

## **Ordinanza 79/2019**

**Supporto e coordinamento tecnico-scientifico per realizzare approfondimenti in zone con instabilità di versante e cavità individuate con gli studi di microzonazione sismica condotti ai sensi dell'ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017 nei comuni interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016 o segnalate agli uffici del commissario straordinario.**

# **Consegna dal CentroMS all'Affidatario dei risultati delle analisi pseudostatiche e/o dinamica semplificata e di Risposta Sismica Locale per il calcolo di FA**

**Comune di Caldarola (MC)**

**Loc. Castello Pallotta – Colle Valcimarra –  
Valle Valcimarra**

**29/07/2020**

## **Indice**

1. Premessa
2. Indicazioni derivanti dal Verbale di approvazione della Consegna intermedia
3. Analisi della Risposta Sismica Locale e Calcolo di FA
  - a. Approccio metodologico (Risultati attesi in termini di FA e spettri in superficie, risultati in termini di accelerogrammi alla superficie di scivolamento, dati necessari, scelta di analisi 1D e 2D)
  - b. Descrizione dei dati di input (Sezioni, modello geofisico, modello di analisi, curve di decadimento, input sismici)
  - c. Risultati (Tabelle dei valori di FA, esempi di spettri di risposta ed eventualmente confronti con applicazioni analisi 1D e 2D, banche dati allegate)
4. Condizioni di stabilità dei versanti
5. Considerazioni

## **BIBLIOGRAFIA**

## **1. Premessa**

Nel presente documento sono riportati gli esiti delle analisi pseudostatiche o dinamiche semplificate, e di Risposta Sismica Locale per il calcolo dei Fattori di Amplificazione (FA) previste nel Documento Tecnico allegato alla Convenzione stipulata tra l'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del Consiglio Nazionale delle Ricerche (per il Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni) e il Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione sisma 2016.

Tali analisi rientrano nei prodotti che il CentroMS trasferisce ai professionisti affidatari degli incarichi, necessari alla realizzazione degli elaborati previsti dall'Art.5 (Elaborati) del disciplinare firmato dai professionisti.

Il presente documento contiene, oltre che questa premessa, al paragrafo 2, a cura del Gruppo di Supporto ISPRA, le indicazioni relative al lavoro svolto nella prima fase dall'Affidatario, fino alla valutazione preliminare della stabilità del versante in studio, che hanno permesso la redazione del Verbale di approvazione della Consegna intermedia.

Nel paragrafo 3 sono presenti i risultati delle analisi della Risposta Sismica Locale e Calcolo di FA condotte dal Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e/o dall'Università degli Studi di Siena – Dipartimento Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, sulla base di quanto prodotto dall'Affidatario nella prima fase.

Nel paragrafo 4 vengono illustrati i risultati delle analisi pseudostatiche e/o dinamiche semplificate, svolte dall'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria e dall'Università degli Studi di Roma "Sapienza" - Dipartimento di Scienze della Terra, sempre sulla base di quanto prodotto dall'Affidatario nella prima fase.

Nel Paragrafo 5 vengono sintetizzati i risultati raggiunti.

Infine, in coda al documento, una sintetica bibliografia che raccoglie i lavori citati nel testo ed i software utilizzati per le elaborazioni effettuate.

## **2. Indicazioni derivanti dal Verbale di approvazione della Consegna intermedia**

Il giorno 29/05/2020, il dott. Roberto Pucciarelli, affidatario dell'incarico relativo al Comune di Caldarola (MC), ha ultimato la trasmissione ai gruppi di Supporto del CentroMS/ISPRA della consegna intermedia di cui al disciplinare sottoscritto.

Si riporta di seguito una breve valutazione di merito della consegna effettuata:

### **ARCHIVIAZIONE DEI DATI E DEI METADATI:**

Dato lo stato di consegna intermedia, il controllo sul prodotto sarà effettuato durante la fase di istruttoria finale degli studi, quando tale prodotto sarà completo.

### **ANALISI PRELIMINARE DELL'INSTABILITÀ:**

Lo studio svolto dall'affidatario su tre diverse località, di cui all'Art. 2 del Disciplinare, risulta ben fatto ed approfondito per quel che concerne il rilevamento geologico e geomorfologico dell'area di studio, la programmazione e realizzazione delle indagini dirette e la conseguente modellazione geologica e geotecnica. Rimangono invece alcune criticità sulle elaborazioni dei dati geofisici.

L'assenza del sito nel PAI e in IFFI, la mancanza di dati storici negli archivi del Comune di Caldarola e soprattutto le evidenze di campagna, hanno portato il geologo affidatario ad escludere la presenza di un fenomeno franoso in località *Castello Pallotta – Capoluogo*, ma al tempo stesso ad ipotizzare un diverso assetto geologico dell'area rispetto a quanto già presentato nei precedenti studi di MS, in particolare sugli spessori dei terreni di copertura. Lo studio è stato quindi finalizzato a perfezionare gli elaborati di MS per arrivare ad una più precisa stima della RSL.

Le evidenze di campagna e soprattutto i n.3 sondaggi a carotaggio continuo realizzati, hanno portato il geologo affidatario a non confermare l'esistenza del fenomeno franoso presente sia nel PAI che in IFFI e che interferisce con la località *Colle – Valcimarra*.

Le evidenze di campagna hanno portato il geologo affidatario a non confermare l'esistenza anche dell'ultimo fenomeno franoso, presente sia nel PAI che in IFFI, e che interferisce con la località *Valle – Valcimarra*.

Le scelte effettuate sono state condivise con il Gruppo di supporto ISPRA.

Per quanto riguarda i modelli geofisici, in merito alle indagini a rifrazione il numero di *shot-point* utilizzato lungo gli stendimenti è insufficiente per elaborazioni tomografiche; pur avendo segnalato al Professionista incaricato la necessità di affiancare l'elaborazione tomografica con quella ottenibile con metodi classici (es. metodo reciproco, GRM) non è stato dato seguito a tale richiesta. Pertanto i risultati della sismica a rifrazione possono essere utilizzati solo per una analisi dell'andamento generale delle Vp nel sottosuolo oggetto di indagine.

I modelli derivati da analisi MASW risultano ben vincolati alle curve HVSR, tuttavia i dati di dispersione sono riferiti solo a frequenze molto elevate (>13 Hz) e le curve HVSR (tranne che per il sito di Colle) non presentano picchi di amplificazione (ampiezza > 2). Per tali motivi si raccomanda di fare uso prudente dei modelli VS che possono essere affetti da un certo grado di incertezza non facilmente quantificabile; a questo proposito si raccomanda di prendere in esame gli altri dati esistenti (geofisici, geotecnici) riferiti alla stessa area, ovvero dati ottenuti da



analisi realizzate in altre località e riferiti alle stesse unità GT.

**DATI PER LA PROSECUZIONE DELLE ATTIVITA':**

Dall'analisi di quanto complessivamente consegnato risulta possibile la prosecuzione delle attività di competenza del CentroMS.

Il Gruppo di Supporto ha espresso parere FAVOREVOLE alla approvazione in data 29 maggio 2020.

### **3. Analisi della Risposta Sismica Locale e Calcolo di FA**

#### **a. Approccio metodologico e tipologia di risultati**

Le analisi della Risposta Sismica Locale (RSL) di ciascun sito di studio sono state condotte adottando l'approccio numerico nell'ipotesi di comportamento visco-elastico in sforzi totali, tenendo in considerazione la non linearità del legame costitutivo dei materiali attraverso l'analisi equivalente lineare con conseguente procedura iterativa.

In relazione alle specificità geomorfologiche e geologiche caratterizzanti ciascun sito di studio, le analisi di RSL sono state effettuate su una o più sezioni rappresentative attraverso codici di calcolo bidimensionali ad elementi finiti operanti nel dominio del tempo con discretizzazione del mezzo a masse concentrate.

