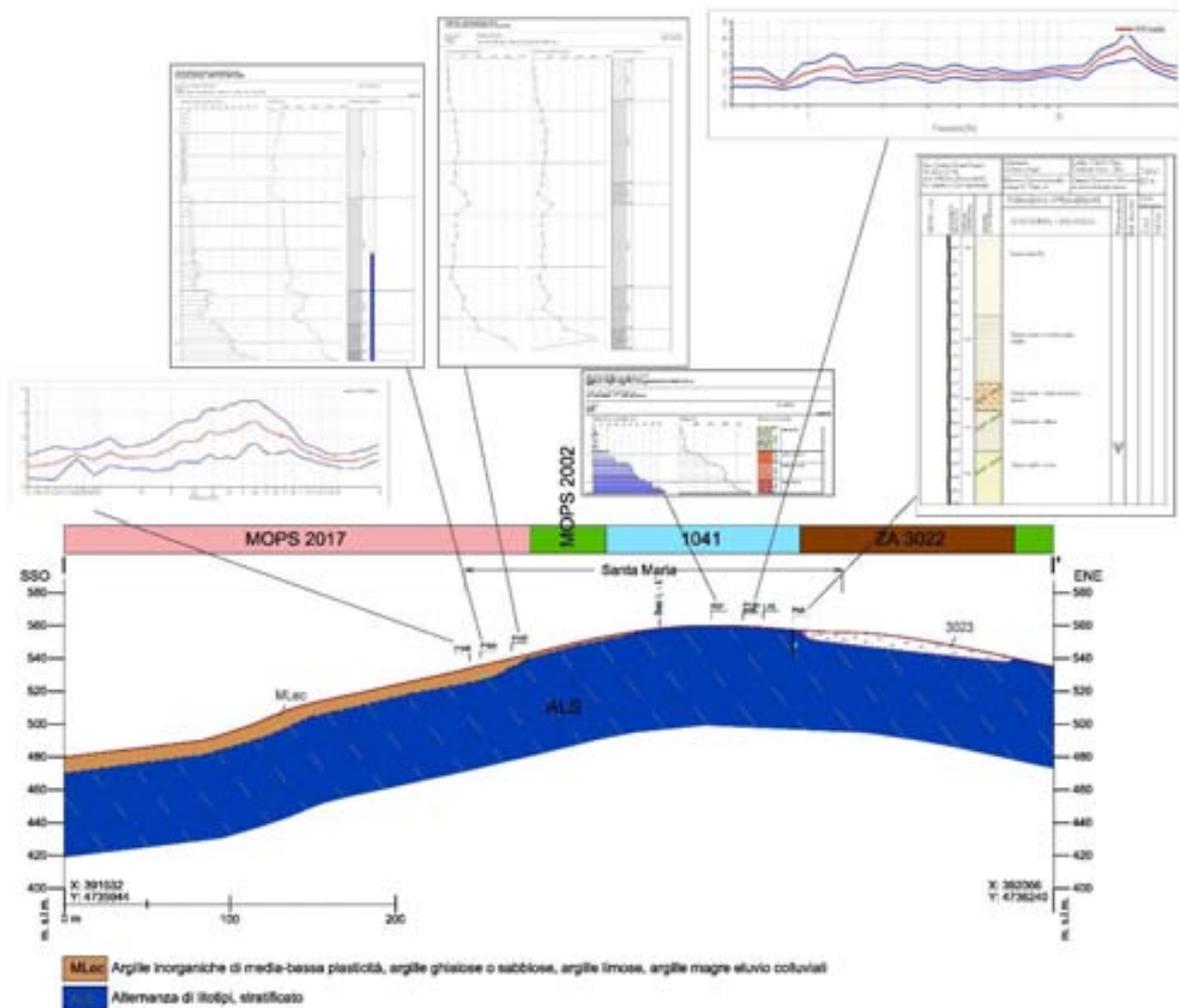


Figura 55: Sezione Geologico – Tecnica I – I' – Santa Maria dei Lumi

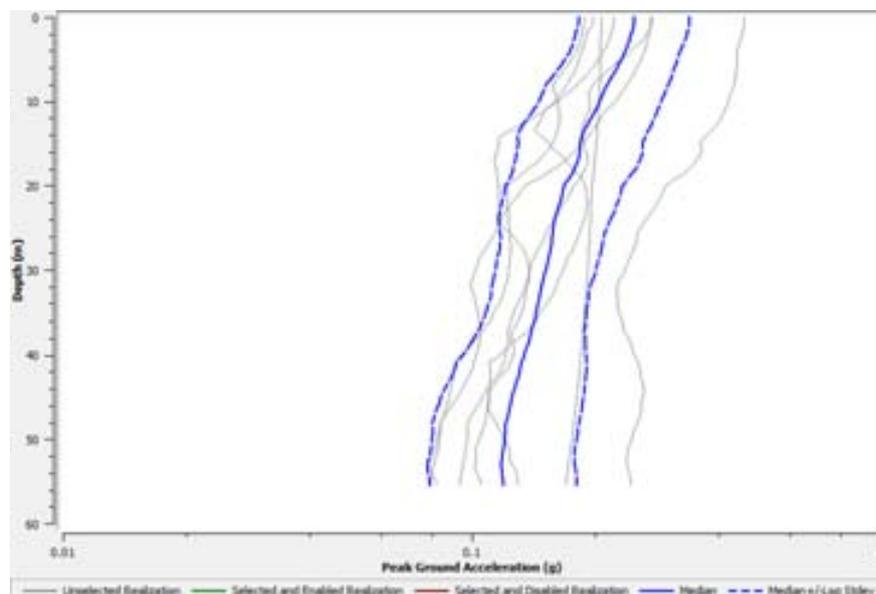
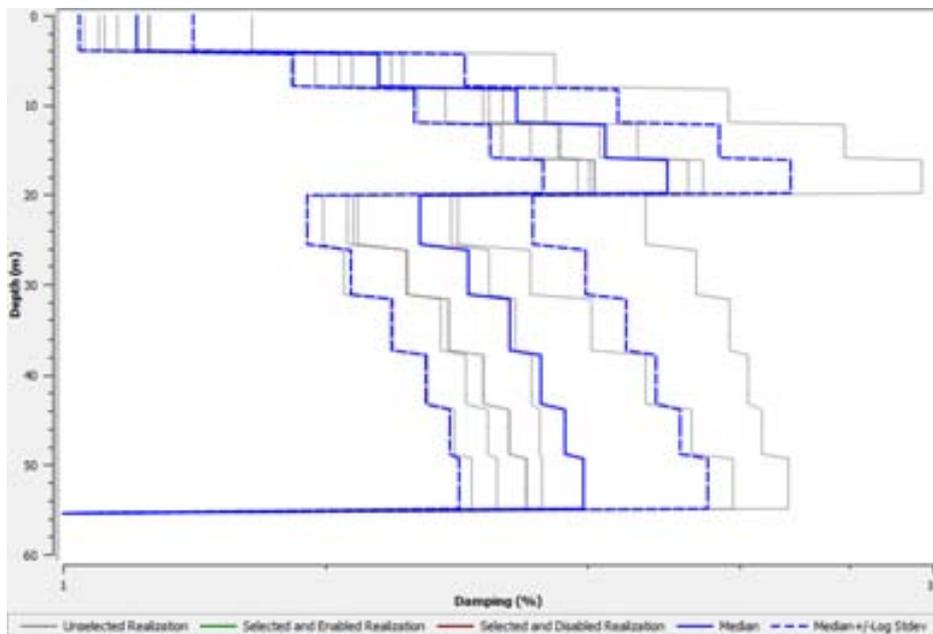
### 7.1.2.21 Colle Santa Maria dei Lumi - Mops 2002

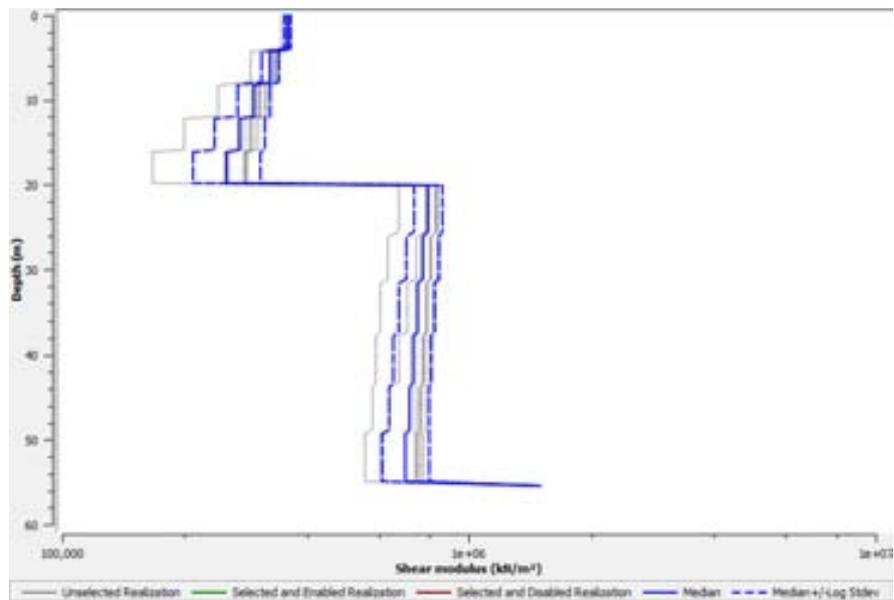
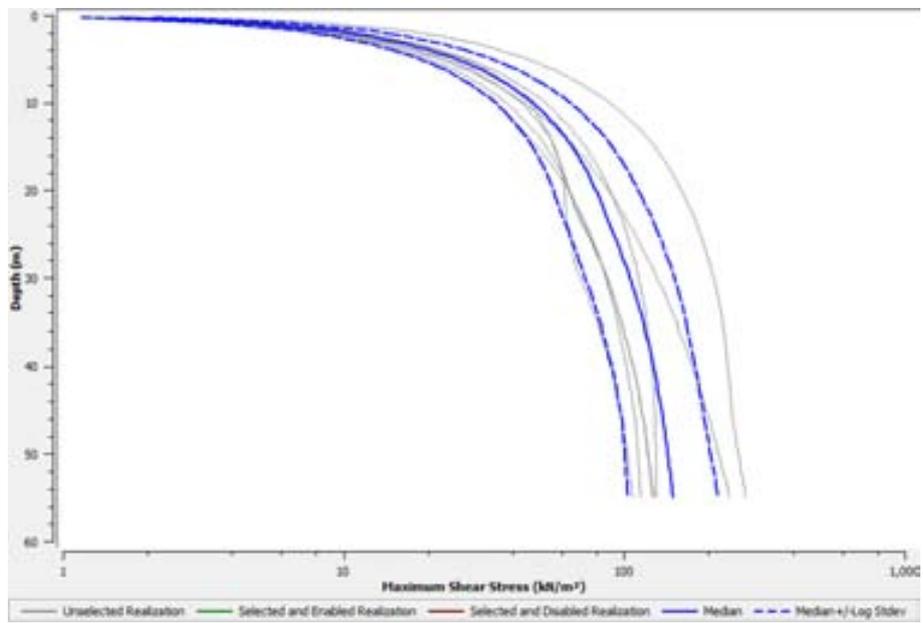
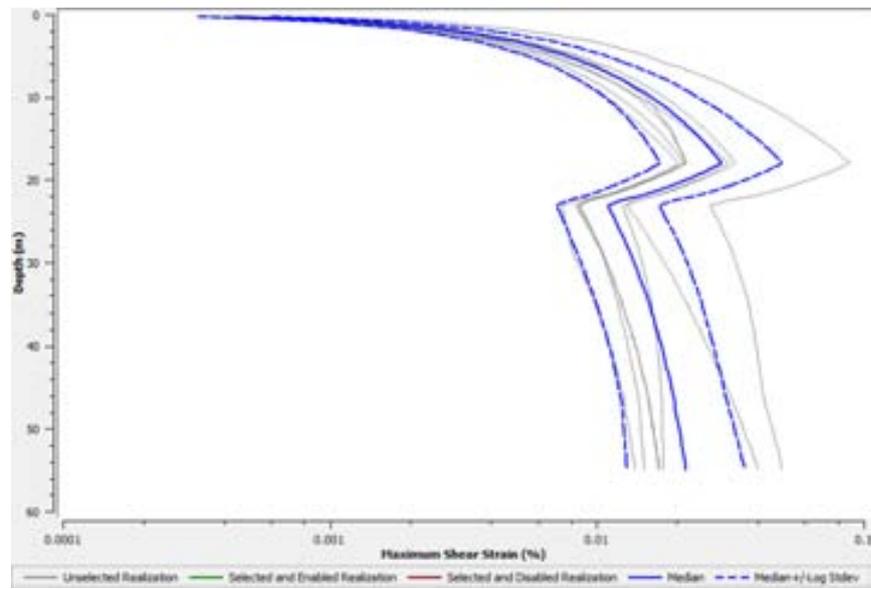
#### 7.1.2.21.1 Modello Numerico

Tabella 27: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Santa Maria dei Lumi

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
LAG6a alterato	21	420	Darendeli & Stokoe (2001)	20.0
LAG6e	22	650	Darendeli & Stokoe (2001)	35.0
Bedrock	23	800		

#### 7.1.2.21.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali





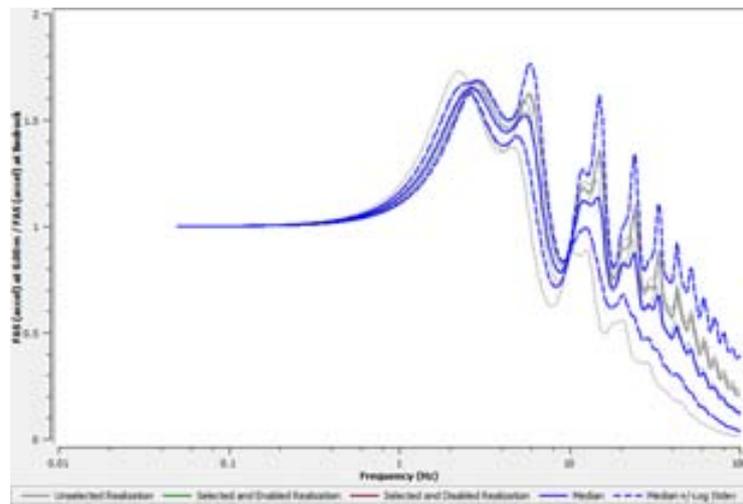


Figura 56: Acceleration Transfer Function – ratio

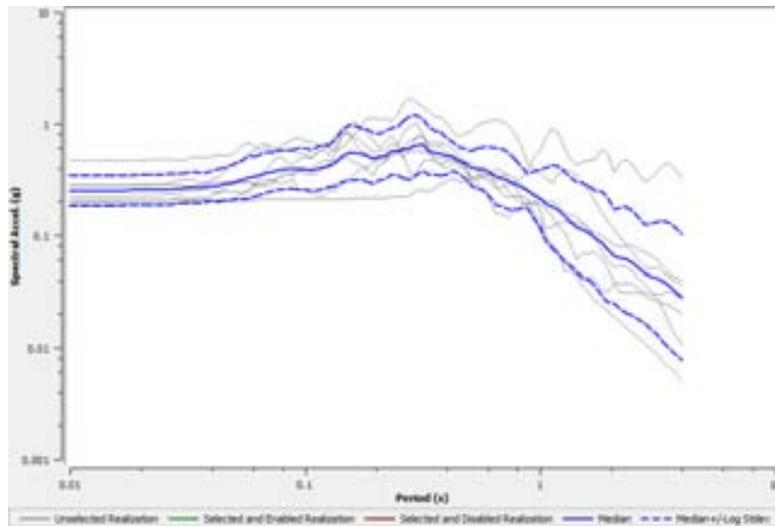


Figura 57: Acceleration Response Spectrum in superficie

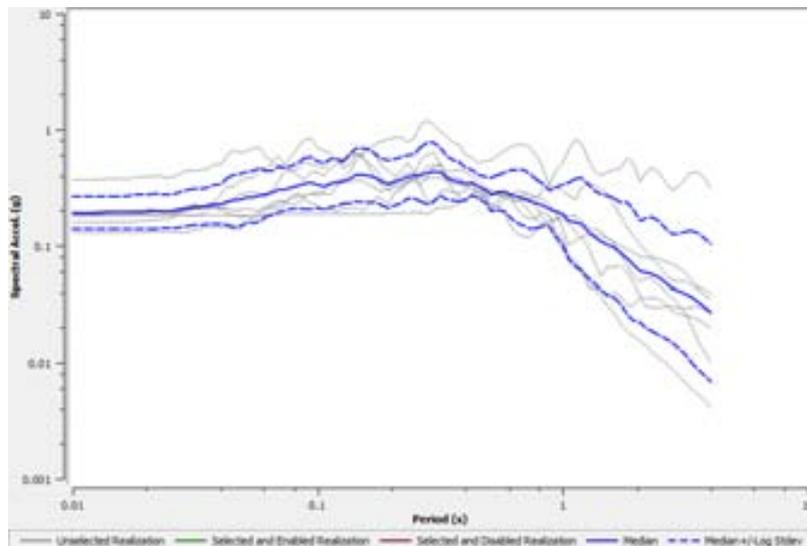


Figura 58: Acceleration Response Spectrum al Bedrock

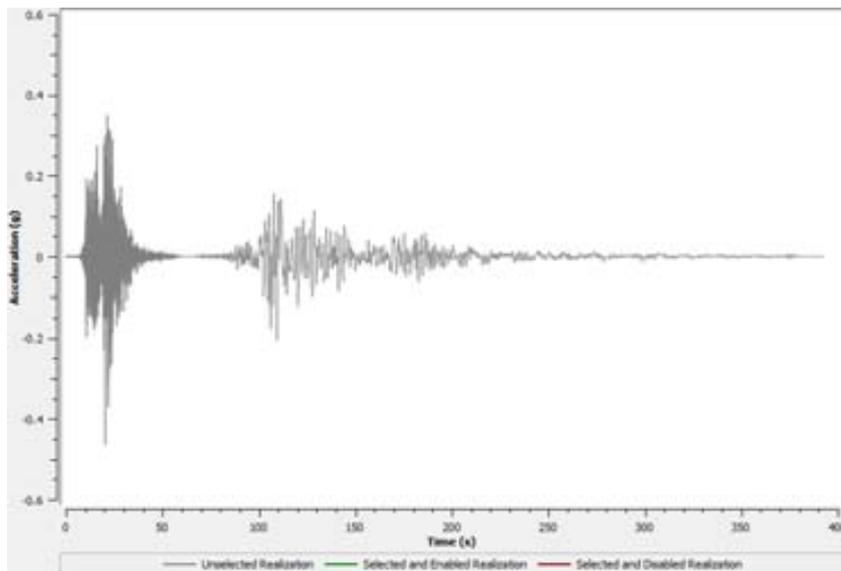


Figura 59: Acceleration Time Series in superficie

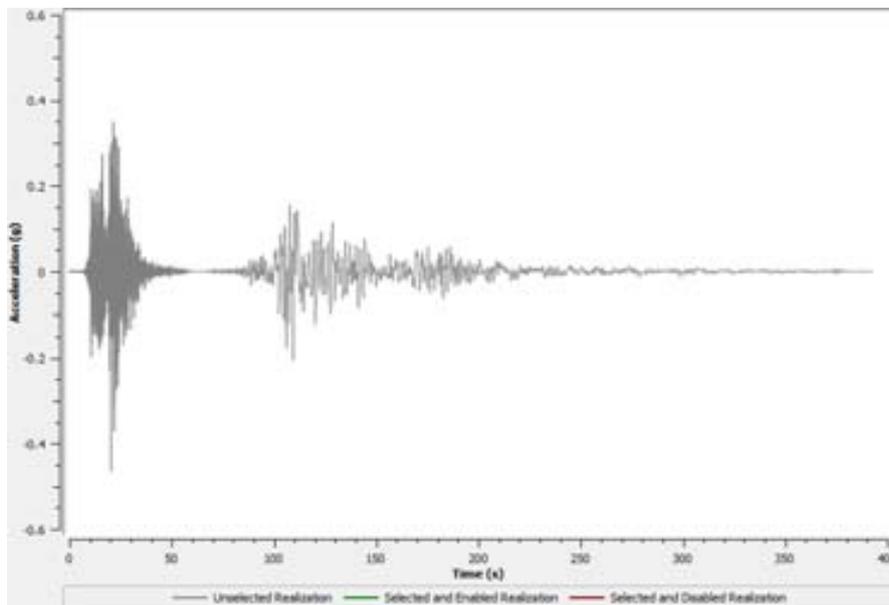
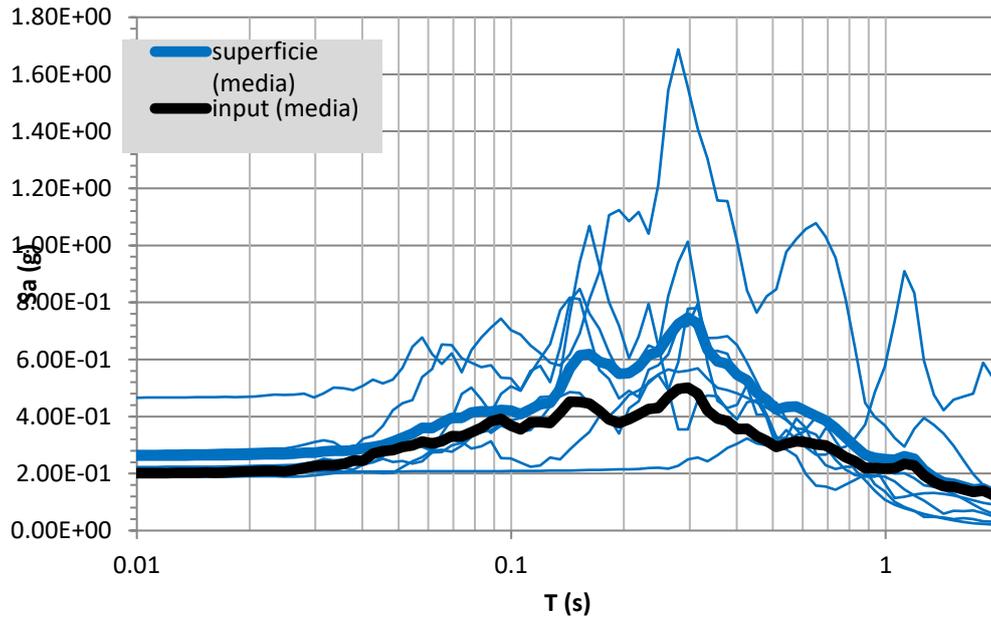


Figura 60: Acceleration Time Series al Bedrock

Tabella 28 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.42	1.35	1.20



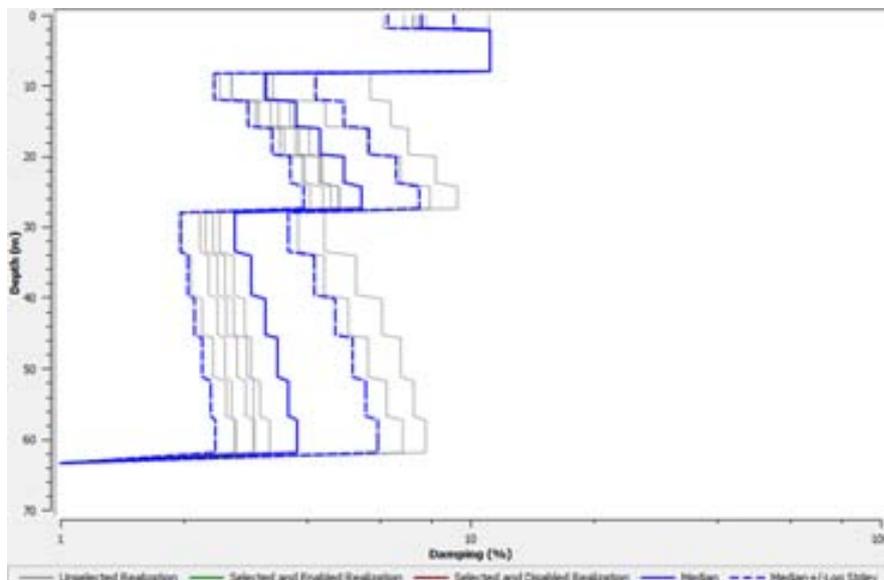
7.1.2.22 Colle Santa Maria dei Lumi - Mops 2017

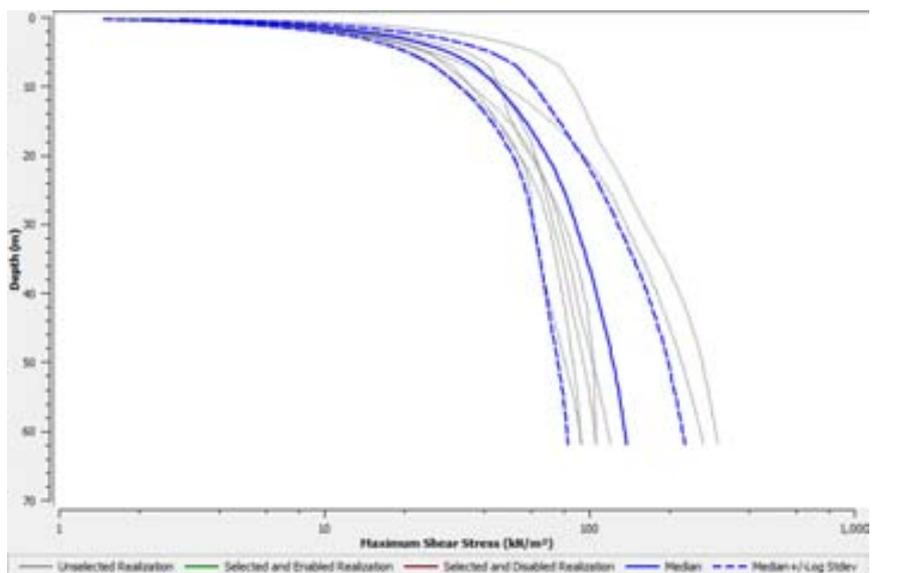
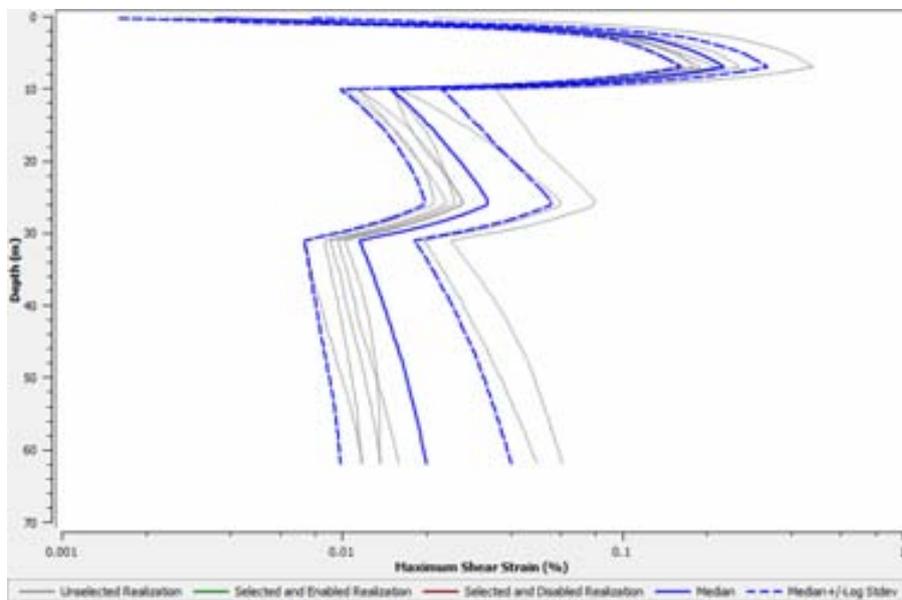
7.1.2.22.1 Modello Numerico

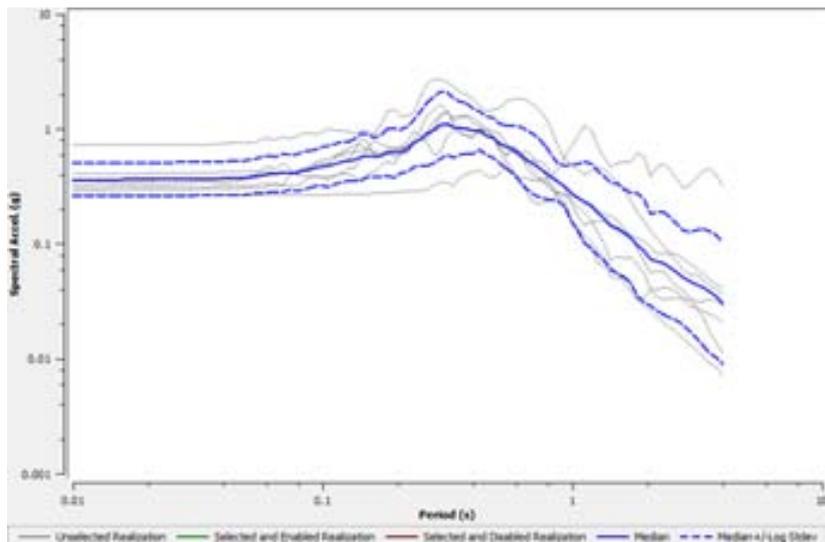
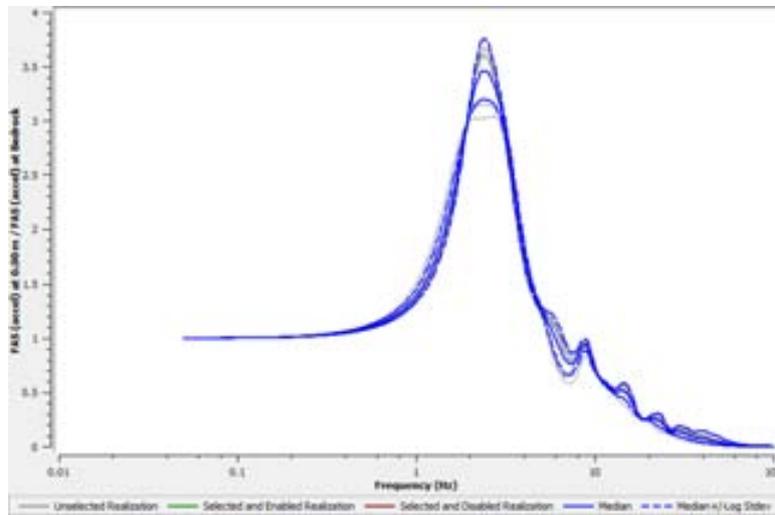
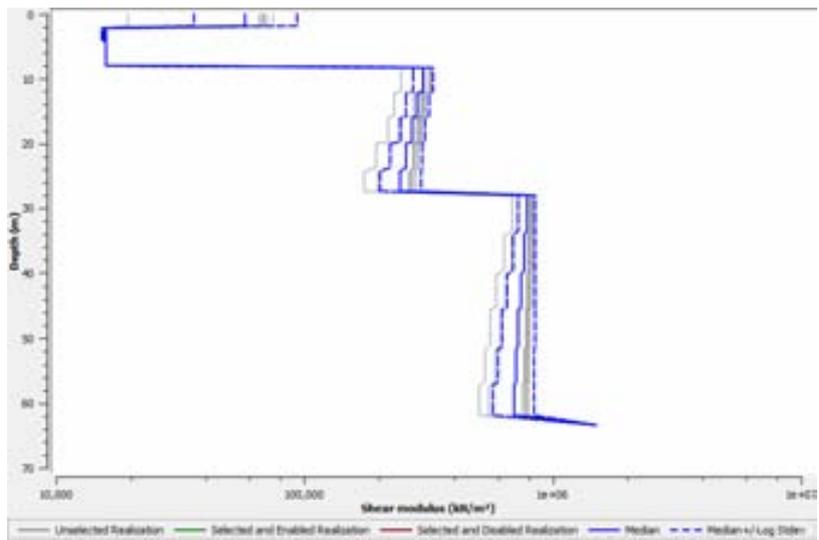
Tabella 29: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Santa Maria dei Lumi

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
MLec	19	220	CR_Ponzano	8
LAG6a alterato	21	420	Darendeli & Stokoe (2001)	20.0
LAG6e	22	650	Darendeli & Stokoe (2001)	35.0
Bedrock	23	800		

7.1.2.22.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali







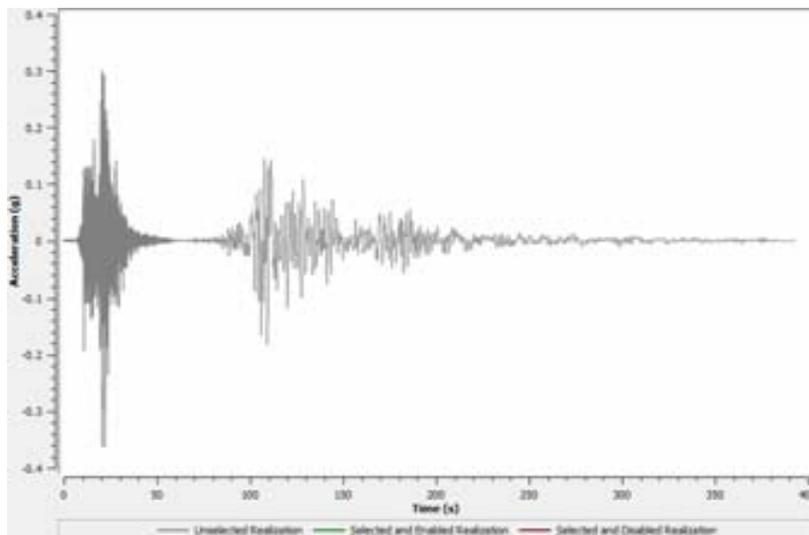
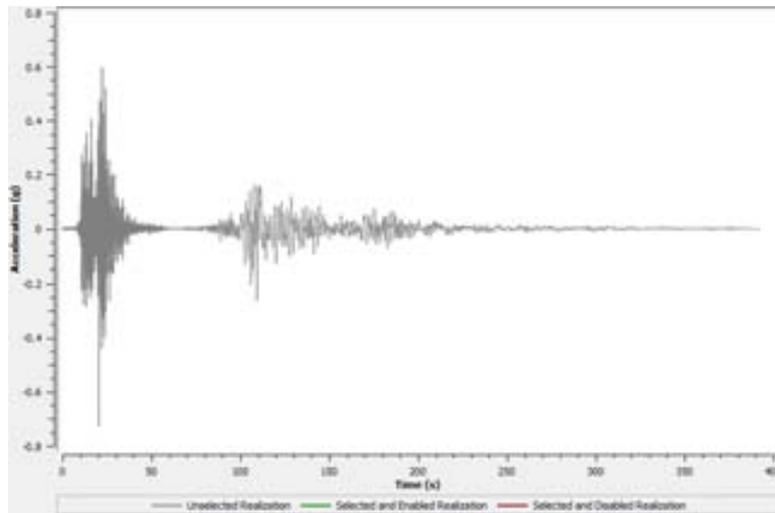
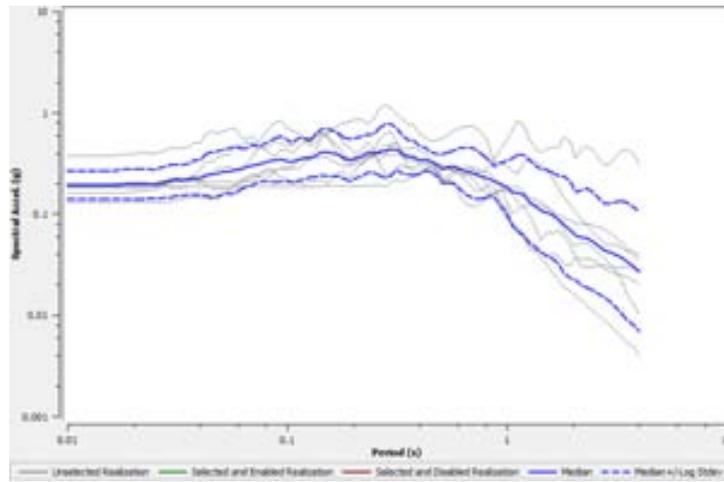
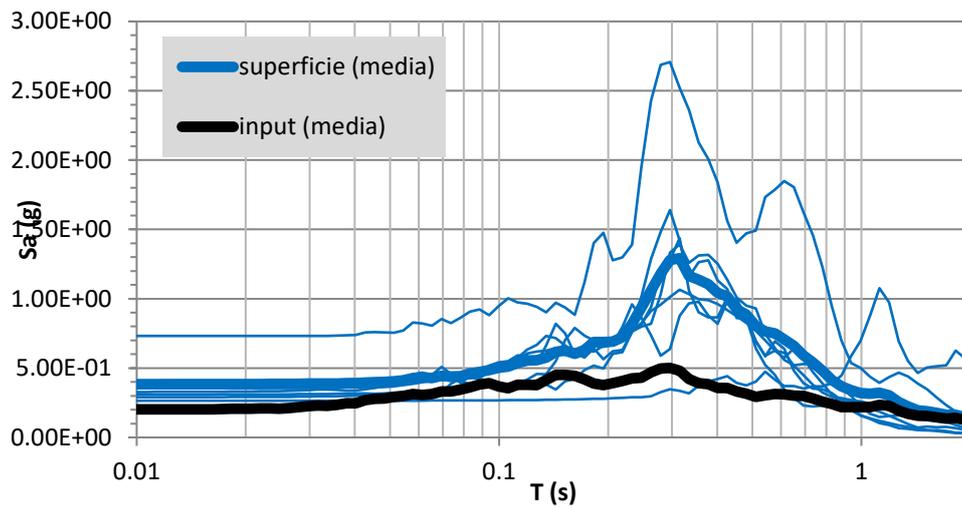