In particolare, è stato utilizzato il codice di calcolo LSR2D fornito dalla Stacec s.r.l (<http://www.stacec.it/Prodotto/92/lsr-2d>) che è di tipo bidimensionale ed è finalizzato ad analizzare geometrie riconducibili a valli strette, chiusure laterali e inter-digitazioni etc.; esso permette di modellare qualsiasi sezione caratterizzata da diversi materiali con qualsiasi andamento geometrico. Il programma utilizza il metodo degli elementi finiti in stato di deformazione piana (FEM), discretizzando il dominio del continuo in un sistema equivalente di sottodomini più piccoli, tali che il loro assemblaggio dia luogo alla struttura reale, tenendo adeguatamente in considerazione la sua eterogeneità geometrica e le condizioni al contorno. La procedura numerica richiede la discretizzazione del dominio in una mesh di elementi triangolari e/o quadrilateri, le cui dimensioni devono soddisfare precise relazioni, tali da ottimizzare la discretizzazione. In particolare l'altezza dell'elemento deve essere minore o uguale al rapporto tra il valore minimo della  $V_s$  presente nel modello e 5 volte la massima frequenza che si vuole analizzare. La larghezza non deve superare indicativamente 10 volte l'altezza laddove il bedrock è più profondo; dove il bedrock è più superficiale (e presso la frontiera laterale), la larghezza non deve superare 5 volte l'altezza. Il programma utilizza un modello discreto a masse concentrate, per tenere in considerazione l'eterogeneità verticale del sottosuolo, in cui la stratigrafia viene ricondotta ad una serie di masse, concentrate in corrispondenza del baricentro di ciascun elemento della mesh e collegate tra loro da molle e smorzatori viscosi in modo da costruire un sistema a  $n$  gradi di libertà. I parametri che caratterizzano il sistema sono le coordinate di ciascun nodo costituente la mesh, le masse  $m_i$ , le rigidezze delle molle  $k_i$  e i coefficienti di smorzamento viscoso  $c_i$ . Per ciascun elemento costituente la mesh di discretizzazione vengono assegnati i seguenti parametri: densità  $\rho_i$ , coefficiente di Poisson  $\nu_i$ , modulo di taglio iniziale  $G_0$  e rapporto di smorzamento iniziale  $D_0$ ; tali parametri vengono utilizzati per calcolare le matrici delle masse  $M_i$ , delle rigidezze  $K_i$  e degli smorzamenti  $C_i$  di ciascun elemento e poi assemblate tra loro ed utilizzate per risolvere le equazioni del moto, nota l'eccitazione sismica applicata al bedrock sismico. Il codice di calcolo opera nel dominio del tempo mediante integrazione passo-passo con parametri costanti per l'intera durata del sisma e variazione lineare dell'accelerazione tra inizio e fine passo. Lo smorzamento viene calcolato elemento per elemento con l'espressione dello smorzamento proporzionale alla Rayleigh. Il programma adotta l'analisi lineare equivalente per considerare, nella soluzione dell'equilibrio dinamico del sistema, il legame non lineare: tale analisi consiste nell'esecuzione di una sequenza di analisi lineari complete con aggiornamento successivo dei parametri di rigidezza e smorzamento fino al soddisfacimento di un prefissato criterio di convergenza. Il moto di input è rappresentato sotto forma di storia temporale dell'accelerazione ed è applicato simultaneamente a tutti i nodi della frontiera, assegnata

orizzontale.

I codici di calcolo utilizzati richiedono come dati di input, oltre agli accelerogrammi e al modello di rigidità del sottosuolo, anche i parametri geotecnici dinamici, in grado di descrivere il comportamento dei materiali sotto sollecitazioni cicliche. Per quanto riguarda le curve di decadimento del modulo di taglio ( $G/G_0$ ) e del rapporto di smorzamento ( $D$ ) in funzione della deformazione tangenziale ( $\gamma$ ) si è fatto riferimento ai dati disponibili dagli studi di MS3 e da curve di letteratura.

I risultati sono stati calcolati in corrispondenza di punti significativi della superficie topografica e, dove necessario, in corrispondenza della superficie di scivolamento e del centro di massa del movimento franoso individuato mediante verifiche di stabilità in condizioni statiche e pseudo-statiche.

I risultati sono stati espressi in termini di accelerogrammi modificati a partire dai 7 accelerogrammi utilizzati come moto di input; per la sola superficie topografica sono stati calcolati anche gli spettri di risposta elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico per ciascuno dei 7 accelerogrammi di input e il relativo spettro di risposta elastico medio (media aritmetica), dai quali sono stati ottenuti i valori del fattore di amplificazione FA, calcolati negli intervalli di periodo 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, come media geometrica tra gli FA riferiti a ciascun accelerogramma di input.

#### **b. Dati di input**

Per ciascuna delle analisi sono stati utilizzati come dati di input il gruppo di 7 accelerogrammi registrati selezionati nell'ambito degli studi di MS3 per ciascun Comune interessato dal Sisma del Centro Italia 2016-2017 (Luzi et al., 2019) e tali per cui la media dei loro spettri di risposta elastici in accelerazione sia spettro-compatibile nell'intervallo di periodo compreso tra 0.1 e 1.1 s con lo spettro di risposta elastico della categoria di sottosuolo A riferito alla pericolosità sismica con  $T_r$  di 475 anni. I 7 accelerogrammi selezionati per il Comune di Caldarola sono riportati nella seguente tabella, identificati con la nomenclatura della Banca dati ITACA (D'Amico et al., 2019), ai quali è stato associato un codice progressivo per identificare i relativi file di output contenuti nella banca dati:

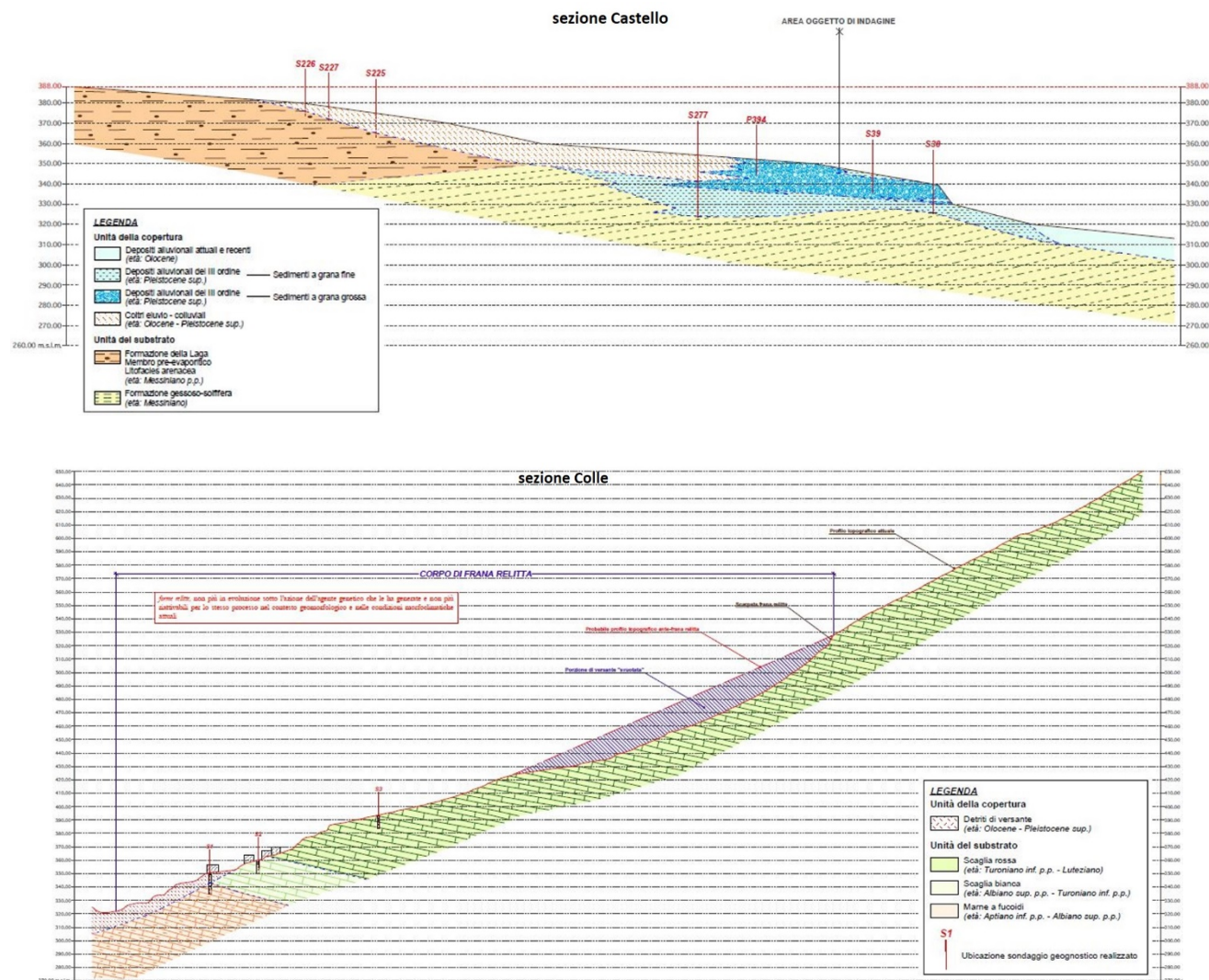
<b><i>Nome file – banca dati ITACA</i></b>	<b><i>Sigla accelerogramma</i></b>
3A.MZ19..HNE.D.20161030.064018.C.ACC	CDC (1)
3A.MZ21..HNE.D.20161026.171036.C.ACC	CDC (2)
I1.A6391..HNE.D.19990506.230051.C.ACC	CDC (3)
IT.CLO..HGN.D.20161026.171036.C.ACC	CDC (4)
IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC	CDC (5)
IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.ACC	CDC (6)
IV.T1212..HNN.D.20161030.064018.C.ACC	CDC (7)