Tabella 30 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
2.24	2.30	1.67



### 7.1.2.23 Rocca Ceppino - Mops 2002

#### 7.1.2.23.1 Sezione Geologico Tecnica e Modello Numerico

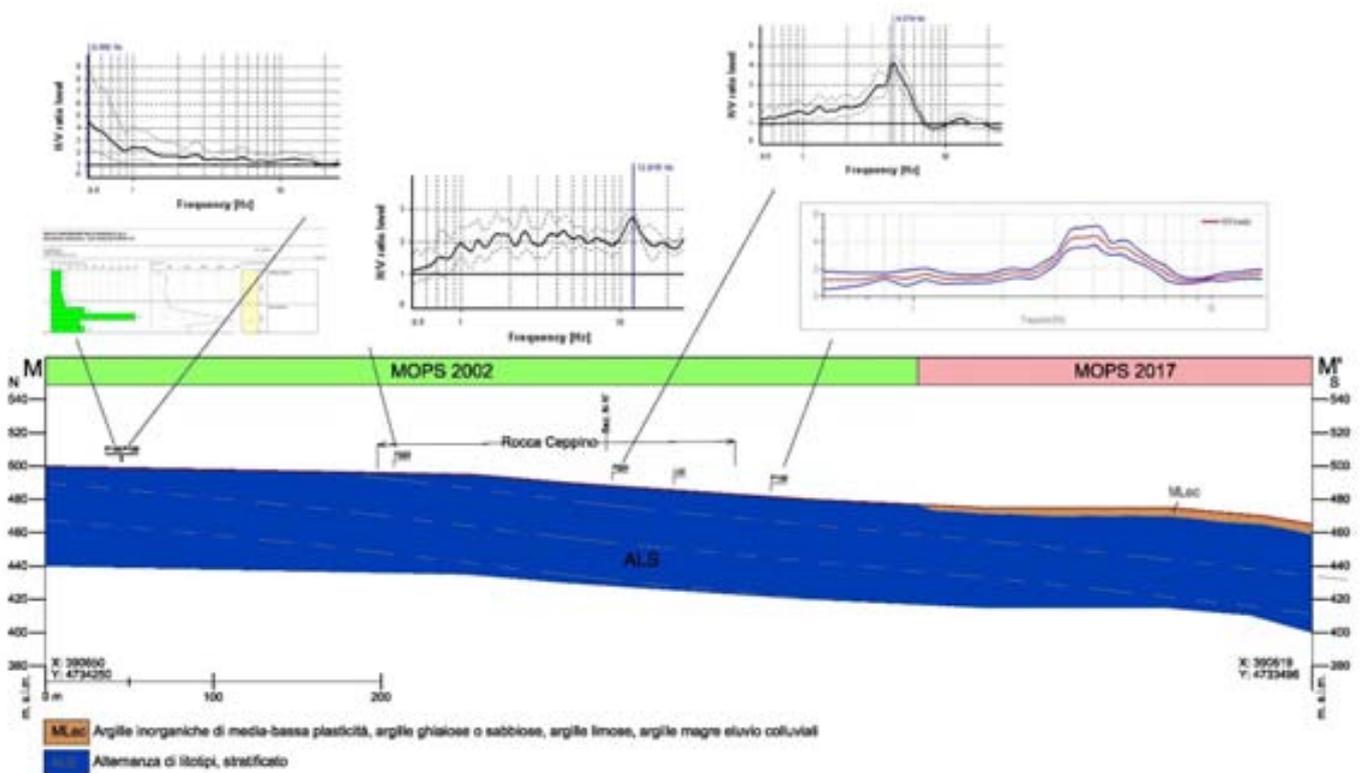
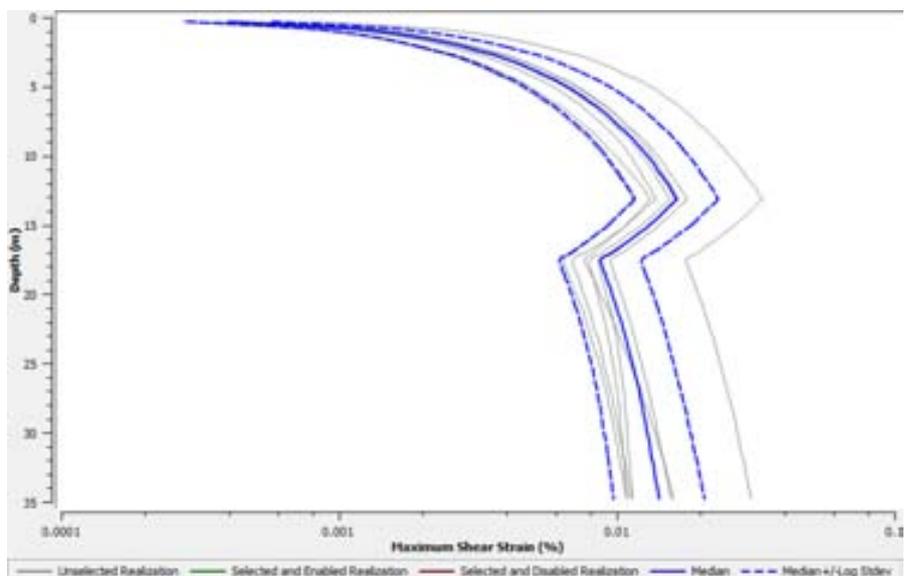
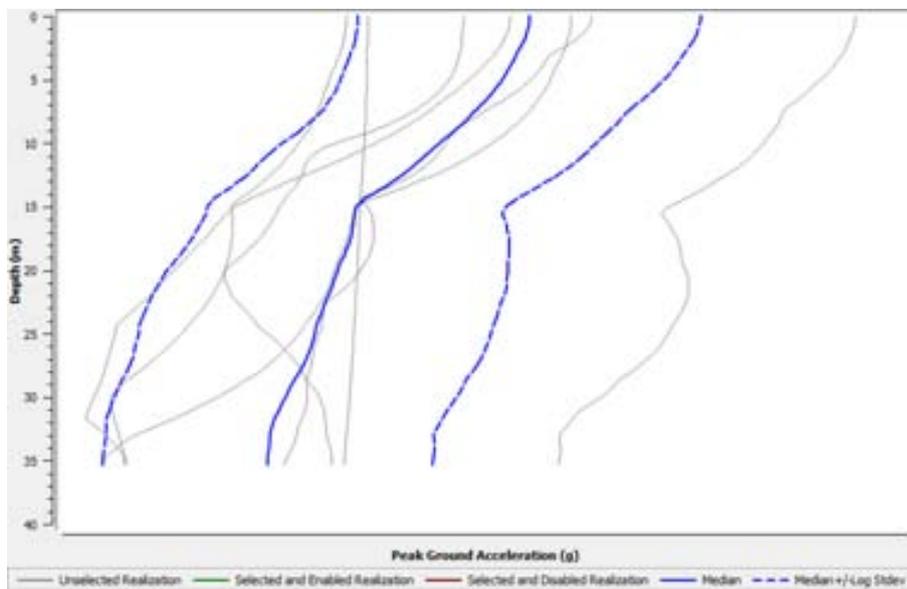
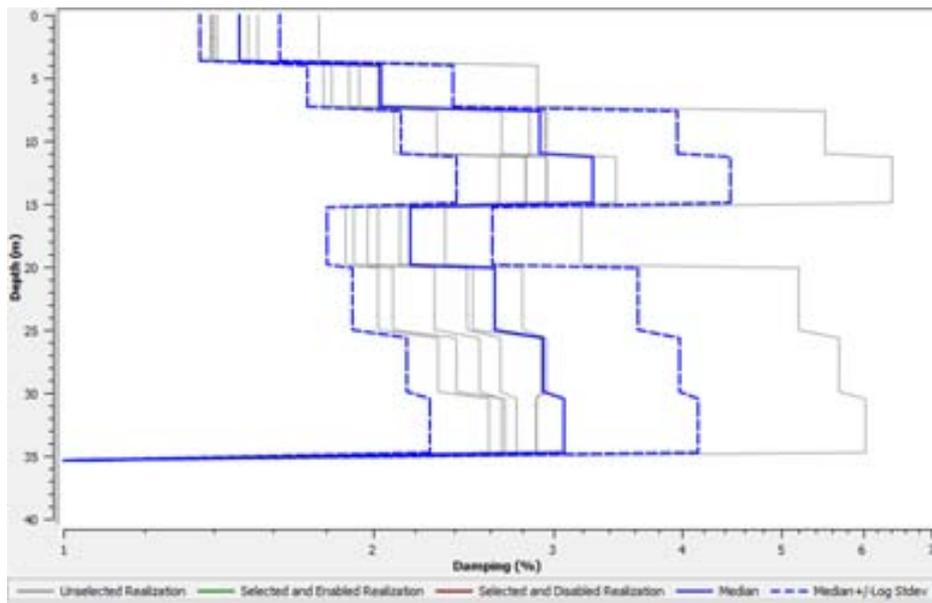


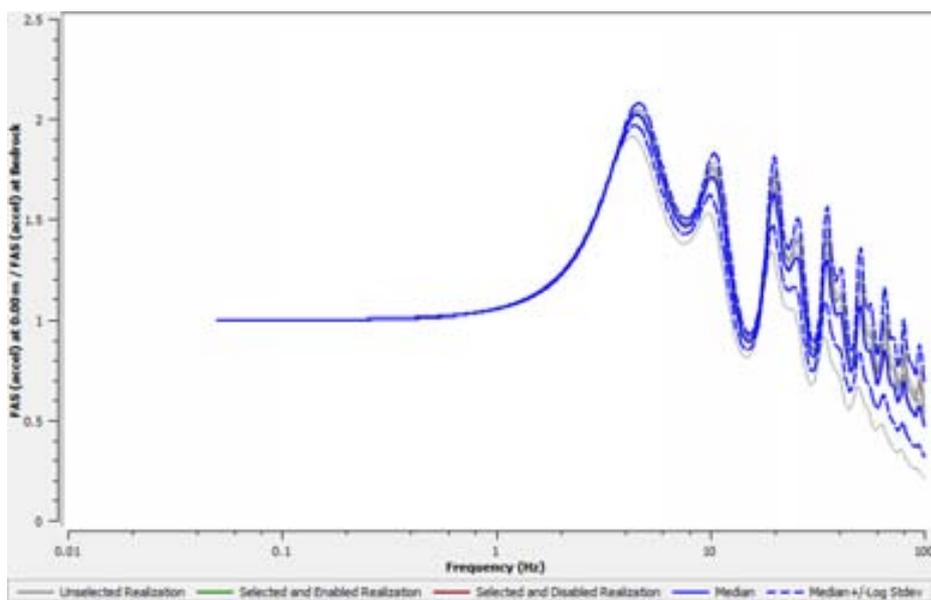
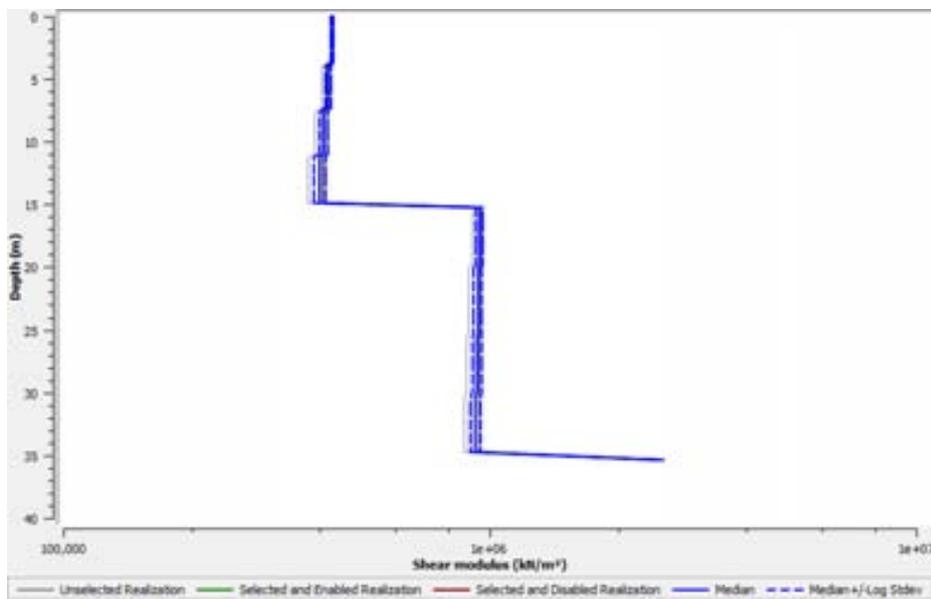
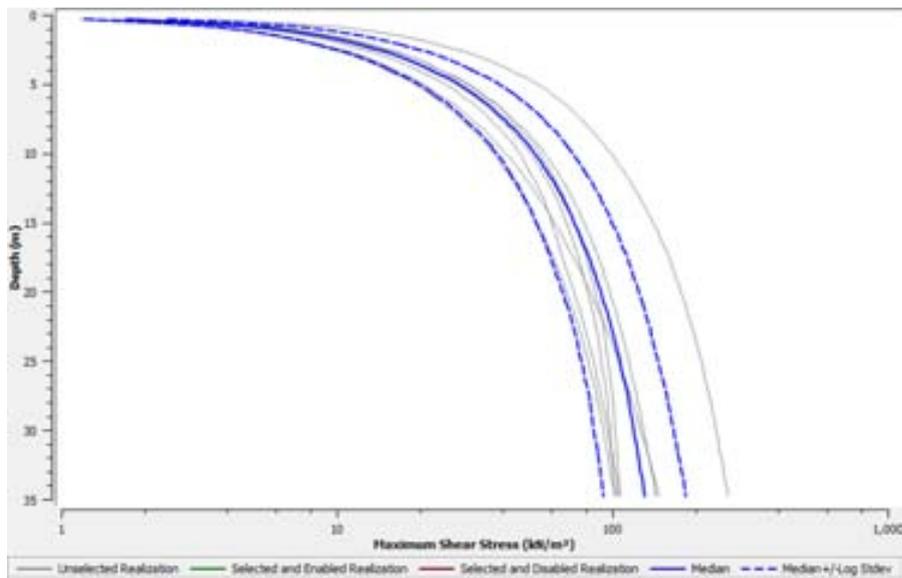
Figura 61: Sezione Geologico Tecnica M – M' Rocca Ceppino

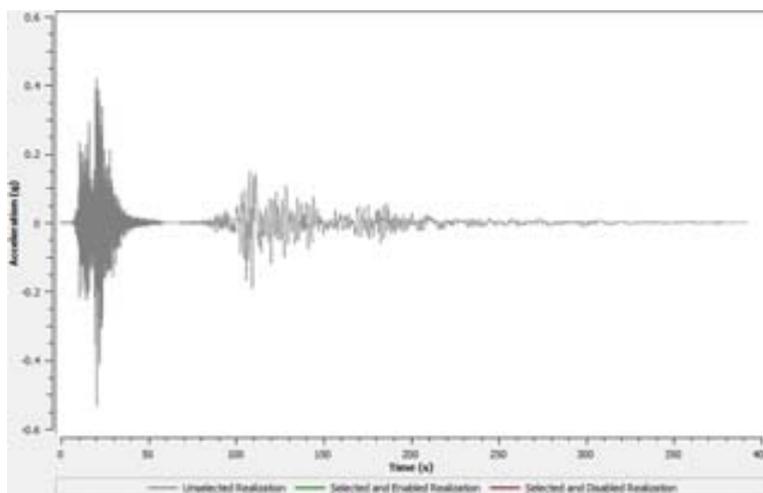
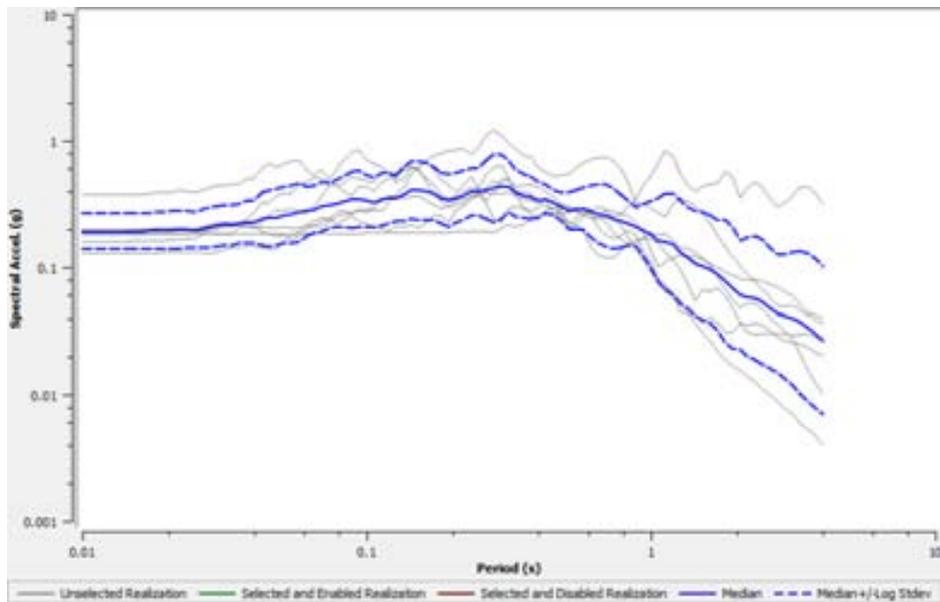
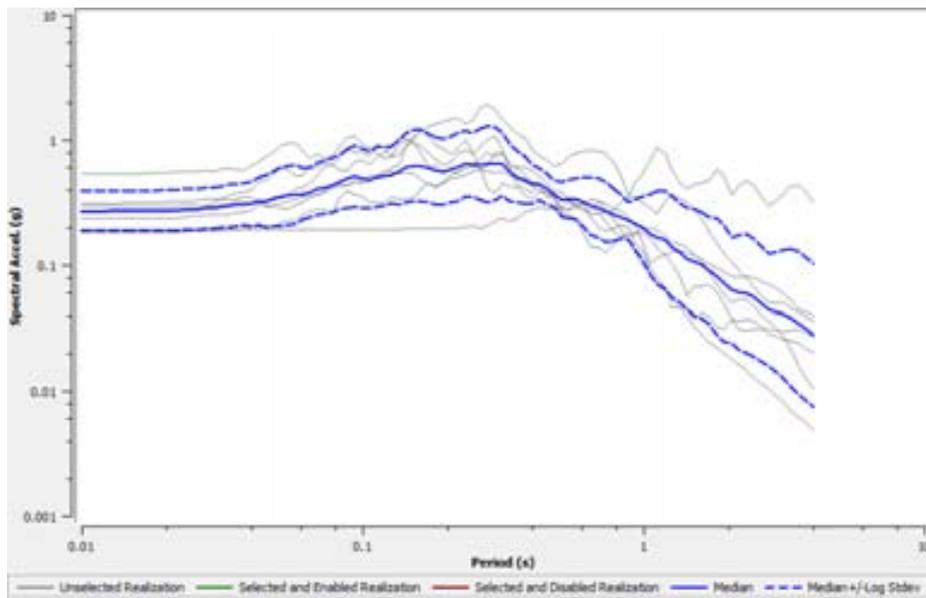
Tabella 31: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Rocca Ceppino

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
LAG5b alterato	21	450	Modoni&Gazzellone(2010)	15.0
LAG5b	23	650	Modoni&Gazzellone(2010)	20.0
Bedrock	25	1000		

### 7.1.2.23.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali







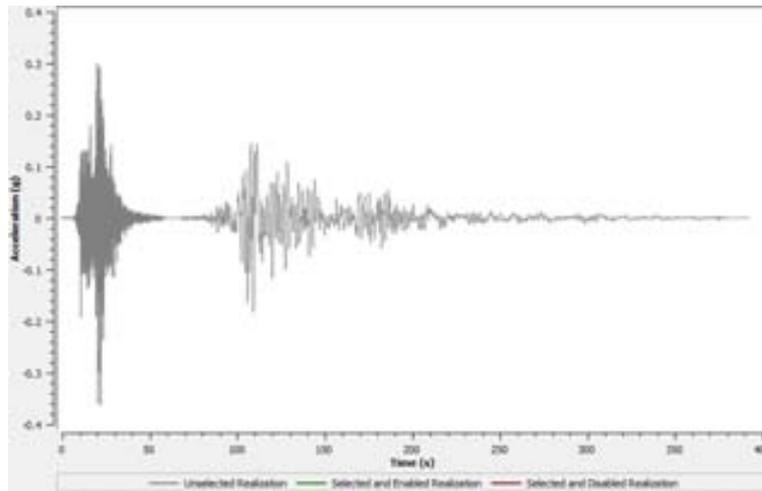
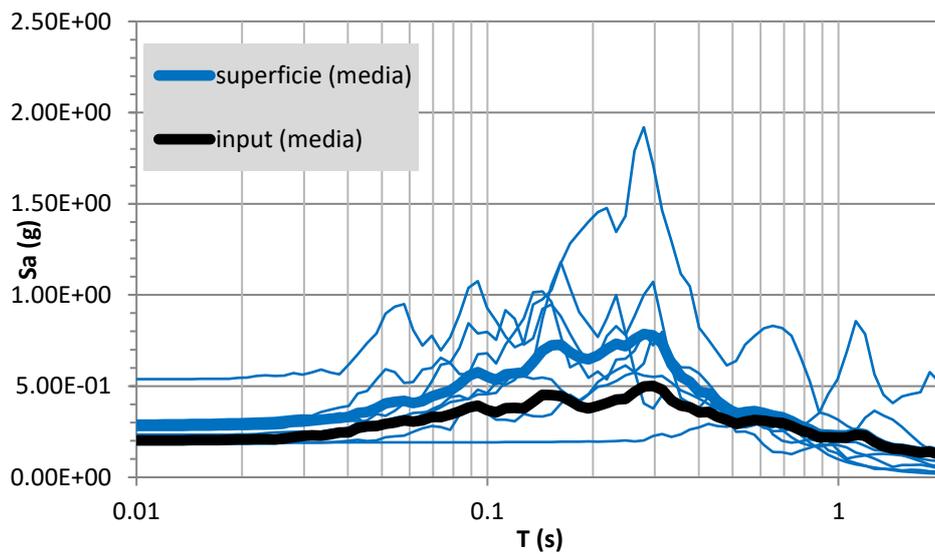


Tabella 32 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.45	1.16	1.08



#### 7.1.2.24 Rocca Ischiano - Mops 2002

##### 7.1.2.24.1 Sezione Geologico Tecnica e Modello Numerico

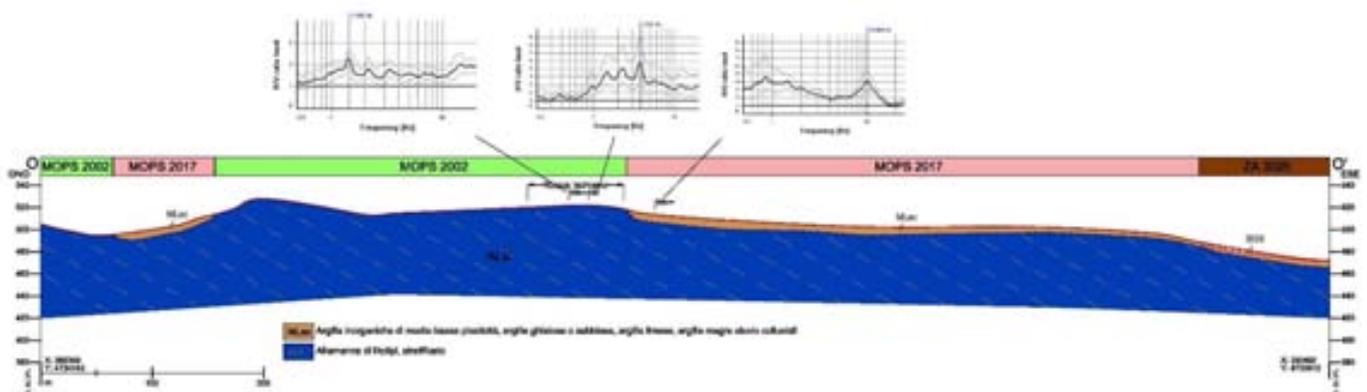
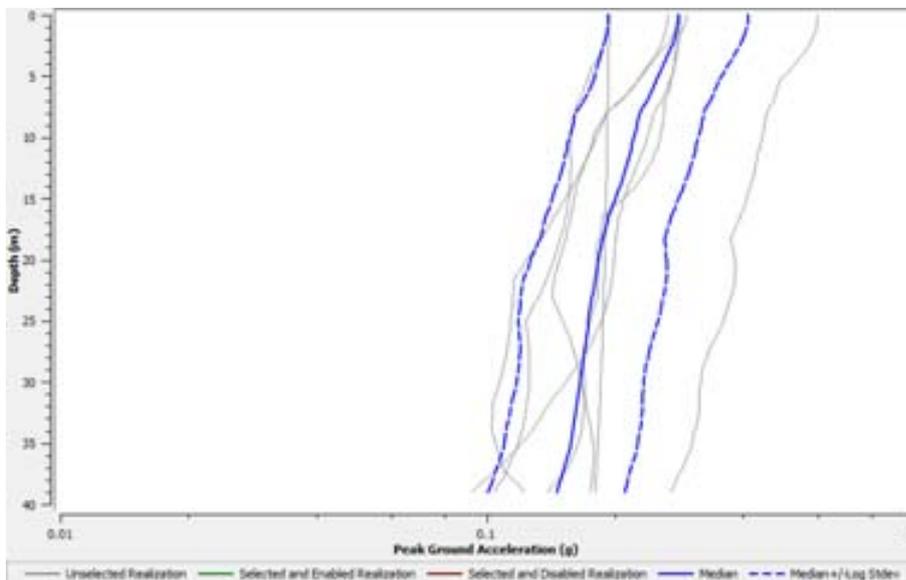
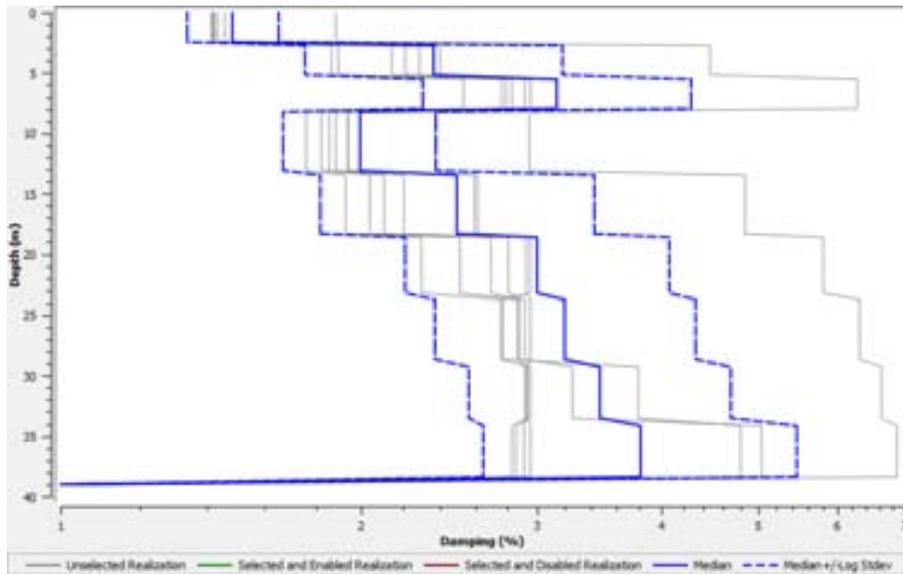


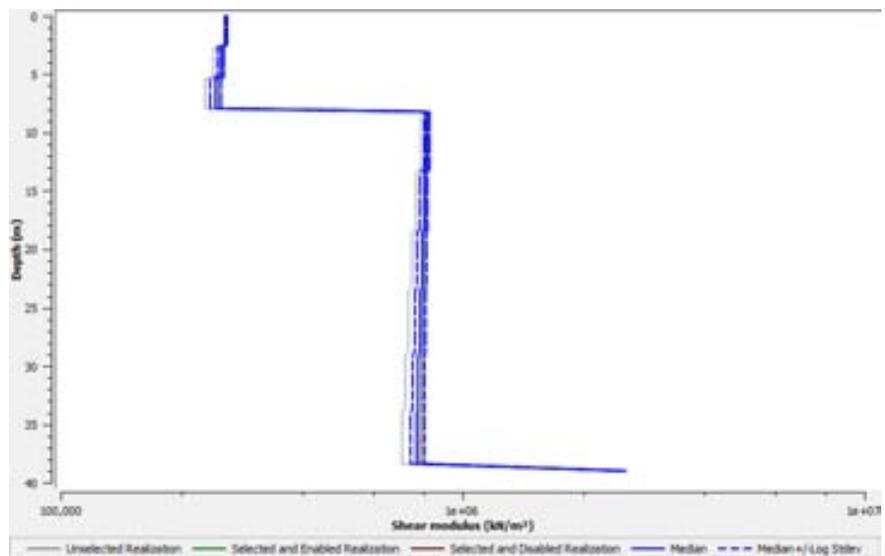
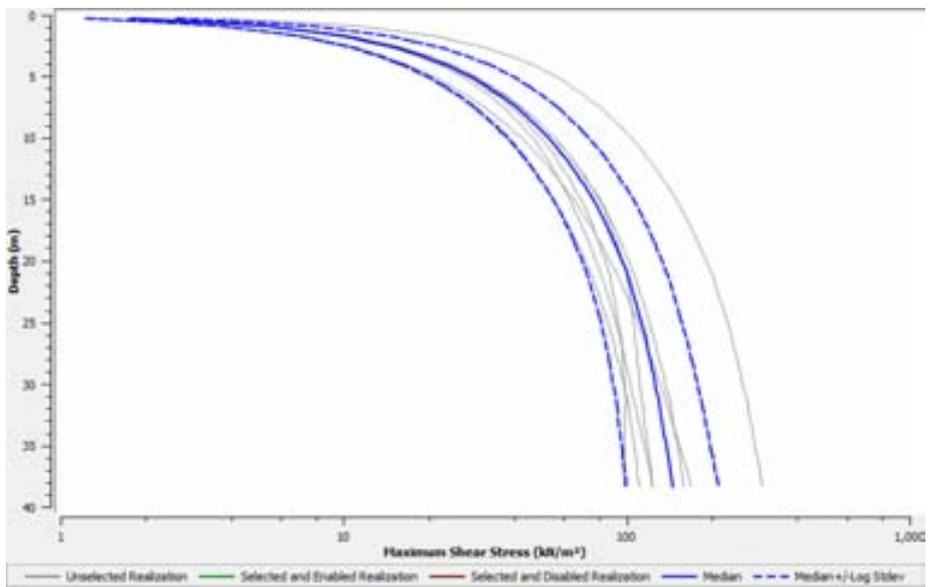
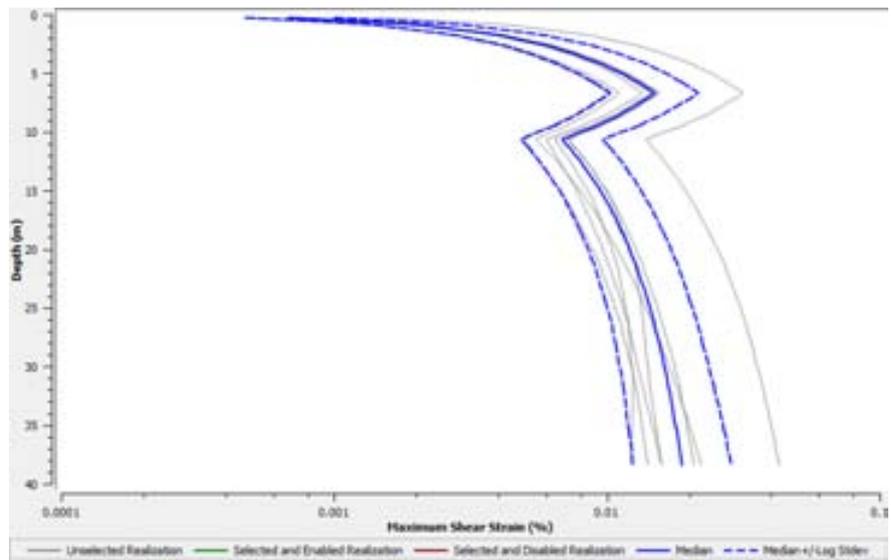
Figura 62: Sezione Geologica Geotecnica O-O' Rocca Ischiano

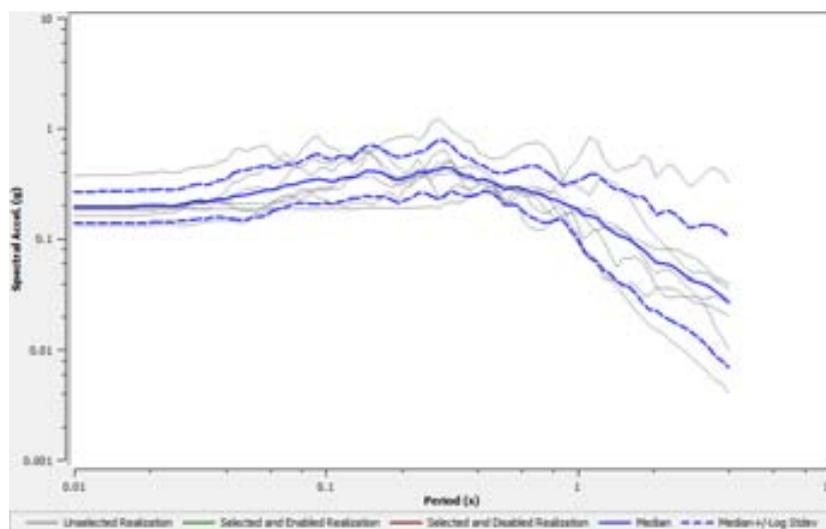
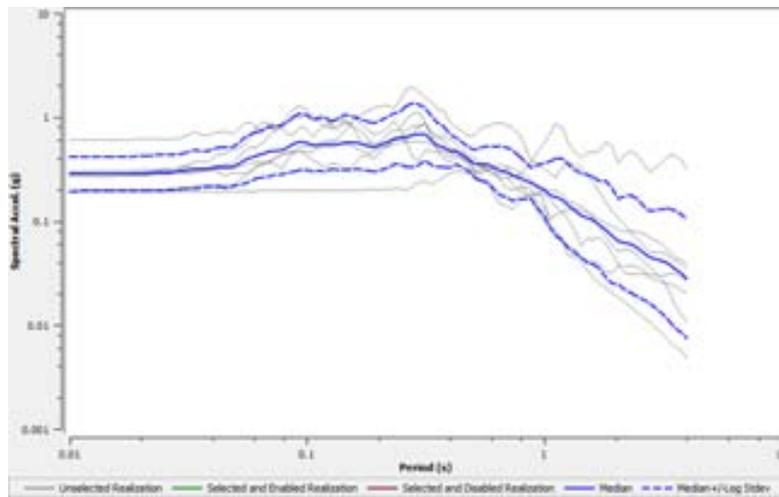
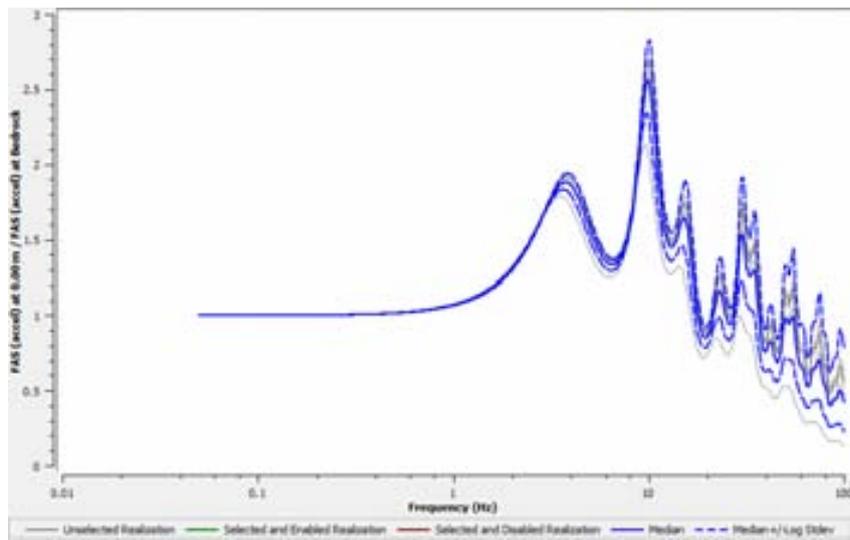
Tabella 33: Caratteristiche meccaniche sezione analisi 1D Rocca Ceppino

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve	Spessore [m]
LAG5b alterato	21	350	Modoni&Gazzellone(2010)	8.0
LAG5b	23	600	Modoni&Gazzellone(2010)	31.0
Bedrock	25	1000		

7.1.2.24.2 Risultati simulazioni numeriche monodimensionali







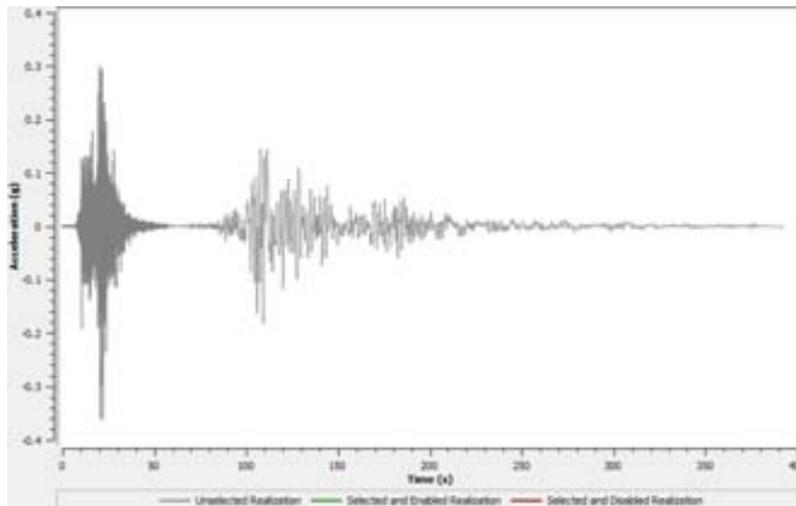
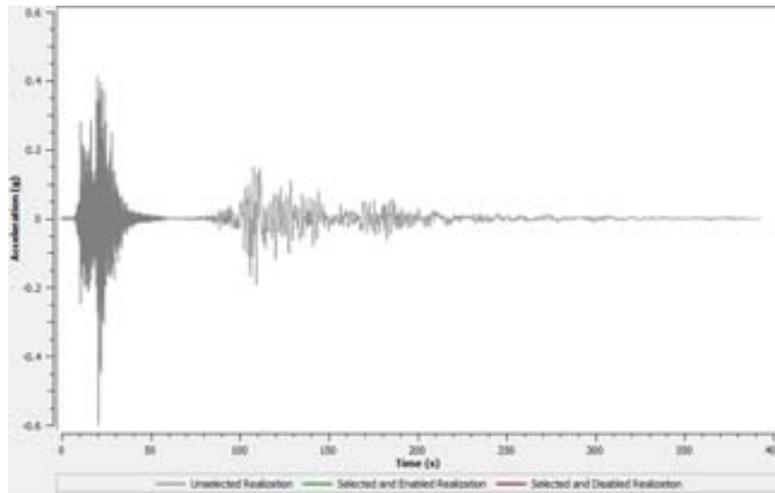
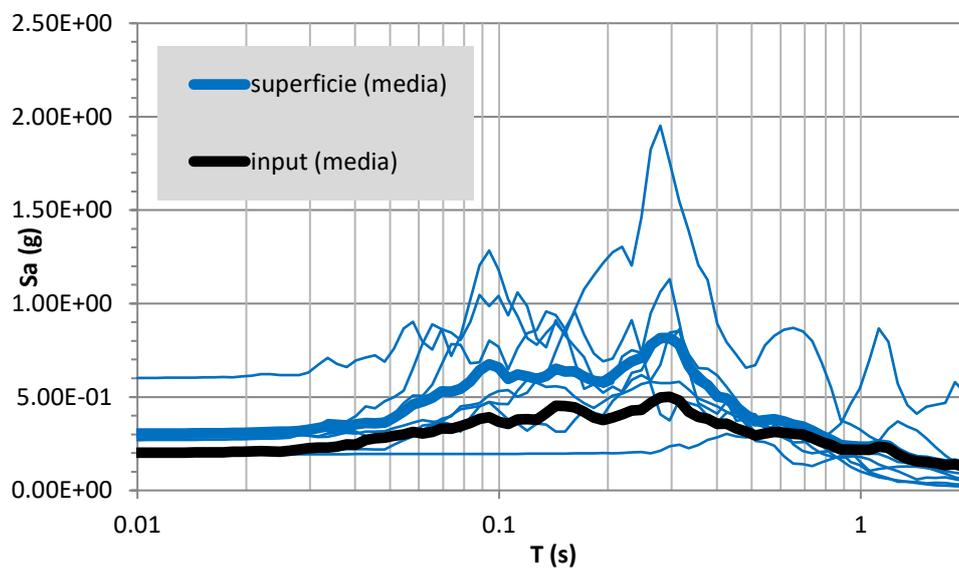


Tabella 34 Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.48	1.22	1.11



## 7.1.3 SIMULAZIONI NUMERICHE BIDIMENSIONALI 2D

### 7.1.3.1 DESCRIZIONE DEI CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI

Le simulazioni numeriche bidimensionali sono state eseguite tramite l'utilizzo di due codici di calcolo agli elementi finiti: LSR\_2D dal Centro MS per le simulazioni 2D.

#### 7.1.3.1.1 LSR\_2D

Il codice di calcolo LSR\_2D consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e utilizzando un modello di sottosuolo alla Kelvin-Voigt.

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell'i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani, che possono avere forma quadrangolare o triangolare, e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Ma_g$$

dove:

- M: matrice di massa del sistema;
- C: matrice di smorzamento del sistema;
- K: matrice di rigidità del sistema;
- $\ddot{u}$   $\dot{u}$   $u$  rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;
- $a_g$ : vettore di accelerazione alla base.

Tale equazione vale per ogni istante di tempo  $t$  e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento velocità ed accelerazione per ogni  $t_n$  viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma)\ddot{u}_{n-1} + \gamma\ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta)\ddot{u}_{n-1} + 2\beta\ddot{u}_n]$$

dove:

- $\Delta t$ : incremento temporale tra l'istante di tempo  $t_n$  e  $t_{n-1}$ ;
- $\beta$ : parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;
- $\gamma$ : parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50;

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$c_i = \alpha_q M_q + \beta_q k_q$$

dove:

- $\alpha_q$  e  $\beta_q$ : coefficienti di smorzamento alla Rayleigh.

Tali coefficienti vengono calcolati in funzione di due frequenze naturali dell'intero deposito,  $\omega_m$  e  $\omega_n$ :

$$\alpha_{R,i} = \xi_i \frac{2\omega_m\omega_n}{\omega_m + \omega_n}$$

$$\beta_{R,i} = \xi_i \frac{2}{\omega_m + \omega_n}$$

in cui:  $\xi_i$  è il rapporto di smorzamento viscoso dell' $i$ -esimo elemento finito;  $\omega_m = \omega_1$ , prima frequenza naturale di vibrazione del deposito di terreno;  $\omega_n = n\omega_1$  essendo  $n$ :

$n = \omega_i / \omega_1$  (approssimato all'interno pari più grande)

Con  $\omega_i$  pari alla frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione al bedrock.