Analizzando i dati forniti dal Professionista incaricato sono state analizzate le sezioni geologico-tecniche rappresentative del modello di sottosuolo ricostruite sulla base dei dati reperiti dall'attività

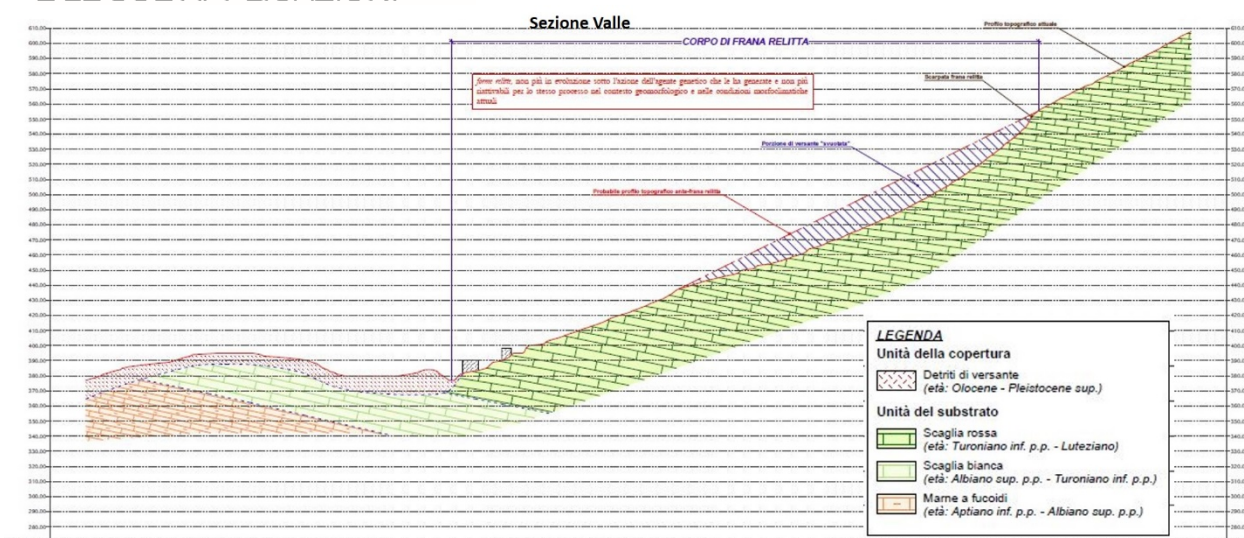


di rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio e dalla campagna di indagini geognostiche e

geofisiche in sito. Tali sezioni (la sezione Castello, la sezione Colle e la sezione Valle) vengono di seguito rappresentate:





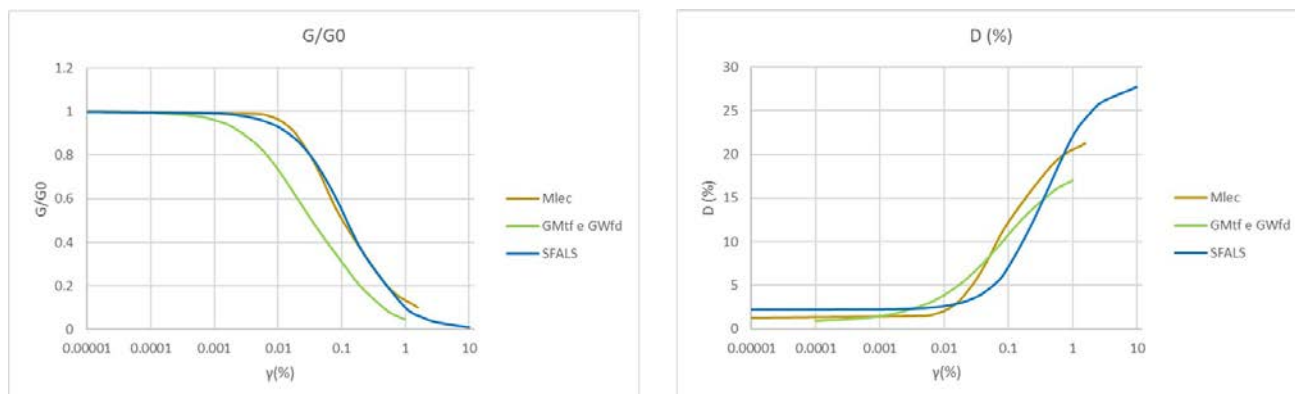


I valori di  $V_s$  (che corrispondono ai valori medi forniti dal Professionista) e di densità utilizzati nelle analisi RSL per ciascuna delle unità geologico-tecniche (unità GT) identificate dalle due sezioni sono mostrati nella tabella seguente:

Unità GT	$V_s$ (m/s)	Curve G/G0 e D	Densità (Kg/m <sup>3</sup> )
MLec	235	campione Belforte del Chienti (curva MLec Marche 2)	1940
GMtf	500	Rollins et al. (1998)	1850
GWfd	525	Rollins et al. (1998)	1880
SFALS	555 (Form. Gessoso-Solfifera)	campione Massa Fermana MS138	2150
	564 (Form. della Laga)		
ALS	725 (Form. Gessoso-Solfifera)	lineare con $G/G_0 = 1$ e $D = 0.5 \%$	2150 (Form. Gessoso-Solfifera)
	1000 (Form. della Laga)		2150 (Form. della Laga)
	1250 (Marne a Fucoidi)		2200 (Marne a Fucoidi)
LPS	1500	lineare con $G/G_0 = 1$ e $D = 0.5 \%$	2400