#### 7.1.3.1.2 Elaborazione dei risultati (FA)

I risultati delle simulazioni numeriche sono stati espressi in termini di fattore di amplificazione  $FA$  i cui valori sono stati calcolati come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output per tre differenti intervalli di integrazione (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s) e i corrispondenti parametri di input:

$$FA = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.8} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T) dT}$$

Tramite le formule indicate per tutti i punti di output e per ogni intervallo, è stata calcolata la media logaritmica dei valori del fattore di amplificazione relativi ai sette accelerogrammi di input, come riportato nell'equazione seguente:

$$m_{ln} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \ln(FA_i)$$

$$FA_{rif} = e^{m_{ln}}$$

### 7.1.3.2 Sezione G-G' Civitella del Tronto

#### 7.1.3.2.1 Sezione Geologico-Tecnica e Modello Numerico

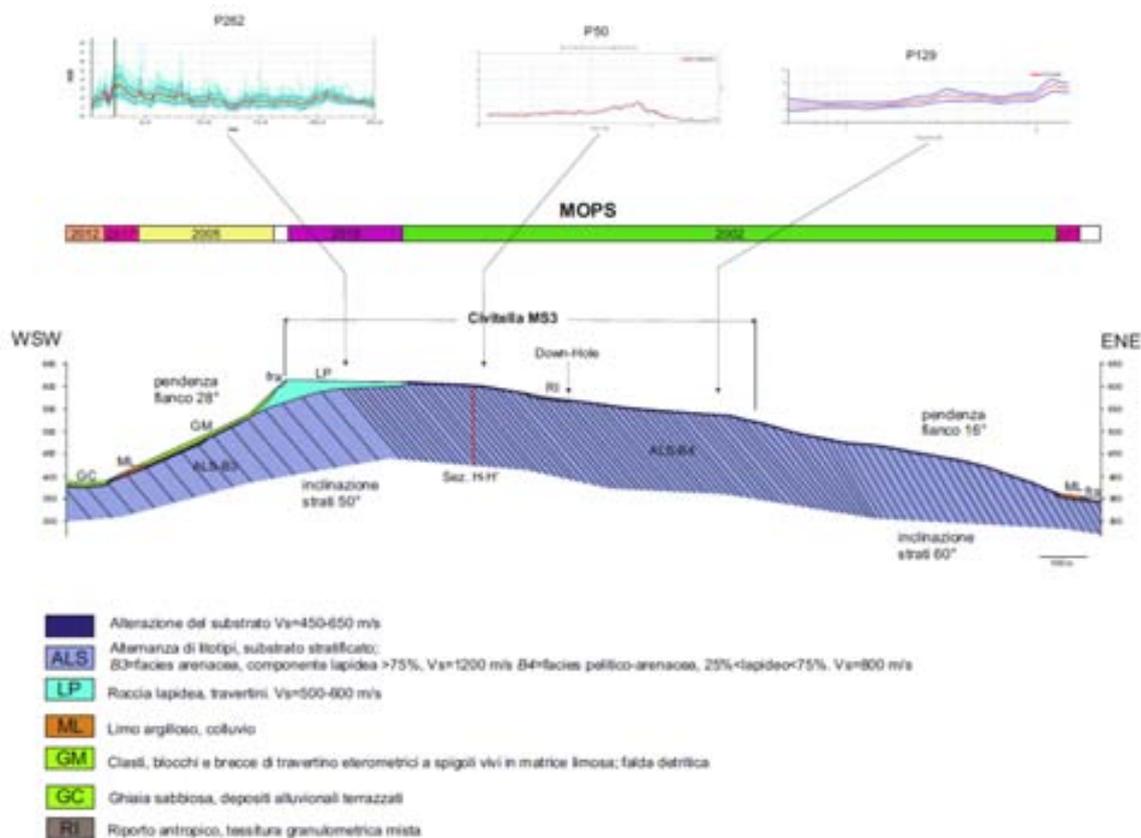


Figura 63: Sezione Geologica Tecnica G-G' Civitella del Tronto

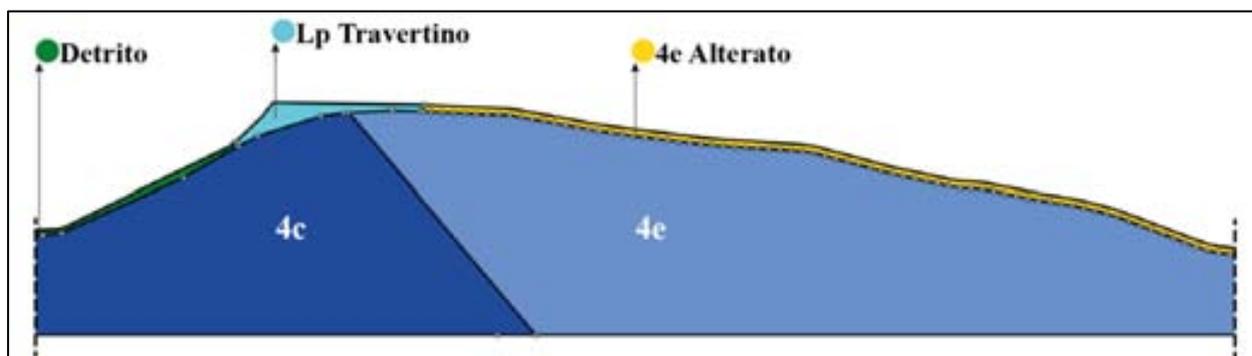


Figura 64: Sezione LSR\_2D G-G' Civitella del Tronto

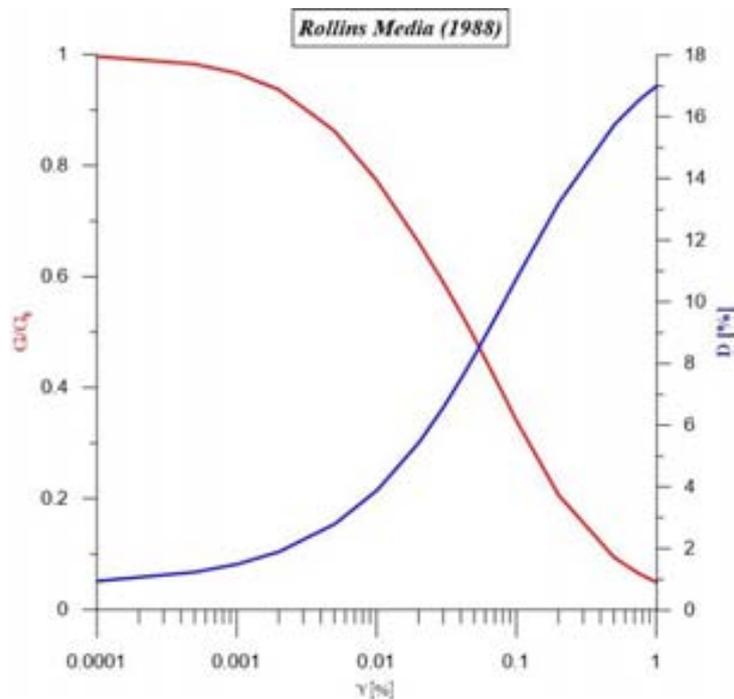
Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	$V_p$ [m/s]	$u$	Curve Dinamiche	$h^*$ [m]
L <sub>p</sub> Travertino	16	500	1667	0.30	Lineare D0=3%	3.0
4c	25	1200	3429	0.35	Lineare D0=1%	7.5
4e	22	800	2000	0.40	Lineare D0=2%	5.0
4e Alterato	21	650	1500	0.42	Lineare D0=2%	4.0
Detrito	20	300	857	0.35	Rollins Media	1.8
Bedrock	25	1200	3429	0.35		

Tabella 35: Caratteristiche Meccaniche e Geometriche Sezione G-G' Civitella del Tronto. \*h= Altezza max elementi mesh.

7.1.3.2.2 Curve Dinamiche utilizzate nelle simulazioni numeriche bidimensionali

L Rollins Media (1998)

Deformazione Angolare $\gamma$ [%]	Rapporto G/G0	Smorzamento D [%]
0.00010	1.00	0.95
0.00050	0.98	1.24
0.00100	0.97	1.50
0.00200	0.94	1.91
0.00500	0.86	2.80
0.01000	0.77	3.89
0.02000	0.66	5.45
0.03000	0.59	6.61
0.04000	0.53	7.52
0.05000	0.49	8.28
0.07500	0.40	9.74
0.10000	0.34	10.79
0.20000	0.21	13.23
0.50000	0.09	15.76
0.75000	0.06	16.56
1.00000	0.05	17.01



7.1.3.2.3 Risultati simulazioni numeriche bidimensionali

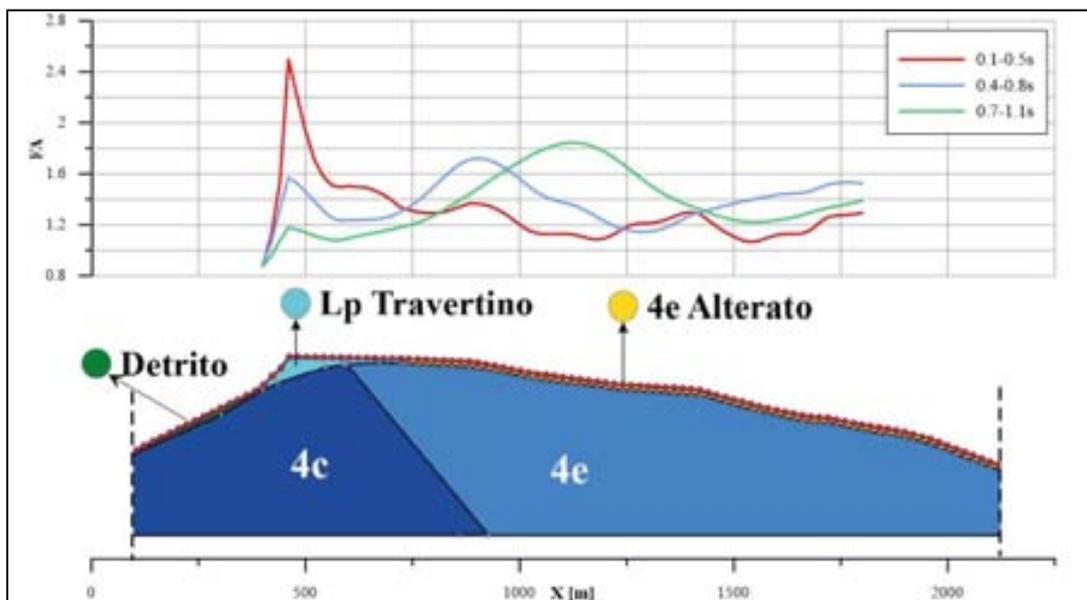


Figura 65: Risultati in termini di fattore di amplificazione (FA) Sez. G-G' Civitella del Tronto

N° Nodi	X [m]	FA <sub>1</sub> [0.1-0.5s]	FA <sub>2</sub> [0.4-0.8s]	FA <sub>3</sub> [0.7-1.1s]
21	400	1.05	1.30	1.37
22	420	1.27	1.59	1.79
23	440	1.31	2.60	2.56
24	460	2.41	4.42	3.25
25	480	2.00	4.03	3.11
26	500	1.68	3.53	2.89
27	520	1.51	3.11	2.65
28	540	1.49	2.73	2.42
29	560	1.53	2.42	2.22
30	580	1.59	2.30	2.13
31	600	1.63	2.32	2.11
32	620	1.61	2.36	2.10
33	640	1.56	2.42	2.11
34	660	1.48	2.46	2.13
35	680	1.39	2.46	2.18
36	700	1.29	2.41	2.25
37	720	1.16	2.31	2.34
38	740	1.09	2.23	2.43
39	760	1.05	2.17	2.53
40	780	1.01	2.12	2.65
41	800	0.98	2.10	2.78
42	820	0.96	2.11	2.90
43	840	0.96	2.14	2.99
44	860	0.98	2.18	3.05
45	880	1.03	2.21	3.07
46	900	1.05	2.21	3.01
47	920	1.08	2.19	2.90
48	940	1.09	2.15	2.77
49	960	1.10	2.09	2.61
50	980	1.09	2.02	2.46
51	1000	1.07	1.94	2.31
52	1020	1.05	1.88	2.19
53	1040	1.05	1.84	2.10
54	1060	1.06	1.84	2.06
55	1080	1.05	1.85	2.05
56	1100	1.04	1.85	2.06
57	1120	1.03	1.84	2.06
58	1140	1.01	1.81	2.03
59	1160	0.99	1.77	1.97
60	1180	0.99	1.77	1.93
61	1200	0.99	1.82	1.92
62	1220	1.00	1.91	1.93
63	1240	1.02	2.02	1.98
64	1260	1.03	2.10	2.03
65	1280	1.02	2.14	2.08
66	1300	1.02	2.14	2.12
67	1320	1.03	2.14	2.16
68	1340	1.05	2.15	2.20
69	1360	1.09	2.18	2.24
70	1380	1.12	2.19	2.28
71	1400	1.14	2.18	2.30
72	1420	1.12	2.15	2.31
73	1440	1.05	2.06	2.31
74	1460	0.99	1.95	2.29
75	1480	0.96	1.84	2.27
76	1500	0.95	1.74	2.24
77	1520	0.94	1.65	2.21
78	1540	0.94	1.62	2.19
79	1560	0.94	1.66	2.20
80	1580	0.96	1.72	2.21
81	1600	0.98	1.78	2.22
82	1620	0.98	1.82	2.21
83	1640	0.98	1.83	2.20
84	1660	0.97	1.85	2.19
85	1680	1.00	1.90	2.23

86	1700	1.06	2.00	2.32
87	1720	1.10	2.09	2.39
88	1740	1.09	2.13	2.44
89	1760	1.07	2.15	2.46
90	1780	1.07	2.17	2.47
91	1800	1.08	2.20	2.47

Tabella 36: Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

### 7.1.3.3 Sezione H-H' Civitella del Tronto

#### 7.1.3.3.1 Sezione Geologico-Tecnica e Modello Numerico

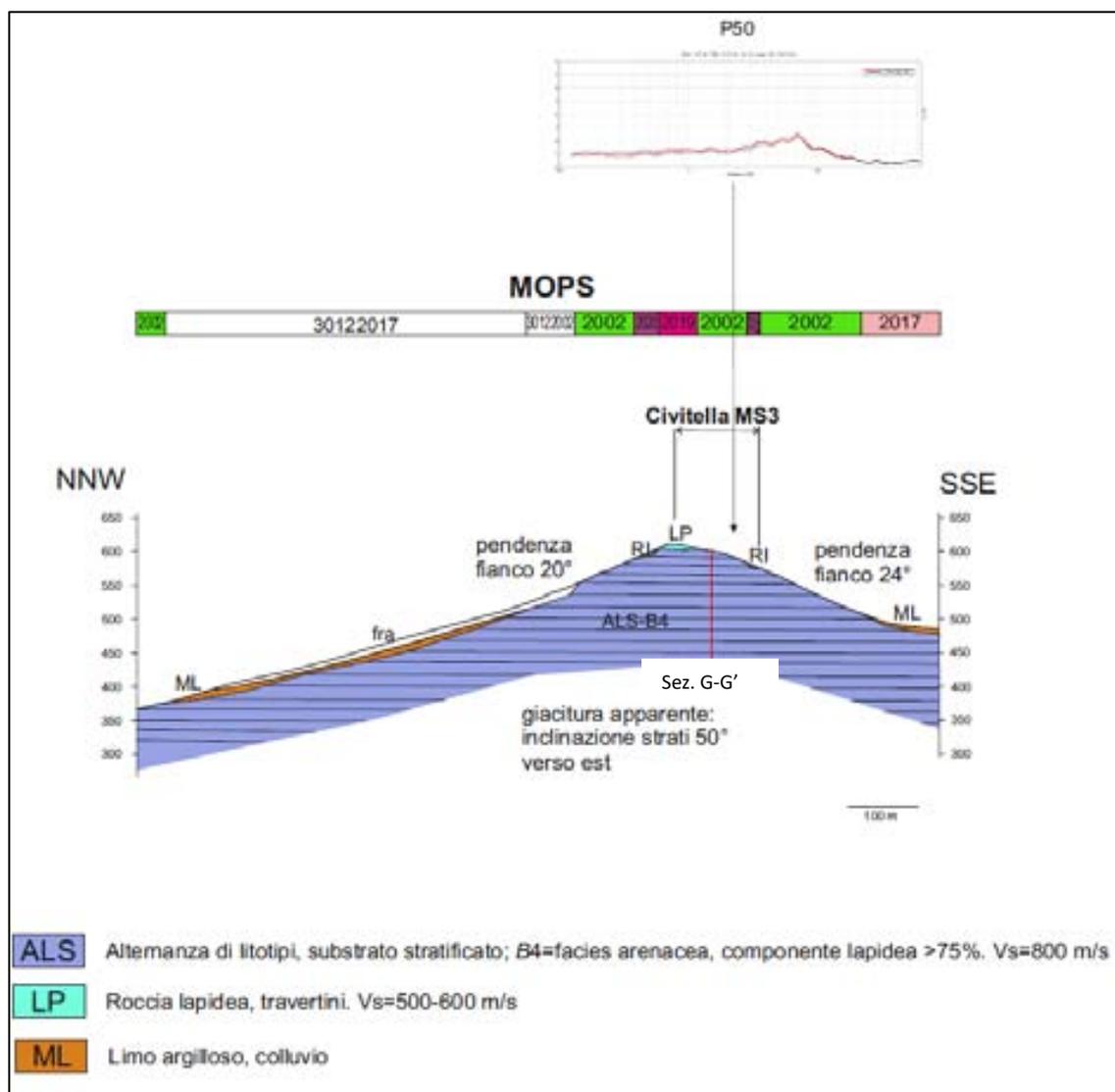


Figura 66: Sezione geologico-tecnica H-H' Civitella del Tronto

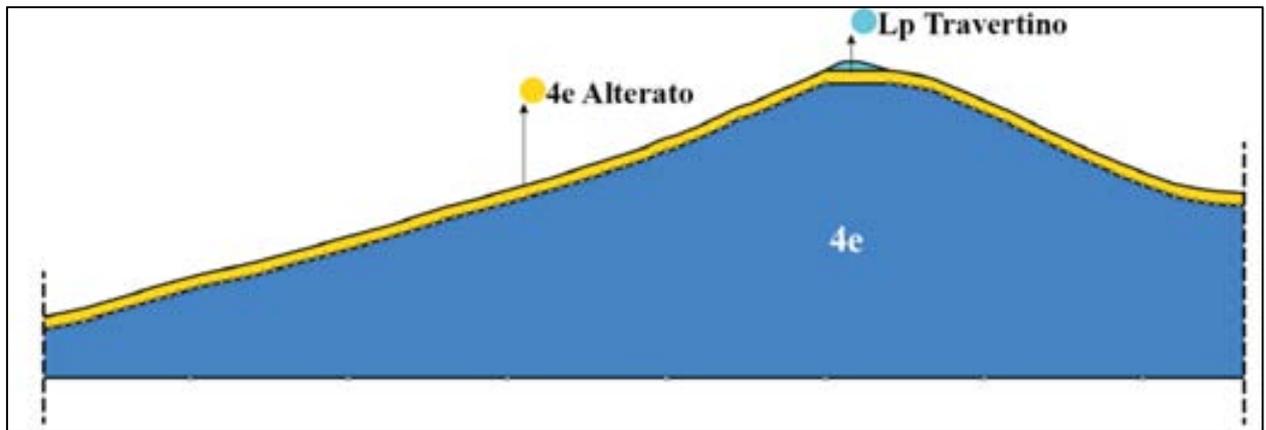


Figura 67: Sezione LSR\_2D H-H' Civitella del Tronto

Litologia	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	$V_p$ [m/s]	$u$	Curve Dinamiche	$h^*$ [m]
L <sub>p</sub> Travertino	16	500	1667	0.30	Lineare D0=3%	3
4e	22	800	2000	0.40	Lineare D0=2%	5
4e Alterato	21	650	1500	0.42	Lineare D0=2%	4
Bedrock	25	1200	3429	0.35		

Tabella 37: Caratteristiche Meccaniche e Geometriche Sezione H-H' Civitella del Tronto. \* $h$  = Altezza max elementi mesh