Le curve di decadimento, di seguito riportate per le unità GT MLec, GMtf, GWfd ed SFALS, sono state desunte dalle attività di caratterizzazione geotecnica eseguita nell'ambito degli studi di MS3 e da letteratura. In particolare, per l'unità GT MLec si è fatto riferimento ai dati desunti dalle prove di laboratorio condotte sul campione prelevato nel Comune di Belforte del Chienti (curva MLec Macroarea Marche 2); per le unità GMtf e GWfd, si fa riferimento alle curve ottenute da Rollins et al. (1998); per l'unità SFALS, si è fatto riferimento alla media fra le stime ottenute da un campione

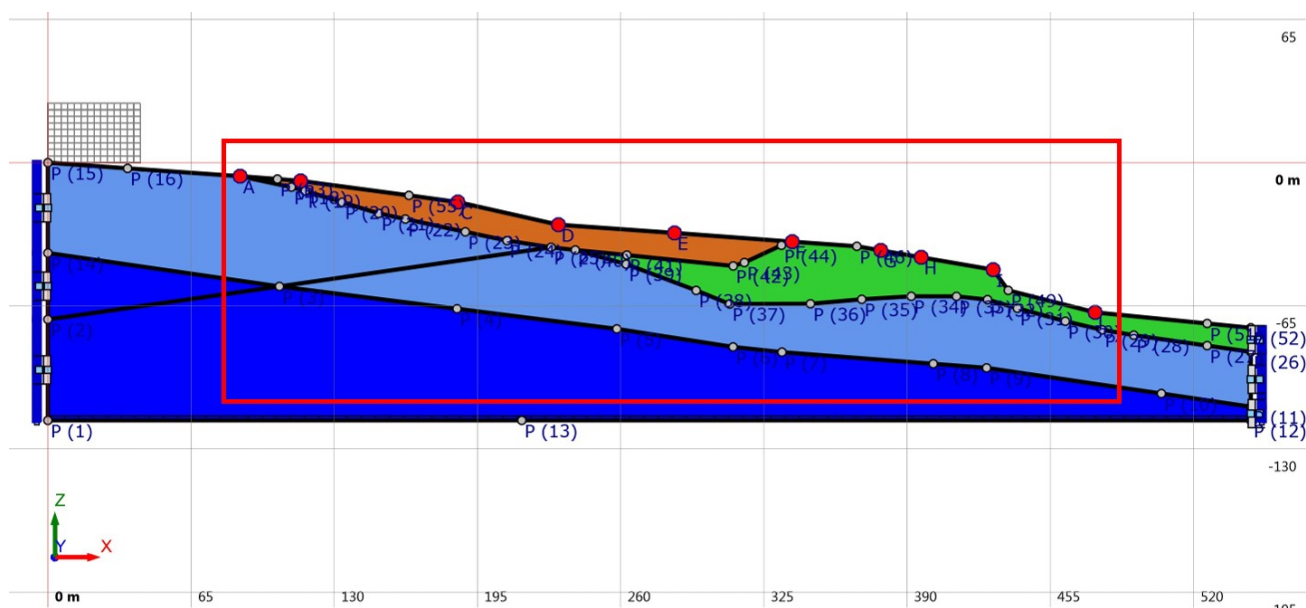
indisturbato MS138 raccolto a Massa Fermana (FM) regolarizzato utilizzando il modello di Yokota et al. (1981). Infine, per le unità ALS e LPS, è stata considerata una relazione lineare con  $G/G_0 = 1$  e  $D = 0.5\%$ .



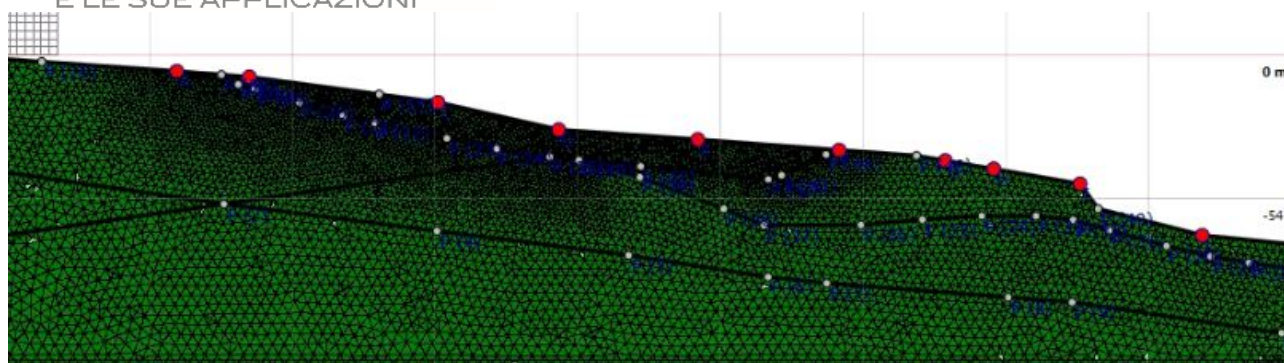
### c. Risultati delle analisi

#### Sezione Castello

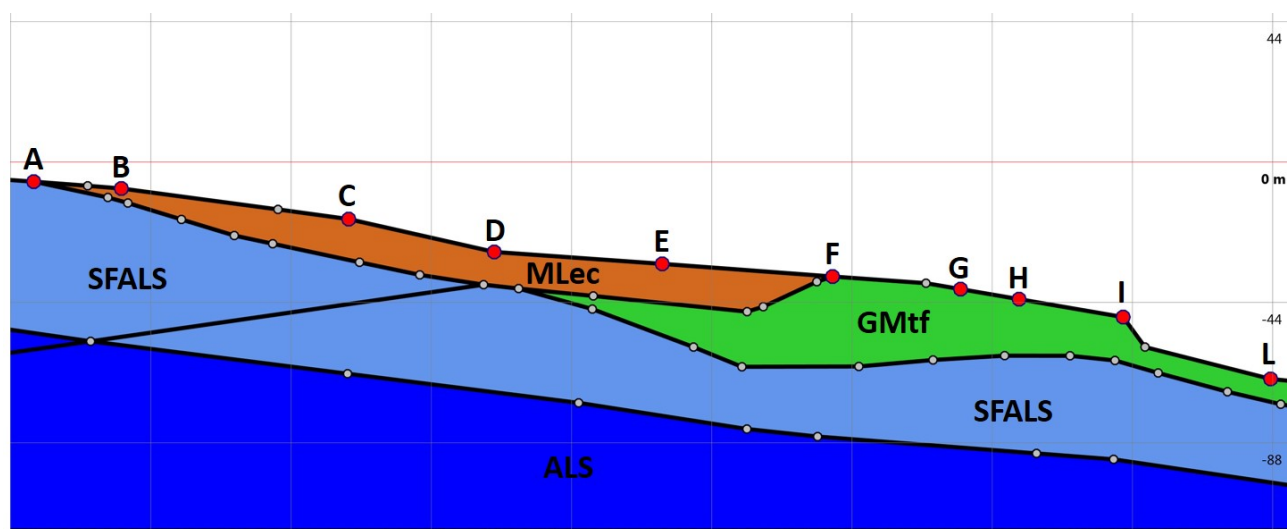
Per la costruzione del modello numerico bidimensionale per l'analisi, sono state ricostruite fedelmente le interfacce di separazione di ciascuna unità geologico-tecnica associando i parametri geofisici rappresentativi di ciascuna unità. Per quanto riguarda i bordi laterali, è stato applicato come condizione al contorno l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi della frontiera e i nodi di colonne monodimensionali in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Nella figura vengono indicati con colore diverso le geometrie delle unità geologico-tecniche considerate nella modellazione. Il riquadro in rosso indica la parte della sezione interessata dallo studio di Microzonazione Sismica.