#### 7.1.3.3.2 Risultati simulazioni numeriche bidimensionali

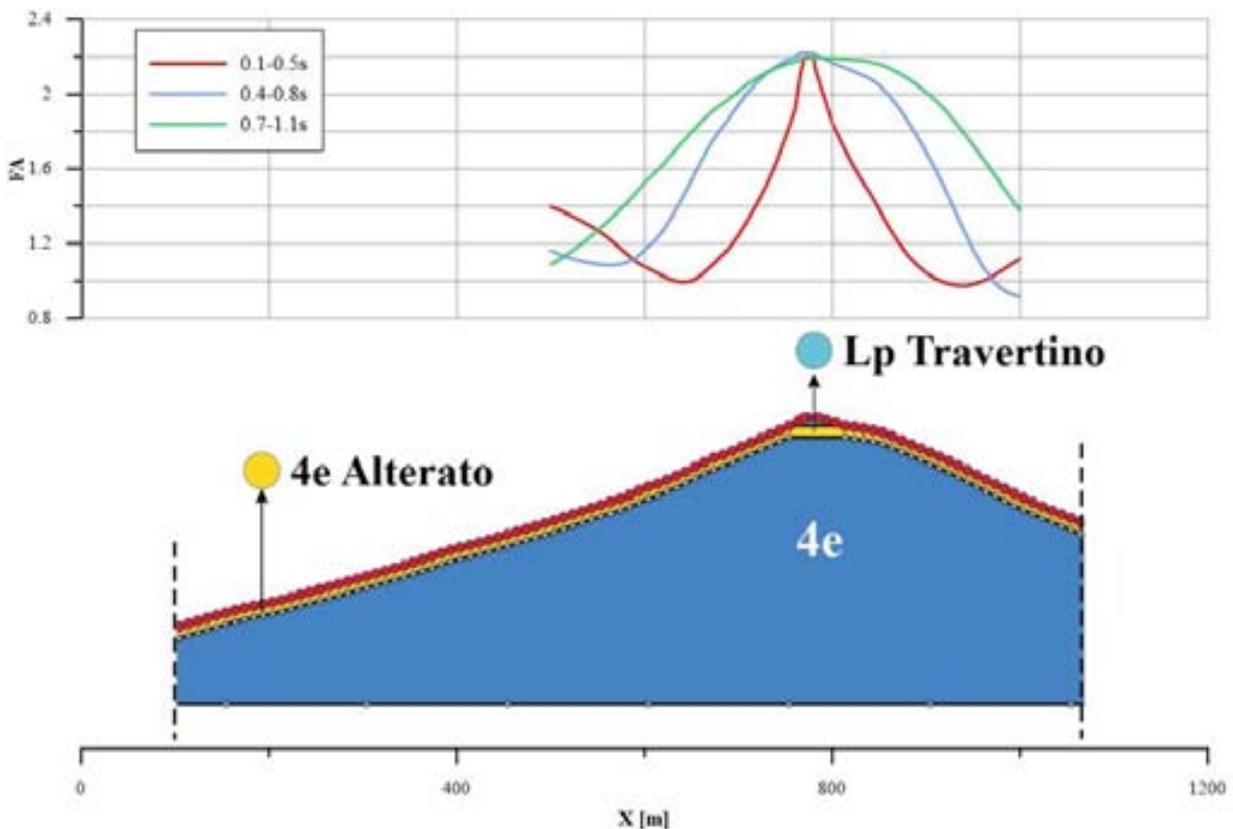


Figura 68: Risultati in termini di fattore di amplificazione (FA) Sez. H-H' Civitella del Tronto

<b>N° Nodi</b>	<b>X [m]</b>	<b>FA<sub>1</sub> [0.1-0.5s]</b>	<b>FA<sub>2</sub> [0.4-0.8s]</b>	<b>FA<sub>3</sub> [0.7-1.1s]</b>
51	500	1.40	1.16	1.09
52	510	1.38	1.14	1.12
53	520	1.35	1.12	1.15
54	530	1.33	1.11	1.19
55	540	1.30	1.10	1.23
56	550	1.27	1.09	1.27
57	560	1.23	1.08	1.31
58	570	1.19	1.08	1.36
59	580	1.15	1.10	1.41
60	590	1.10	1.12	1.47
61	600	1.07	1.16	1.53
62	610	1.05	1.21	1.57
63	620	1.02	1.27	1.62
64	630	1.00	1.35	1.68
65	640	0.99	1.44	1.74
66	650	1.00	1.54	1.80
67	660	1.03	1.64	1.85
68	670	1.07	1.73	1.90
69	680	1.12	1.81	1.94
70	690	1.17	1.87	1.98
71	700	1.24	1.94	2.02
72	710	1.33	2.01	2.06
73	720	1.42	2.06	2.09
74	730	1.51	2.11	2.12
75	740	1.63	2.15	2.14
76	750	1.77	2.18	2.16
77	760	1.91	2.20	2.17
78	766	2.11	2.22	2.19
79	770	2.20	2.22	2.19
80	780	2.20	2.22	2.19
81	782	2.13	2.21	2.20
82	790	2.00	2.19	2.19
83	800	1.84	2.17	2.19
84	810	1.74	2.15	2.19
85	820	1.64	2.13	2.18
86	830	1.55	2.11	2.18
87	840	1.47	2.08	2.17
88	850	1.38	2.05	2.16
89	860	1.29	2.00	2.14
90	870	1.21	1.93	2.12
91	880	1.14	1.86	2.08
92	890	1.08	1.78	2.05
93	900	1.04	1.69	2.01
94	910	1.01	1.59	1.97
95	920	0.99	1.49	1.91
96	930	0.98	1.38	1.86
97	940	0.97	1.27	1.79
98	950	0.98	1.17	1.72
99	960	1.00	1.08	1.66
100	970	1.02	1.01	1.59
101	980	1.05	0.96	1.51
102	990	1.09	0.93	1.44
103	1000	1.12	0.92	1.37

Tabella 38: Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

### 7.1.3.4 Risultati

#### 7.1.3.4.1 Fattori di amplificazione

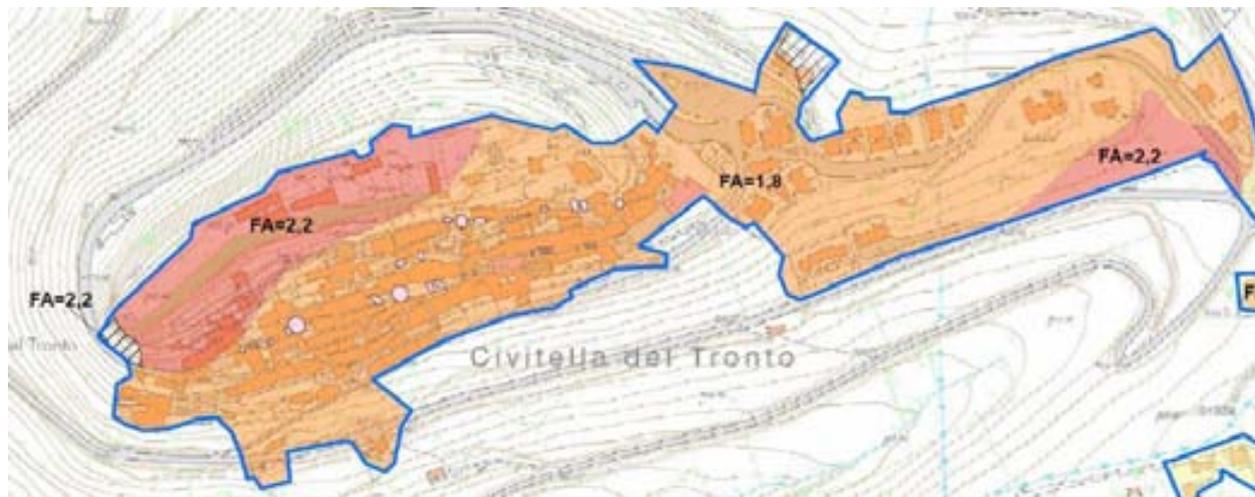


Figura 71: Fattori di FA medi per l'intervallo di periodo: 0.1 – 0.5 s



Figura 70: Fattori di FA medi per l'intervallo di periodo: 0.4 - 0.8 s

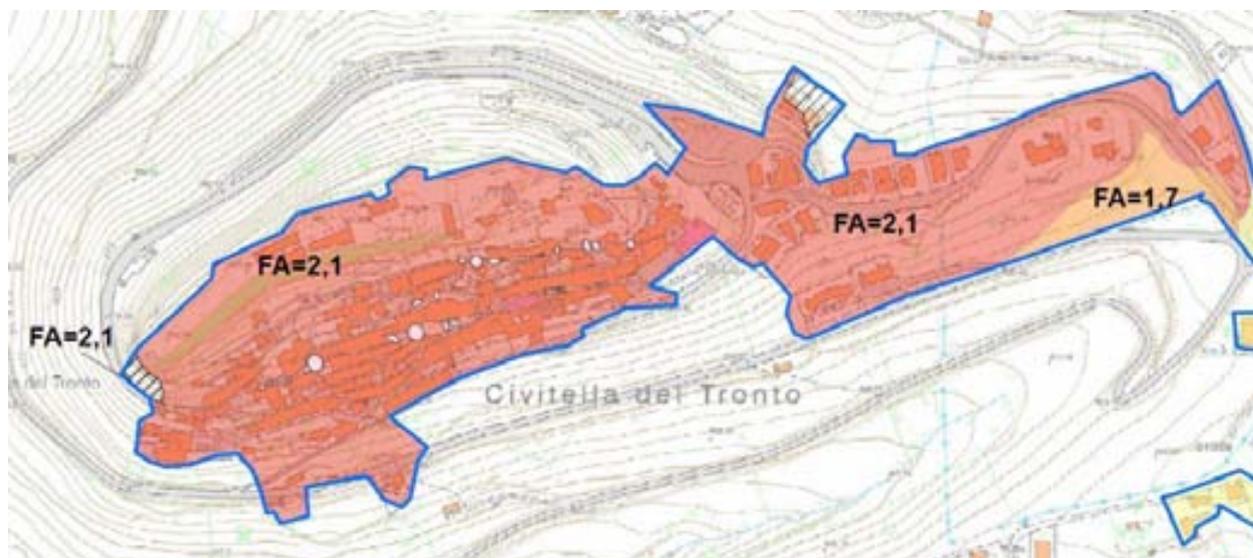


Figura 69: Fattori di FA medi per l'intervallo di periodo: 0.7 – 1.1

### 7.1.3.5 Categoria di sottosuolo da NTC e valore di VS30

L'identificazione della categoria di sottosuolo è stata effettuata in base ai valori della velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. L'indagine di sismica ha restituito una velocità delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità pari a 638 m/s  $\pm$  20%.

Pertanto si ritiene di far ricadere il sito in esame nella "Categoria di sottosuolo B" secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2008.

Categoria di sottosuolo	Descrizione
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

## 7.2 ZONE INSTABILI

Per le instabilità di versante lo studio è stato prodotto in deroga agli Standard 4.0b. Infatti, nelle carte di Microzonazione Sismica di livello 3 non è stato mappato nessun fattore di amplificazione per le instabilità di versante individuate come ZA nella carta delle MOPS. La zona in frana ricadente all'interno delle perimetrazioni in cui è stato svolto lo studio di livello 3, è stata mappata solo con il retinato della ZA, senza il colore del fattore di amplificazione. Laddove tale fattore di amplificazione è stato comunque calcolato per le instabilità mappate come ZA, il valore relativo è stato riportato nell'apposito campo previsto nello shapefile.

## 8 ELABORATI CARTOGRAFICI

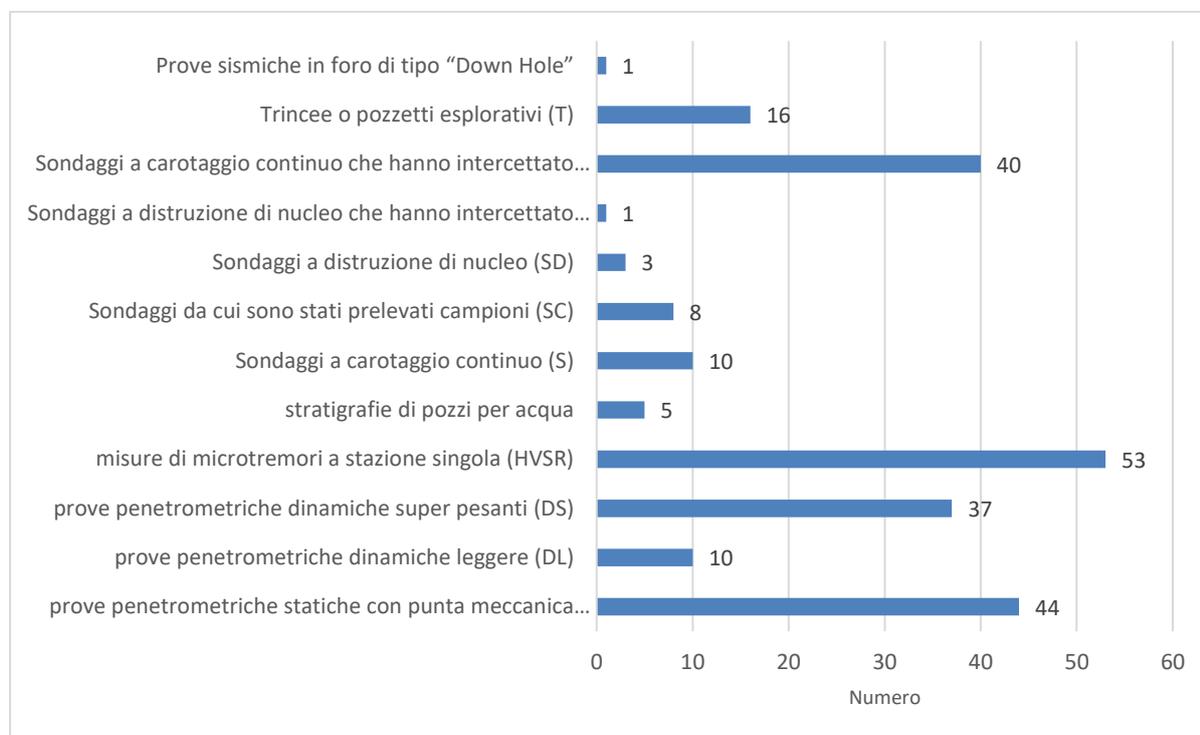
### 8.1 CARTA DELLE INDAGINI (CI)

La Carta delle indagini, elaborata alla scala 1:5.000, localizza tutte le indagini di riferimento per lo studio di microzonazione sismica di Civitella del Tronto, identificandone la tipologia.

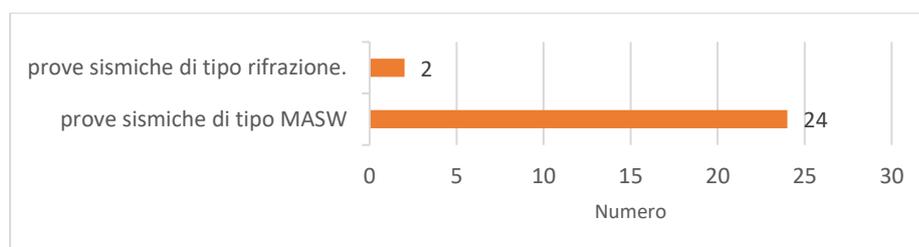
Analizzando la distribuzione areale delle prove si evidenzia una maggiore densità nel Capoluogo e negli abitati di Ponzano e di Borrano.

Per quanto riguarda le altre frazioni, presentano una discreta densità di indagini quelle oggetto dell'approfondimento di livello 3. Si evidenzia la scarsità di indagini nella Frazione di Villa Lempa, in considerazione della sua espansione residenziale.

Sono stati archiviati n. 263 indagini di tipo puntuali, di cui:

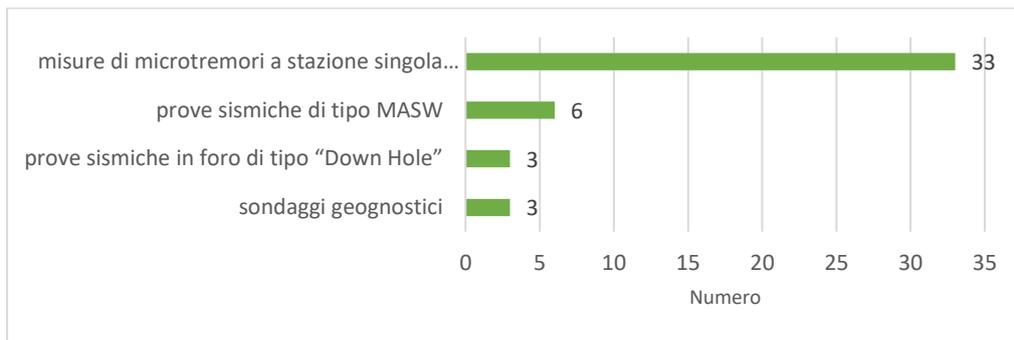


Le indagini di tipo lineare sono n. 32, di cui:



Lo studio di microzonazione di livello 3 ha consentito di implementare le indagini pregresse nelle aree del territorio scelte per l'approfondimento.

In particolare sono stati realizzati, ulteriori:



Sui campioni di terreno prelevati nel corso dei sondaggi effettuati sono stati prelevati campioni di terreno indisturbati sottoposti a prove geotecniche in campo dinamico per la determinazione della legge di variazione del modulo di taglio  $G$  e del rapporto di smorzamento  $D$  con la deformazione  $\gamma$ .

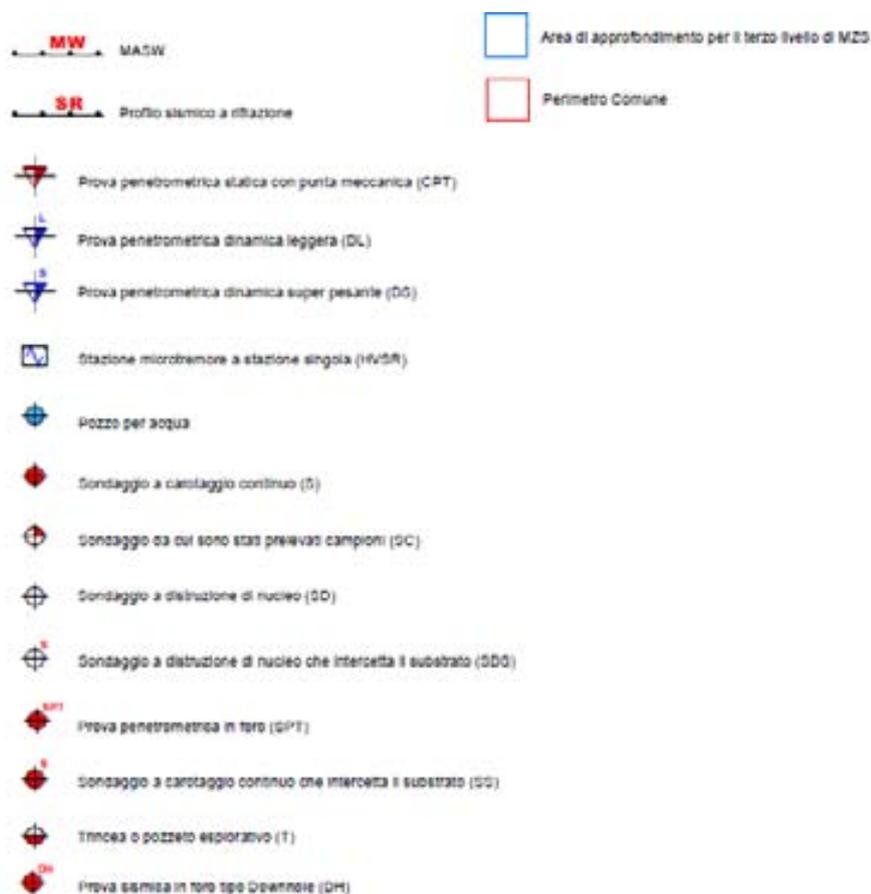


Figura 72: stralcio della legenda Carta delle indagini elaborata per lo studio di microzonazione del livello 3

Tra le conoscenze pregresse ed ex novo rivestono particolare importanza i sondaggi geognostici che hanno intercettato il substrato e le prove geofisiche che hanno permesso la definizione del modello geologico di riferimento nelle sezioni effettuate.