Il modello è stato discretizzato attraverso una mesh ad elementi finiti di forma triangolare composta da n. 7136 nodi e 13825 elementi, la cui distribuzione è indicata nella figura che segue:

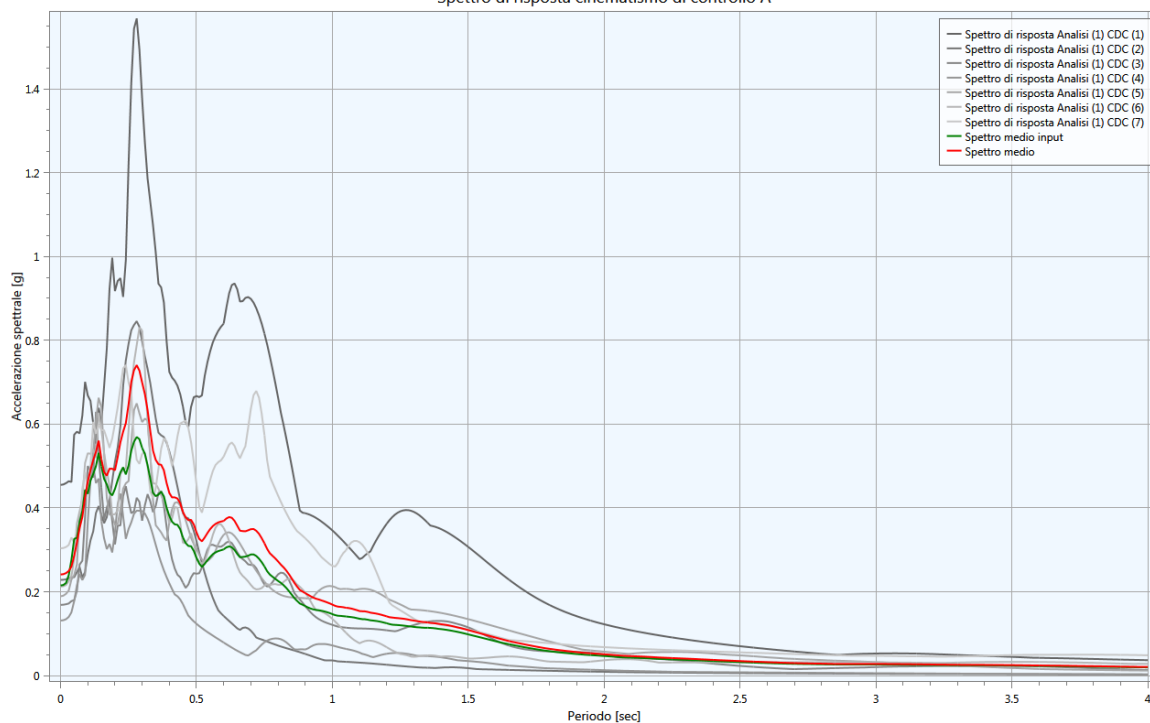


Sul modello predisposto, in corrispondenza del profilo topografico, sono stati individuati 10 punti significativi (nominati da A ad L nella figura che segue) nei quali è stata calcolata la risposta sismica in termini di accelerogrammi, spettri di risposta elastici e fattori di amplificazione:

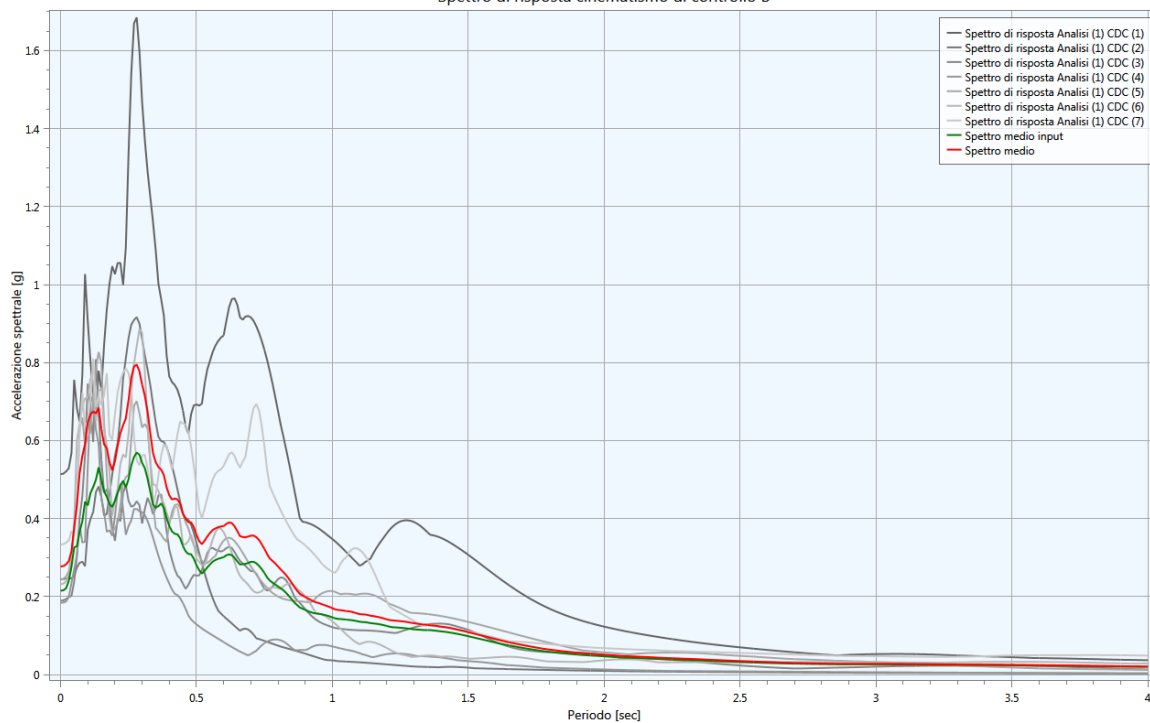


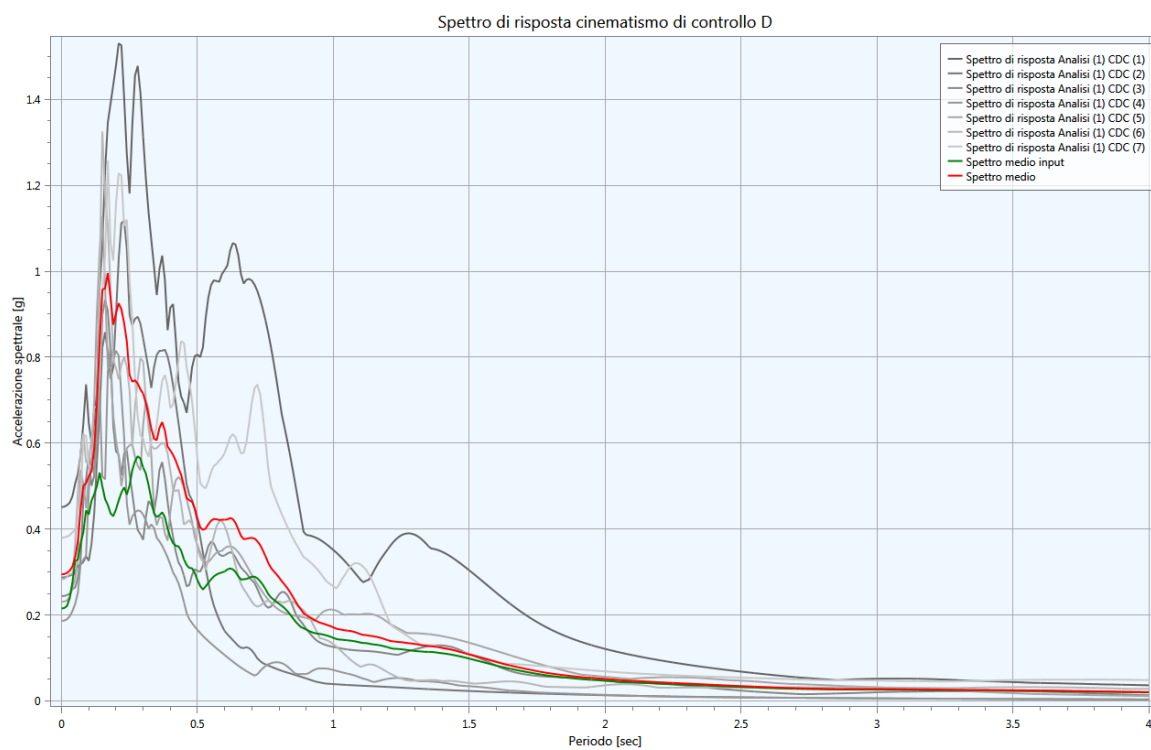
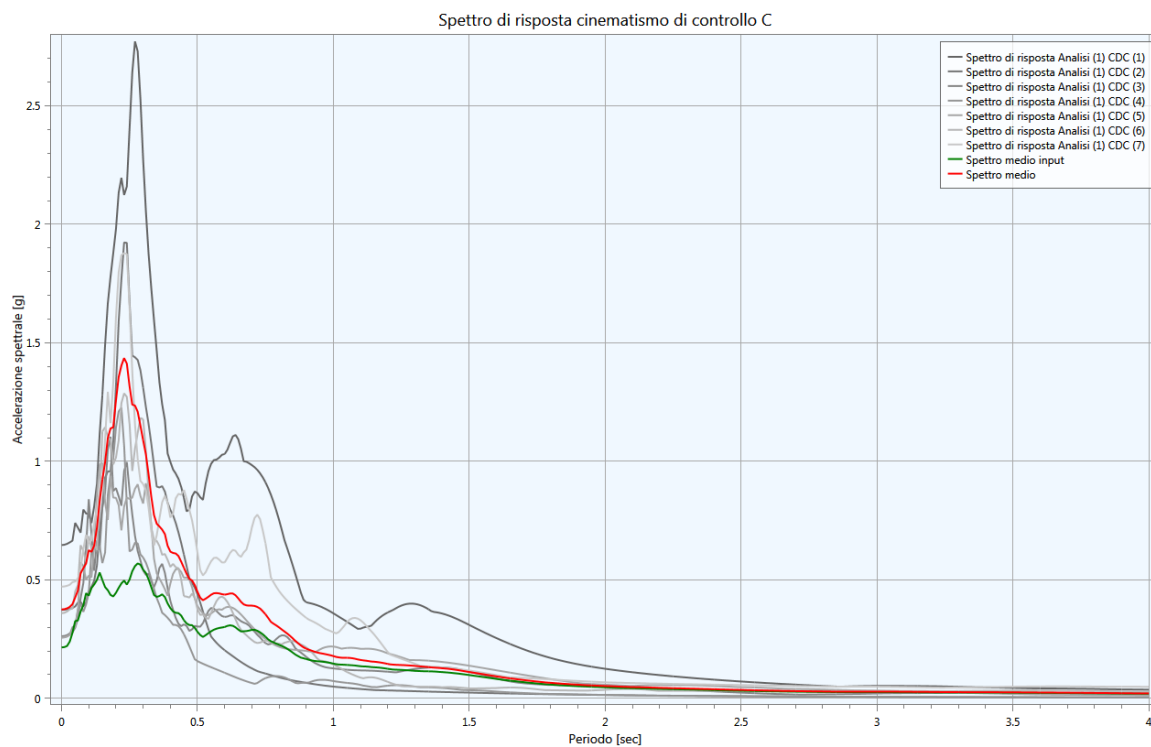
Di seguito si riportano i risultati della modellazione per ciascun punto di controllo in termini di spettri di risposta. Nei grafici seguenti con la linea verde è rappresentato lo spettro di risposta medio di input, con la linea rossa lo spettro di risposta medio di output e con le linee grigie gli spettri di risposta di output relativi ai 7 accelerogrammi utilizzati.

Spettro di risposta cinematicismo di controllo A

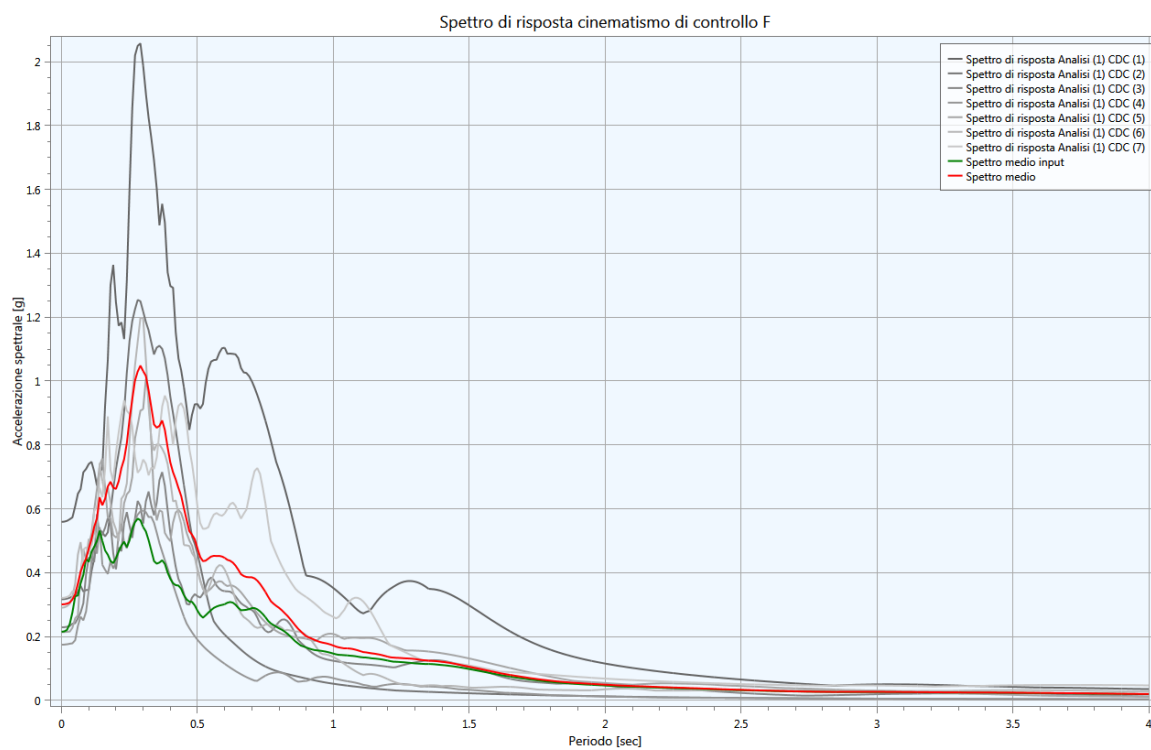
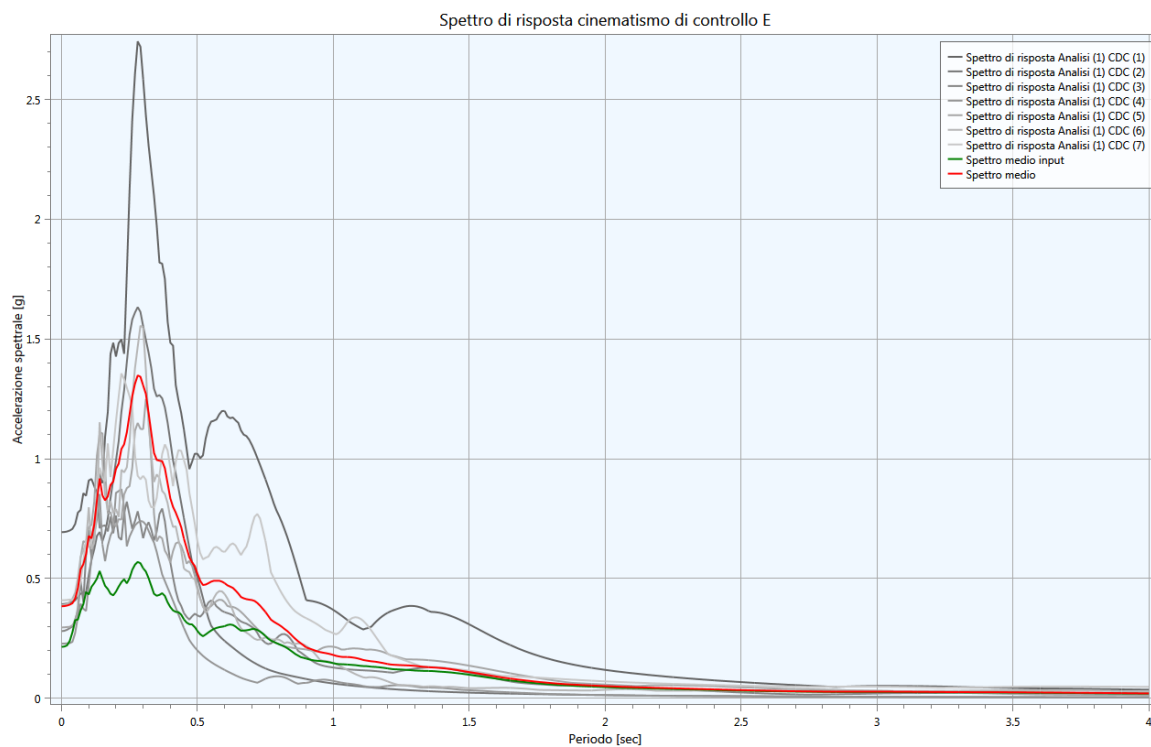