## 8.2 CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

La Carta delle frequenze naturali dei terreni, elaborata alla scala 1:5.000, localizza tutti i punti di misura dei microtremori sismici registrati a stazione singola (con tecnica HVSR). Si tratta di 86 misure e ad ogni punto nella cartografia viene indicato il valore stimato di F0 (valore del “picco” più significativo e a più bassa frequenza, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale).



Figura 73: Stralcio della legenda della Carta delle frequenze di risonanza elaborata per lo studio di microzonazione del livello 3

Di seguito si riporta le frequenze fondamentali di vibrazione del terreno e le ampiezze dei relativi picchi nei rapporti spettrali H/V (A0) delle indagini effettuate per lo studio di livello 3.

Tabella 39

n.	Codice identificativo	Ubicazione	F0	A0
1	P210	Lucignano	13,55	2,8
2	P211	Lucignano	4,56	2,86
3	P237	Santa Croce	3,32	3,46
4	P238	Santa Croce	3,32	4,11
5	P239	Santa Croce	13,72	4,51
6	P240	Sant'Eurosia	4,24	2,65
7	P241	Sant'Eurosia	3,0	2,95
8	P263	Sant'Eurosia	1,41	2,84
9	P220	Borrano	3,36	2,39
10	P221	Borrano	4,44	4,0
11	P222	Borrano	1,4	3,07
12	P212	Ponzano	3,75	2,52
13	P213	Ponzano	7,5	2,85
14	P214	Ponzano	6,24	3,0
15	P215	Ponzano	6,32	2,9
16	P219	Ponzano	14,24	3,48
17	P228	Colle Santa Maria dei Lumi	12,0	3,2
18	P229	Colle Santa Maria dei Lumi	1,38	4,14

19	P244	Colle Santa Maria dei Lumi	1,36	2,63
20	P230	Colle Santa Maria dei Lumi	2,5	2,47
21	P231	Capoluogo-Centro storico	3,75	2,02
23	P232	Capoluogo-Centro storico	6,32	6,26
24	P233	Capoluogo-Centro storico	2,02	2,79
25	P234	Capoluogo-Centro storico	2,66	3,51
26	P235	Capoluogo-Centro storico	6,5	2,87
27	P223	Rocca Ceppino	12	2,71
28	P224	Rocca Ceppino	4,27	4,1
29	P225	Rocca Ischiano	10	4,41
30	P226	Rocca Ischiano	1,39	2
31	P227	Rocca Ischiano	3,69	5,79
32	P242	Rocca Ischiano	17	3,73
33	P243	Rocca Ischiano	1,43	2,28

### 8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MS (CGT\_MS)

La Carta geologico-tecnica, elaborata alla scala 1:5.000, rappresenta cartograficamente tutti gli elementi geologici e morfologici che si ritengono potenzialmente in grado di modificare il moto sismico.

In particolare, la cartografia ha permesso di perimetrare le aree caratterizzate da substrato affiorante e le aree interessate da coperture significative dal punto di vista sismico.

Nella Carta Geologico Geotecnica sono riportati:

1. terreni di copertura, discriminati in unità litologiche base alle prevalenti caratteristiche tessiturali corrispondenti al suo spessore. I terreni di copertura sono stati suddivisi nelle seguenti unità litologiche:

*GM* ≡ *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo*

*GC* ≡ *Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla*

*GW* ≡ *Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie*

*MH* ≡ *Limi inorganici, sabbie fini, limi micacei o diatomici*

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

*CL* ≡ *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre*

*RI* ≡ *Terreni contenenti resti di attività antropica*

2. le aree con substrato geologico affiorante. Discriminati in unità litologiche base alle prevalenti caratteristiche tessiturali e litotecniche. I terreni di del substrato sono stati suddivisi nelle seguenti unità litologiche:

*SFLP* ≡ *Lapideo fratturato / alterato*

*SFLPS* ≡ *Lapideo, stratificato fratturato / alterato*

*LP* ≡ *Lapideo*

*LPS* ≡ *Lapideo stratificato*

*GRS* ≡ *Granulare cementato, stratificato*

*COS* ≡ *Coesivo sovraconsolidato, stratificato*

*ALS* ≡ *Alternanza di litotipi, stratificato*

3. le forme di superficie. Nell'area di studio sono riconducibili a:

- 5051 ≡ Orlo di terrazzo fluviale (10-20 m)
- 5052 ≡ Orlo di terrazzo fluviale (>20 m)
- 5042 ≡ Orlo di scarpata morfologica (>20 m)
- 5041 ≡ Orlo di scarpata morfologica (10-20 m)
- 5060 ≡ Cresta
- 4010 ≡ Conoide alluvionale
- 6010 ≡ Picco isolato
- 6020 ≡ Cavità sepolta isolata

4. le instabilità di versante:

- 3011 ≡ crollo o ribaltamento, attiva
- 3012 ≡ scorrimento, attiva
- 3013 ≡ colata, attiva
- 3014 ≡ complessa, attiva
- 3015 ≡ non definito, attiva
- 3022 ≡ scorrimento, quiescente
- 3023 ≡ colata, quiescente
- 3032 ≡ scorrimento, inattiva
- 3033 ≡ colata inattiva

5. gli elementi geologici ed idrogeologici:

- 8001 ≡ le tracce delle sezioni geologiche del primo livello e del terzo livello, ricostruite per la modellazione geotecnica e sismica delle aree oggetto degli approfondimenti di livello 3
- La localizzazione delle terebrazioni che hanno raggiunto il bedrock sismico e delle terebrazioni che non lo hanno raggiunto
- La giacitura degli strati

6. gli elementi tettonico strutturali

- Faglia inversa, inattiva (tratto incerto)
- Faglia trascorrente, inattiva (tratto incerto)

Rispetto al livello 1, la perimetrazione di alcune formazioni e di alcune forme geomorfologiche è stata rivista e modificata in funzione delle nuove indagini geognostiche e geofisiche eseguite in occasione del presente lavoro. In particolare, sulla base dei sondaggi effettuati o reperiti, nella zona nord-est del capoluogo comunale si sono aggiunti i terreni di riporto. Nella zona di Rocca Ischiano, di Colle Santa Maria e di Ponzano, interessate dal livello 3, sulla base del rilevamento di dettaglio e dei sondaggi si è, invece, a luoghi, modifica in modo sostanziale l'estensione della copertura colluviale. Nella zona nord-est di Ponzano si sono estese le aree interessate da deformazioni lente superficiali. Nell'area interessata dalla cosiddetta "frana di Ponzano", si è riportata la perimetrazione aggiornata del PAI anche se nella zona del coronamento della omonima frana riduce l'area in dissesto. Si segnala, inoltre, poco a valle del coronamento occidentale una leggera discordanza tra la perimetrazione aggiornata del PAI e quella della frana attiva effettuata dal CNR-IRPI / DST-UNIFI e utilizzata come base per l'ordinanza di delocalizzazione dell'abitato di Ponzano.



Figura 74: Stralcio della legenda della Carta geologico-tecnica elaborata per lo studio di microzonazione del livello 3

## 8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), elaborata alla scala 1:5.000, riporta tutte le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari. In questo senso, la cartografia delle MOPS classifica il territorio studiato di Civitella del Tronto nelle seguenti zone:

1. Zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata – pendii con inclinazione inferiore a circa 15°) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base. All'interno di questo gruppo vi ricade:

1041 ≡ Substrato lapideo

L'unica microzona stabile è stata individuata nell'area di Colle S. Maria, ad est del capoluogo civitellese, in cui è sub-affiorante il substrato geologico, rappresentato dall'Associazione pelitico-arenacea (Lag 6a) della Formazione della Laga costituita da peliti marnoso- argillose grigiastre in strati medio-spessi mal definiti, alternate a strati medio-spessi di torbiditi arenaceo- pelitiche e arenacee a granulometria da medio-grossolana a fine. Il bedrock sismico è a pochi metri di profondità dal piano di campagna e presenta una  $V_s > 800$  m/s.

2. Zone stabili suscettibili di amplificazioni, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto dell'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. L'amplificazione del moto sismico per effetti litostratigrafici è legata in primo luogo a differenze in termini di rigidità sismica tra substrato e copertura e secondariamente alla conformazione geometrica del limite tra i due (con conseguenti fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche e di riflessioni multiple di onde di superficie generate in corrispondenza dell'interfaccia non orizzontale roccia-terreno<sup>5</sup>). L'amplificazione per effetti topografici e morfologici è invece molto spesso causata dalla presenza di discontinuità morfologiche che possono comportare amplificazione per focalizzazione (pendii con inclinazione  $> 15^\circ$  e dislivello  $> 30$  m, bordi di terrazzo o zone di ciglio con altezza  $> 10$  m; creste rocciose sottili (larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media  $> 30^\circ$ ).

In particolare, all'interno di questo gruppo sono state distinte le seguenti microzone:

ZONA 1 $\equiv$ 2001	LPS = B1		
ZONA 2 $\equiv$ 2002	ALS = B4		
ZONA 3 $\equiv$ 2003	ALS = B5		
ZONA 4 $\equiv$ 2004	ALS = B3		
ZONA 5 $\equiv$ 2005	GM = E1	/	ALS=B4
ZONA 6 $\equiv$ 2006	COS = D		
ZONA 7 $\equiv$ 2007	GRS = C1	/	COS=D
ZONA 8 $\equiv$ 2008	GW = E2, E1	/	ALS=B4
ZONA 9 $\equiv$ 2009	GW = E2, E1	/	COS=D
ZONA 10 $\equiv$ 2010	GW = E2, E1	/	LPS=B1
ZONA 11 $\equiv$ 2011	GW = E2, E1	/	SF=B2
ZONA 12 $\equiv$ 2012	GC = E3	/	ALS=B3, B4
ZONA 13 $\equiv$ 2013	GC = E3	/	COS=D
ZONA 14 $\equiv$ 2014	GC = E3	/	SF=B2
ZONA 15 $\equiv$ 2015	CL = F4	/	ALS=B3
ZONA 16 $\equiv$ 2016	CL = F4	/	COS=D

<sup>5</sup> Aki K., Larner K.L. (1970). Surface motion of a layered medium having an irregular interface due to incident plane SH waves. Jour. Geoph. Research, Vol.70

ZONA 17  $\equiv$  2017 ML = F3 / ALS=B4  
ZONA 18  $\equiv$  2018 MH = E7 / SF=B2  
ZONA 19  $\equiv$  2019 LP = A / ALS=B4  
ZONA 20  $\equiv$  2020 RI = G / ALS=B4  
ZONA 21  $\equiv$  2021 RI = G / LP=A  
ZONA 22  $\equiv$  2022 SFLP = A / ALS=B4  
2099  $\equiv$  SFLPS = B2

3. Zone di attenzione per le instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto) indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale).

ZONA 1  $\equiv$  30112019

ZONA 2  $\equiv$  30122002

ZONA 3  $\equiv$  30122011

ZONA 4  $\equiv$  30122012

ZONA 5  $\equiv$  30122017

ZONA 6  $\equiv$  30122018

ZONA 7  $\equiv$  30122019

ZONA 8  $\equiv$  30122099

ZONA 9  $\equiv$  30152016

ZONA 10  $\equiv$  30132002

ZONA 11  $\equiv$  30132003

ZONA 12  $\equiv$  30132017

ZONA 13  $\equiv$  30142018

ZONA 14  $\equiv$  30142099

ZONA 15  $\equiv$  30143017

ZONA 16  $\equiv$  30152003

ZONA 17 ≡ 30152002

ZONA 18 ≡ 30152015

ZONA 19 ≡ 30152017

ZONA 20 ≡ 30152018

ZONA 21 ≡ 30222002

ZONA 22 ≡ 30222003

ZONA 23 ≡ 30222011

ZONA 24 ≡ 30222012

ZONA 25 ≡ 30222015

ZONA 26 ≡ 30222017

ZONA 27 ≡ 30222018

ZONA 28 ≡ 30222099

ZONA 29 ≡ 30232002

ZONA 30 ≡ 30232003

ZONA 31 ≡ 30232017

ZONA 32 ≡ 30232107

ZONA 33 ≡ 30252002

ZONA 34 ≡ 30252003

ZONA 35 ≡ 30252004

ZONA 36 ≡ 30252007

ZONA 37 ≡ 30252008

ZONA 38 ≡ 30252015

ZONA 39 ≡ 30252016

ZONA 40 ≡ 30252017

ZONA 41 ≡ 30252018

ZONA 42 ≡ 30252099

ZONA 43 ≡ 30322002

ZONA 44 ≡ 30322005

ZONA 45 ≡ 30322008

ZONA 46 ≡ 30322012

ZONA 47 ≡ 30322016

ZONA 48 ≡ 30322017

ZONA 49 ≡ 30332099

La carta delle MOPS riporta anche le forme di superficie, che per l'area di studio della microzonazione sono riconducibili a orli di scarpata di terrazzo fluviale (di altezza compresa tra 10÷20 metri) e di scarpata prevalentemente morfologica.

Con apposito simbolismo sono riportate le aree interessate da cavità sotterranee isolate e le zone di cresta e di picco isolato.

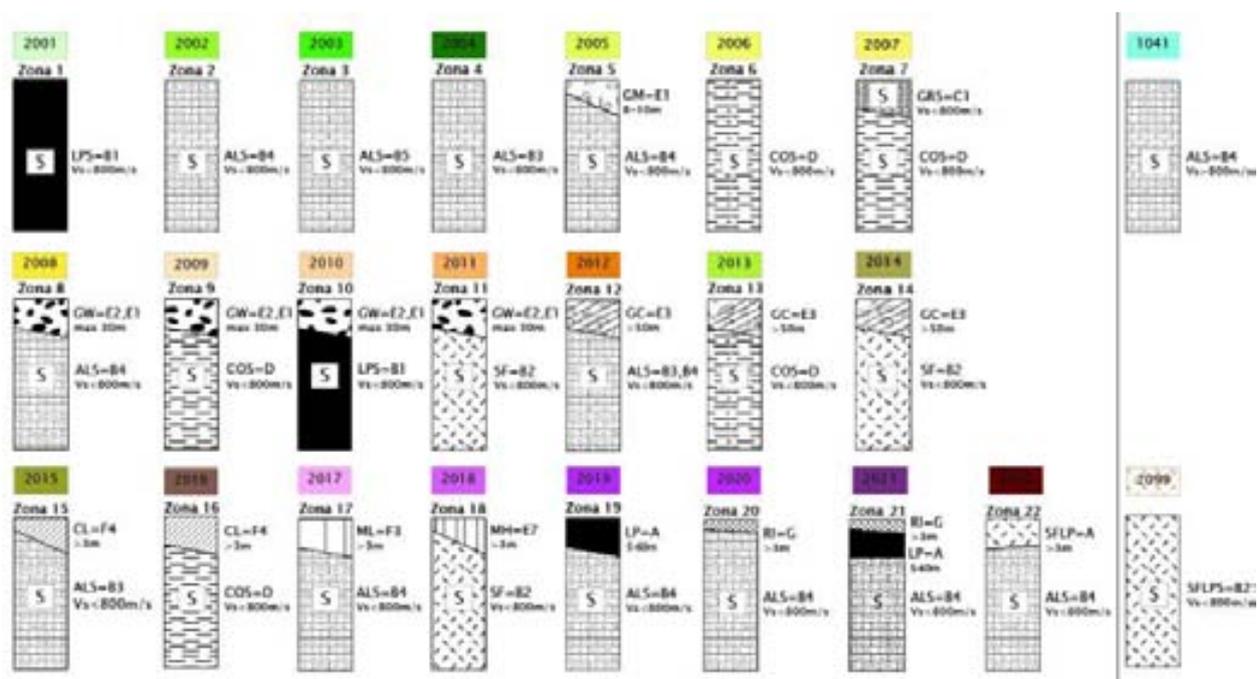


Figura 75: Stralcio della legenda della Carta delle MOPS elaborata per lo studio di microzonazione del livello 3 con le colonne stratigrafiche



Figura 76: Stralcio della legenda della Carta delle MOPS elaborata per lo studio di microzonazione del livello 3

## 8.5 CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA (MS) DI LIVELLO 3

Per giungere alla stima del fattore di amplificazione (FA) in superficie, dati i 7 accelerogrammi di riferimento forniti dal Centro MS, utilizzando il software STRATA<sup>6</sup> che permette di stimare l'amplificazione sismica in un terreno multistrato con modello lineare equivalente monodimensionale. I valori di FA sono calcolati come media logaritmica dei valori di FA relativi ai 7 accelerogrammi utilizzati.

La Carta di microzonazione sismica di livello 3, elaborata alla scala 1: 5.000, riporta:

1. Le zone stabili
2. Le zone stabili suscettibili di amplificazione
3. Le zone di attenzione

individuate nella carta delle MOPS. Queste ultime sono contraddistinte con apposito simbolismo e riguardano le zone in cui sono presenti fenomeni franosi o quelle in cui vi è la presenza di cavità

<sup>6</sup> V.: alpha, rev.:0.2.0 (A. Kottke e E. Rathje, 1998).

sotterranee.

Dal punto di vista cartografico, sono state prodotte tre differenti carte: ognuna di esse riporta, per una migliore comprensione, un solo fattore di amplificazione e cioè FA per l'intervallo:

- $0.1 < T_0 < 0.5$  s
- $0.4 < T_0 < 0.8$  s
- $0.7 < T_0 < 1.1$  s.

Gli esiti dell'amplificazione, per ogni fattore, sono stati ordinati in classi crescenti secondo quanto richiesto dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS (Standard Versione 4.b) che consentono di evidenziare con dovuta chiarezza quali aree risultano più critiche dal punto di vista della risposta sismica.

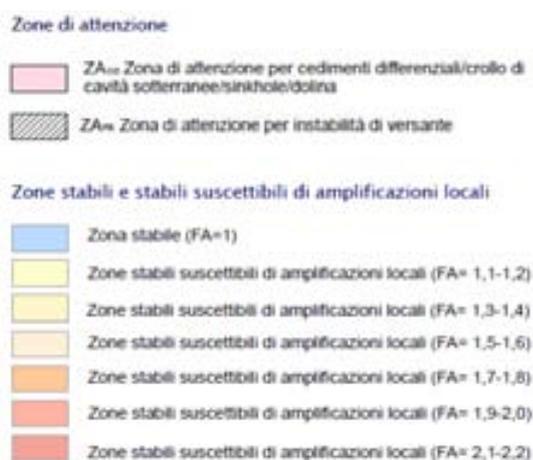
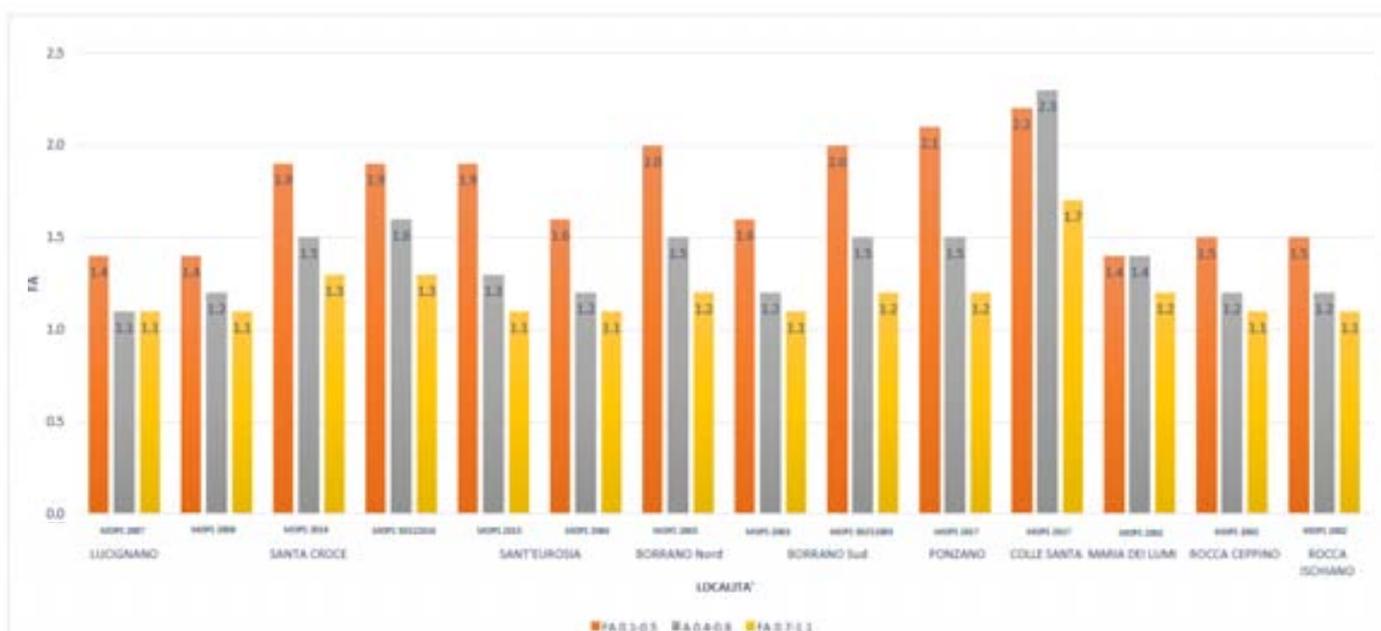


Figura 78: Stralcio della legenda della Carta di microzonazione sismica elaborata per lo studio di microzonazione del livello 3

Di seguito si riportano i valori dei Fattori di Amplificazioni per i diversi periodi determinati con le analisi 1D nelle frazioni oggetto dell'approfondimento del livello 3 della microzonazione.



### 8.5.1 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E INDICAZIONE DEL VALORE DI $V_{s30}$

Fermo restando che il valore di  $V_{s30}$  può essere considerato valido solo puntualmente, non è pensabile quindi attribuirlo ad un'intera MOPS che, per sua natura, include variazioni di proprietà sismiche e geometriche variabili, di seguito si riportano i valori di  $V_{s30}$  assegnati ai soli punti dove esiste un profilo di  $V_s$  univocamente definito (ovvero solo dove è stata eseguita una prova DH). Ne consegue che la categoria di sottosuolo così determinata vale solo per il punto dove questa è stata ricavata e non va intesa come rappresentativa dell'intera MOPS.

Tabella 40: Definizione della categoria di sottosuolo di riferimento

Mops	$V_{s30}$	Categoria di suolo	Località
2002	638	B	Centro storico
2017	548	B	Ponzano
2015	397	B	Sant'Eurosia

## 8.6 COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

L'approccio 2D ha messo in luce il ruolo non trascurabile degli "effetti topografici" (amplificazione al vertice del rilievo) nell'abitato del centro storico che, unitamente a quelli stratigrafici, caratterizzano fortemente il sito in esame in ragione della sua orografia e della complessa disposizione litologica degli strati che ne costituiscono il sottosuolo.

Per ognuno dei punti di output, l'amplificazione locale è sempre più elevata per periodi  $0.1 < T_0 < 0.5$  s. Solo in località Colle Santa Maria dei Lumi, l'amplificazione è maggiore per periodi  $0.4 < T_0 < 0.8$  s.

La ricerca su documenti relativi a danni sul territorio comunale provocati da eventi sismici avvenuti in passato, non ha fornito elementi utili per il presente studio.

Di seguito si riferisce di alcuni eventi riportati nella sitografia disponibile.

Si trova che nel 1627 furono avvertiti terremoti così come il 21 gennaio 1703 (fonte [www.ilprimato.com](http://www.ilprimato.com)).

Il 20 febbraio 1959, alle ore 09:00:00, si verificò una scossa di terremoto del 4° grado della Scala Mercalli con epicentro il territorio di Civitella del Tronto.

Non si fa però menzione dei subiti dalle strutture.

Presso l'Archivio del Genio Civile di Teramo si ha un fascicolo: Civitella del Tronto. Terremoto 5-9-1950. Legge 1-10-1951, n. 1133. Pratiche istruite dal n. 1 al. -

Tra i terremoti di origine esterna alla Provincia teramana che hanno avuto un più significativo impatto anche nei territori in esame sono legati a sorgenti sismogenetiche appenniniche Galardini F. (2004-2005). Effetti di un certo rilievo sono, infatti, attribuibili alla sequenza del 1703: danni pari all'VIII grado a Castiglione della Valle, Civitella del Tronto, Teramo e Faraone Vecchio da Boschi et al. (1997).

Il fatto che storicamente il danno sia documentato negli abitati di Civitella del Tronto, suggerisce che la risposta sismica di tali insediamenti sia fortemente condizionata sì dall'attuale vetustà ma anche da effetti locali.

I recenti eventi sismici hanno provocato danni al patrimonio edilizio del centro storico e di alcune frazioni, ed in particolare a carico di fabbricati pubblici e privati intrinsecamente vulnerabili, quali chiese, campanili, palazzi.

- L. ADAMOLI (1993) - Carta Geologica Provincia di Teramo.
- L. ADAMOLI (1993) – Carta Idrogeologica Provincia di Teramo.
- Alberti M., Decandia F.A. & Tavarnelli E., Modalità di propagazione della deformazione compressiva nell'Appennino umbro-marchigiano. Atti del 77° Congresso della Società Geologica Italiana, Bari, Settembre 1994, pp. 73-75, 1994.
- Bally A.W., Burbi L., Cooper C. & Ghelardoni R., Balanced sections and seismic reflection profiles across the Central Appennines. Mem. Soc. Geol. It., 35, pp. 257-310, 1995.
- Bartolini C., I fattori geologici delle forme del rilievo. Pitagora, Bologna, 1992.
- Bigi S., Calamita F., Cello G., Centamore E., Deiana G., Paltrinieri W. & Ridolfi M., Evoluzione messiniana-pliocenica del sistema catena-avanfossa nell'area marchigiano-abruzzese esterna. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, pp. 29-35, 1995/1.
- Bigi S., Cantalamessa G., Centamore E., Didaskalou P., Dramis F., Farabollini P., Gentilini B., Invernizzi C., Micarelli A., Nisio S., Pambianchi G. & Potetti M., La fascia periadriatica marchigiano-abruzzese da Pliocene medio ai tempi attuali: evoluzione tettonico-sedimentaria e geomorfologica, Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, pp. 37-49, 1995/1.
- Boccaletti M., Calamita F., Centamore E., Chiocchini U., Deiana G., Micarellia., Moratti G. & Poretti M., Evoluzione dell'Appennino tosco-umbro-marchigiano durante il Neogene. Giorn. Geol., ser 3, 48 (1-2), pp. 227-233, 1986.
- Boccaletti M., Guazzone G., and Manetti P., Evoluzione paleogeografica e geodinamica del Mediterraneo: i bacini marginali. Mem, Soc. Geol. It., 13, pp. 162-199, 1977.
- Bolis G., Carruba S., Casnedi R., Perotti R. C., Ravaglia A. & Tornaghi M., Compressional tectonics overprinting extensional structures in the Abruzzo Periadriatic Foredeep (Central Italy) during Pliocene times. Boll. Soc. Geol. It., 122, 251-266, 2003.
- Bonarelli G., Carta Geologica della Montagna dei Fiori (Prov. Di Teramo). Boll. Soc. Geol. It., Vol. XVIII, 1899.
- Boschi, E., E. Guidoboni, G. Ferrari, G. Valensise e P. Gasperini, (1997). Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990, ING/SGA Bologna, 644 pp.
- Bramanti A., Sedimentologia del Flysch di Teramo. Mem. Museo Tridentino Sc. Nat., 17, pp. 109- 177, 1969.
- Brozzetti F., Boncio P. e Lavecchia G., Foglio 339 Teramo. Note illustrative della Carta Geologica D'Italia – Progetto CARG.
- Calamita F., Caputo R., Pizzi A., Ridolfi M. & Scisciani V., Il controllo delle faglie normali pre- thrusting nella strutturazione neogenica della catena appenninica: esempio della M. dei Fiori (Appennino centrale). Atti del convegno di Geoitalia, Bellaria, Ottobre 1997, pp. 150-151, 1997.

- Calamita F., Caputo R., Pizzi A., Ridolfi M. & Scisciani V., Il controllo delle faglie normali pre- thrusting nella strutturazione neogenica della catena appenninica: esempio della M. dei Fiori (Appennino centrale). Atti del convegno di Geoitalia, Bellaria, Ottobre 1997, pp. 150-151, 1997.
- Calamita F., Cello G., Centamore E., Deiana G., Micarelli A., Paltrinieri W. & Ridolfi M., Stile deformativo e cronologia della deformazione lungo tre sezioni bilanciate dell'Appennino umbro- marchigiano della costa adriatica. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, pp. 295-314, 1991/1.
- Cantalamesa G., Centamore E., Chiocchini U., Micarelli A., Potetti M. & Di Lorito L., Il Miocene delle Marche. La Geologia delle Marche, Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, 33-55, 1986.
- Casnedi R. & Serafini G., Interpretazione geologica della sezione sismica nella Valle del Vomano (Abruzzo). Atti Tic. Sc. Terra, Serie speciale, 2, pp. 45-49, 1994.
- Castellarin A., Colacicchi R. & Praturlon A., Fasi distensive, trascorrenze e sovrascorrimenti lungo la linea "Ancona-Anzio", dal Lias medio al Pliocene. Geologica Romana, 27, pp. 161-189, 1978.
- Castellarin A., Colacicchi R., Praturlon A. & Cantelli C., The Jurassic-Lower Pliocene history of the Ancona-Anzio line (central Italy). Mem, Soc. Geol. It., 24, pp. 325-336, 1982.
- Centamore E., Coltorti M., Dramis F., Cantalamesa G., D'Angelo S., Di Lorito L., Sacchi L. & Sposato A., Aspetti neotettonici e geomorfologici del foglio 133-134, Ascoli Piceno-Giulianova. Pubbl. n.513, del P.F. Geodinamica, pp. 371-386, 1983.
- Centamore E., Cantalamesa G., Micarelli A., Potetti M. & Ridolfi M., Cristallini C. & Morelli C., Contributo alla conoscenza dei depositi terrigeni neogenici di avanfossa del Teramano (Abruzzo settentrionale). Boll. Soc. Geol. It., 112, pp.63-81, 1993.
- Centamore E., Chiocchini U., Cipriani N., Deiana G. & Micarelli A., Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "bacini Minori" torbiditici del Miocene medio-superiore nell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese: 5) risultati degli studi in corso. Mem, Soc. Geol. It., 18, pp. 135-170, 1978.
- Centamore E., Cantalamesa G., Micarelli A., Potetti M., Berti D., Bigi S., Morelli C. & Ridolfi M., Stratigrafia e analisi di facies dei depositi del Miocene e del Pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, pp. 125-131, 1991/2.
- Centamore E., Cantalamesa G., Micarelli A., Potetti M. & Ridolfi M., Cristallini C. & Morelli C., Contributo alla conoscenza dei depositi terrigeni neogenici di avanfossa del Teramano (Abruzzo settentrionale). Boll. Soc. Geol. It., 112, pp.63-81, 1993.
- Chiocchini U. & Cipriani N., Caratteri petrografici delle arenarie torbiditiche mioceniche dei "Bacini minori". Studi Geologici Camerti, Volume Speciale "La geologia delle Marche, pp. 57-60, 1986.
- Chiocchini U., Cipriani N., Di Giacomo N., Giacchetta D. & Macri F., Petrografia delle arenarie torbiditiche messiniane del bacino della Laga. G. Geol., 49(2), pp. 59-71, 1987.
- Chiocchini U., Cipriani N., Di Giacomo N., Giacchetta D. & Macri F., Petrografia delle arenarie torbiditiche tortoniane dei bacini laziali-abruzzesi. Boll. Soc. Geol. It., 107, pp. 63-71, 1988.

- Chiocchini U. & Cipriani N., Caratteri petrografici delle arenarie torbiditiche mioceniche dei "Bacini minori". Studi Geologici Camerti, Volume Speciale "La geologia delle Marche, pp. 57-60, 1986.
- Chiocchini U. & Cipriani N., The composition and provenance of the Tortonian and Messinian Turbidites in the Structural Evolution of the central Apennines along the " Ancona -anzio" line. *Sedimentary Geology*, 63, pp. 83-91, 1989.
- Chiocchini U. & Cipriani N., Provenance and evolution of Miocene turbidite sedimentation in the central Apennines, Italy. *Sedimentary Geology*. 77, pp. 185-195, 1992.
- Cipriani N., Ercoli A., Malesani P., Vannucchi S., I travertini di Rapolano Terme (Siena). *Mem. Soc. Geol. It.*, 11, pp. 31-46, 1972. D'Argerio B. & Ferreri V., Ambienti di deposizione e litofacies dei travertini quaternari dell'Italia meridionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, 861-868, 1992.
- Cosentino D. (1986), Alti strutturali mesozoici e loro implicazione geodinamiche durante la tettonogenesi dell'Appennino centrale: un esempio nei M. Sibillini meridionali. *Mem. Soc. Geol. It.*, 35, 349-356.
- CS.LL.PP. (2008) DM 14 Gennaio. Norme tecniche per le costruzioni. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 29.
- Dallan Nardi L., Elter P. & Nardi R. (1971) – Considerazioni sull'Arco dell'Appennino settentrionale e sulla linea Ancona Anzio. *Boll. Soc. Geol. It* 90: 203-211.
- D'Argerio B. & Ferreri V., Ambienti di deposizione e litofacies dei travertini quaternari dell'Italia meridionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, 861-868, 1992.
- Deiana G. & Pialli G., The structural provinces of the Umbro-Marchean Apennines. *Mem. Soc. Geol. It.*, 48, pp. 473-484, 1994.
- Di Pietrangelo A., Monografia di Civitella del Tronto., S.A.R.A., 1975 (ristampa del 1888).
- Dramis F., Agostini S., Coltorti M., Cresta S., D'Angelo S., Pantaleone A., Pica A., Rossi A., Sacchi L., Sposato A., Aspetti fisiografici e morfogenesi in atto nei bacini dei fiumi Salinello e Vibrata. *Antrop. Contem.* 5, 1-2, pp. 183-188. 1982.
- Faccenna C., Nalpas T., Brun J.P., Davy P. & Bosi V., The influence of pre-existing thrust fault on normal fault geometry in nature and experiments. *J. Struct. Geol.*, 17, pp. 1139-1149, 1995.
- Farabollini P., Il ruolo delle acque correnti superficiali: alcuni esempi dell'area della Montagna dei Fiori (Abruzzo Nord-Orientale). Studi Geologici Camerti, Volume speciale, pp. 92-102, 1999.
- Farabollini P., Materazzi M., Miccadei E. Piacentini T. (2004). I travertini dell' Italia centrale adriatica: genesi, cronologia, significato geomorfologico e paleoambientale. *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences*, 17(2/1), 2004, 259-272.
- Fregonese D., Preite Martinez M., Severa F., Turi B., I travertini di colle S. Nicola e Civitella del Tronto (Teramo): studio geochemico preliminare, *Acc. Lincei*, 1, pp. 15-24, 1990.
- Galadini F., Galli P. (2000). Active tectonics in the central Apennines (Italy) - input data for seismic hazard assessment, *Nat. Haz.* 22, 225-270.

- Galardini F. (2004-2005) Relazione finale Indagini sismotettoniche per la realizzazione del Piano di Emergenza Provinciale di Protezione Civile. Convenzione Provincia di Teramo INGV.
- Galli P. e Camassi R., 2009 - Database Macrosismico Italiano: DBMI11, INGV.
- Gambacorta C., Storia di Civitella del Tronto. Edizioni Grafiche Italiane, 1992.
- Ghisetti F., Follador U., Casnedi R. & Vezzani L., Assetto tettonico delle zone esterne dell'Appennino abruzzese: elementi di analisi stratigrafico-strutturali. Atti Tic. Sc. Terra, (serie speciale) 2, pp. 5-43, 1994.
- Ghisetti F., Vezzani L & Follador U., Transpressioni destre nelle zone esterne dell'Appennino centrale. Geologica Romana, 29, pp. 73-95, 1993.
- Guide geologiche regionali- Abruzzo. Volume 10, BE-MA editrice, 2003.
- Guide geologiche regionali- Appennino tosco-emiliano. Volume 4, BE-MA editrice, 1994.
- Guide geologiche regionali- Appennino umbro-marchigiano. Volume 7, BE-MA editrice, 1994
- Guide geologiche regionali- Lazio. Volume 5, BE-MA editrice, 1993.
- Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- Invernizzi C. & Ridolfi M., Analisi geologico-strutturale nelle formazioni oligo-mioceniche dell'area della Montagna dei Fiori (Marche meridionali). Studi Geologici Camerti, XII, pp. 79-91, 1992.
- Iervolino I., Galasso C., Paolucci R., Pacor F. (2011), Engineering ground motion record selection in the Italian ACcelerometric Archive. Bulletin of Earthquake Engineering, 9(6):1761-1778. DOI: 10.1007/s10518-011-9300-4.
- Lavechia G., Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini: analisi cinematica strutturale. Boll. Soc. Geol. It., 104, pp. 161-194, 1985.
- Locati M., Camassi R. e Stucchi M. Database macrosismico italiano, DBMI11 è realizzato nell'ambito dell'attività del Tema trasversale Coordinato 5.1 Banche dati e metodi macrosismici. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.
- Mattei M. (1987) - Analisi geologico-strutturale della Montagna dei Fiori (Ascoli Piceno, Italia centrale). Geologica Rom., 26: 327-347, 9 fig., 1 carta f.t., Roma.
- Meletti C. e Valensise G. (marzo 2004). Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo.
- Montaldo V, Meletti C, Martinelli F, Stucchi M, Locati M (2007) On-line seismic hazard data for the new italian building code. J Earthq Eng 11(S1):119–132.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPT15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPT15>.
- Martinez M.P., Severa F., Turi B., Fregonese D., Fornaseri M. (1990) – I travertini di Colle S. Nicola e Civitella del Tronto (Teramo): studio geochimico preliminare. Rendiconti Lincei, Vol 1, pp. 15-24.

- Procaccini E. (1988) – Piano Regolatore Generale, Relazione geologico-geotecnica.
- Ricci Lucchi F., The Oligocene to Recent Foreland Basins off The Northern Appennines. Spec. Publ. I.A.S., 8, pp. 105-139, 1986.
- Salvini F. & Vittori E., Analisi strutturale della linea Olevano-Antrodoco-Posta (Ancona-Anzio Auct.): metodologie di studio delle deformazioni fragili e presentazione del tratto meridionale. Mem., Soc., Geol., It., 24, pp. 337-355, 1982.
- Savini F., Gli edifici teramani nel medio evo studio tecnico storico, Roma, 1907.
- Savini F., L'Anfiteatro romano di Teramo e i recenti scavi, Statuti del comune di Teramo (IV, XV), Firenze, 1889.
- Servizio Geologico d'Italia, Note illustrative della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100000). F° 133- 134 "Ascoli Piceno-Giulianova", 1969.
- Stucchi et al, 2007 - Database Macrosismico Italiano: -DBMI04 – INGV.
- Tancard A.J., On the depositional response to thrusting and lithospheric flexure: examples from the Appalachian and Rocky Mountain basins. Spec. Publ. Ass. Sediment., 8, pp. 369-392, 1986.
- Tavarnelli E., Decandia F.A. & Alberti M., Evidenze di tettonica distensiva sinsedimentaria nel bacino messiniano della Laga: Implicazioni per l'evoluzione dell'Appennino Settentrionale. Boll. Soc. Geol. It., 118, pp. 217-227, 1999.
- Ten Haaf, Graded beds of the northern Appennines. Sedimentary structures and direction of supply. Thesis. Univ. Groningen, 1959.
- Todaro G., Guida alla fortezza di Civitella del Tronto, Aurelio Coppola Editore, 2006
- Tucci S. (2007), Le risorse lapidee del territorio di Civitella del Tronto ed il loro uso storico ed attuale; Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze, Facoltà di SMFN, Corso di laurea in Scienze geologiche, aa2006/2007.
- Vezzani L., Casnedi R. & Gisetti F., Carta Geologica dell'Abruzzo Nord-Orientale. Scala 1:100 000, S.E.L.C.A., Firenze, 1993.
- Vezzani L., Ghisetti F., con la collaborazione di Bigozzi A., Follador U., & Casnedi R., Carta geologica dell'Abruzzo. Scala 1:100 000, S.E.L.C.A., Firenze, 1998.

Carta delle indagini in scala 1:5.000

Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000

Carta Geologico-Tecnica per la MS (CGT\_MS) in scala 1:5.000

Sezioni geologico-tecniche in scala 1:5.000

Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in scala 1:5.000

Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 in scala 1:5.000

Accelerogrammi calcolati in superficie

Spettri di risposta in accelerazione