Spettro di risposta cinematicismo di controllo B

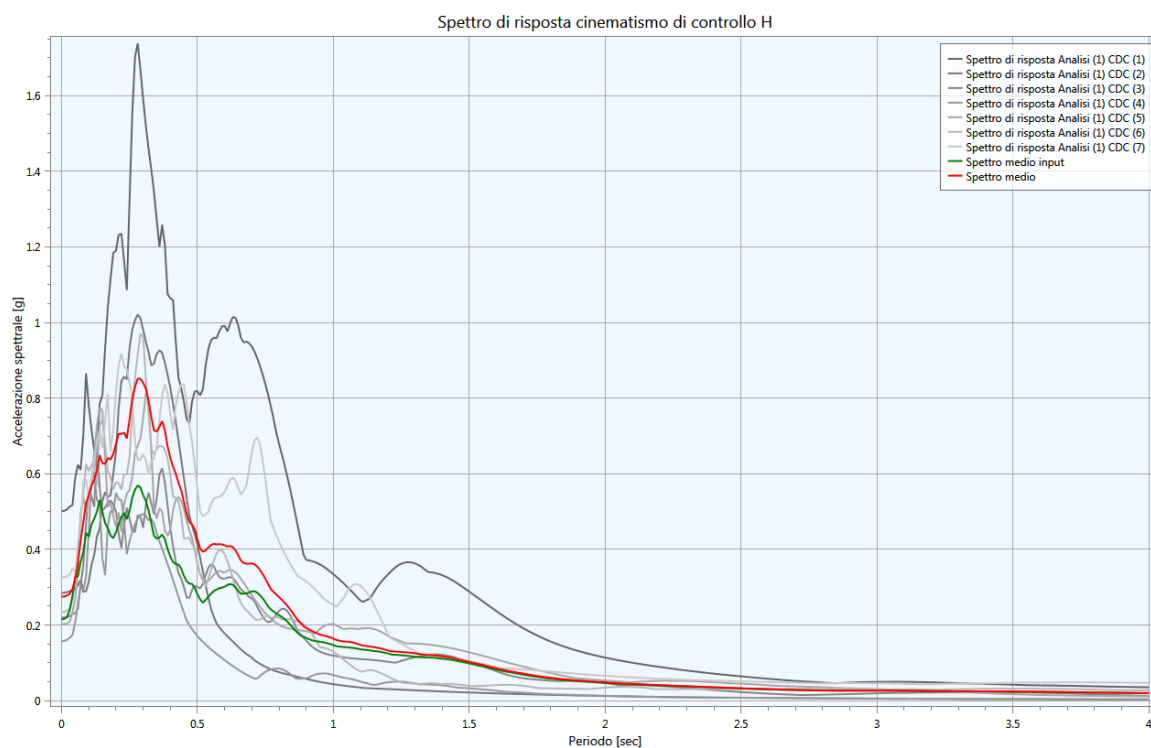
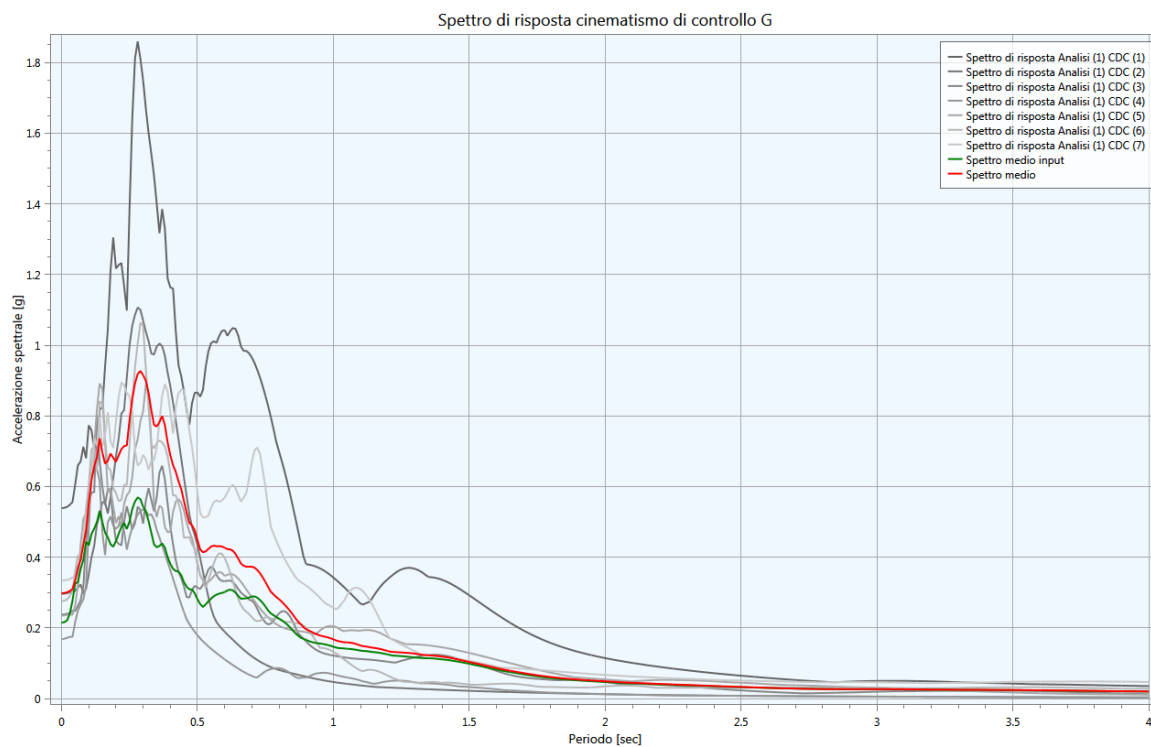


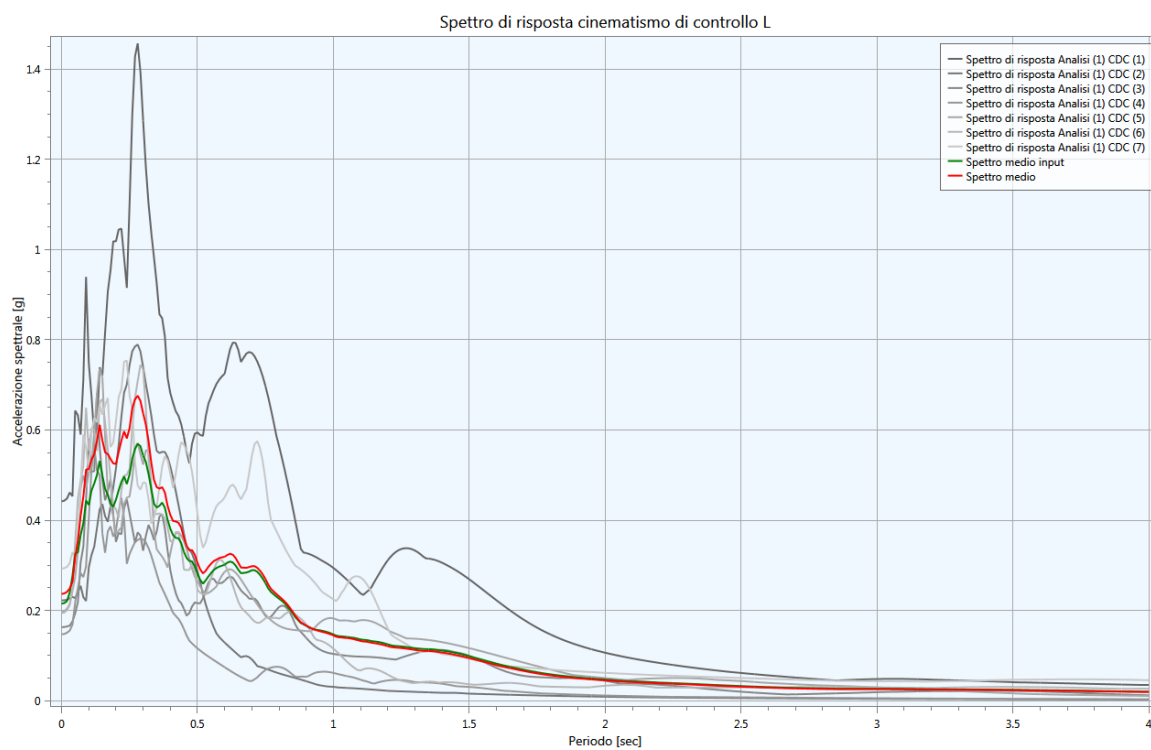
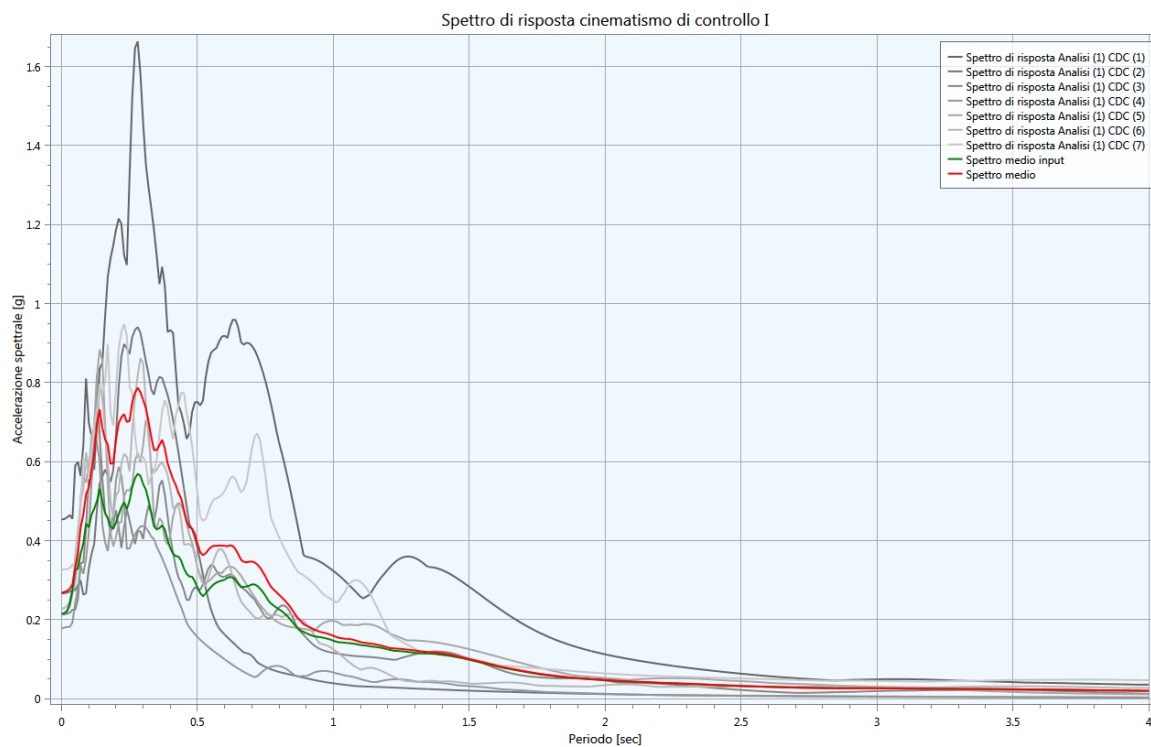




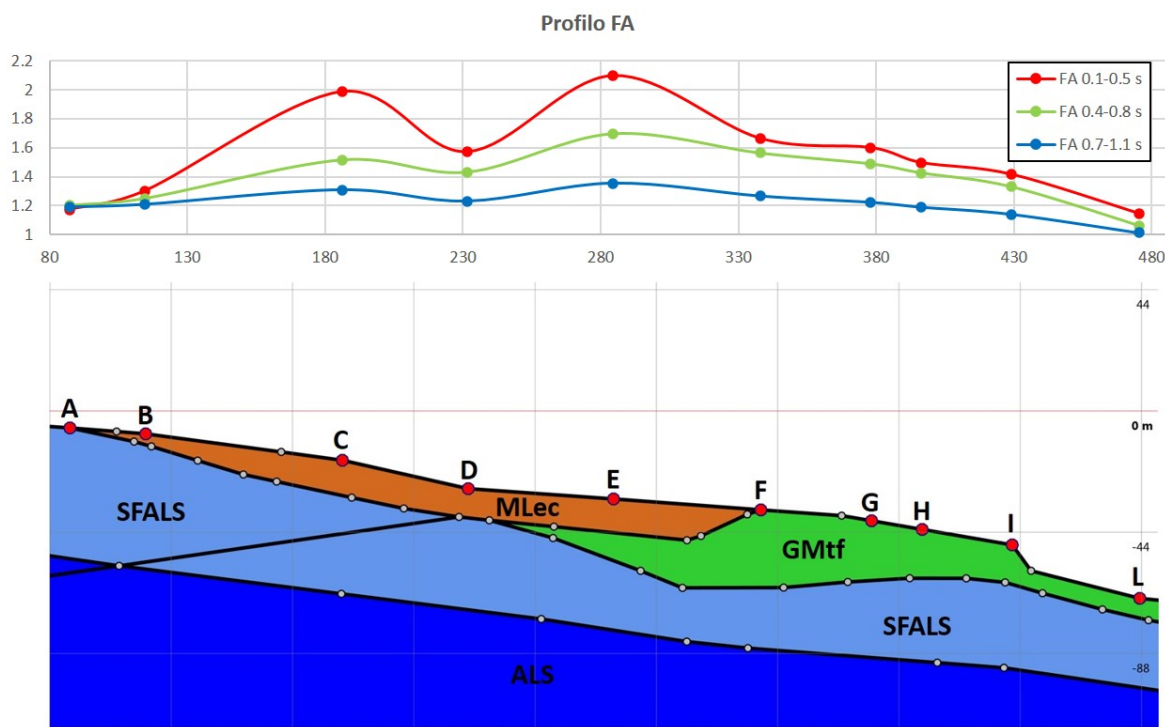








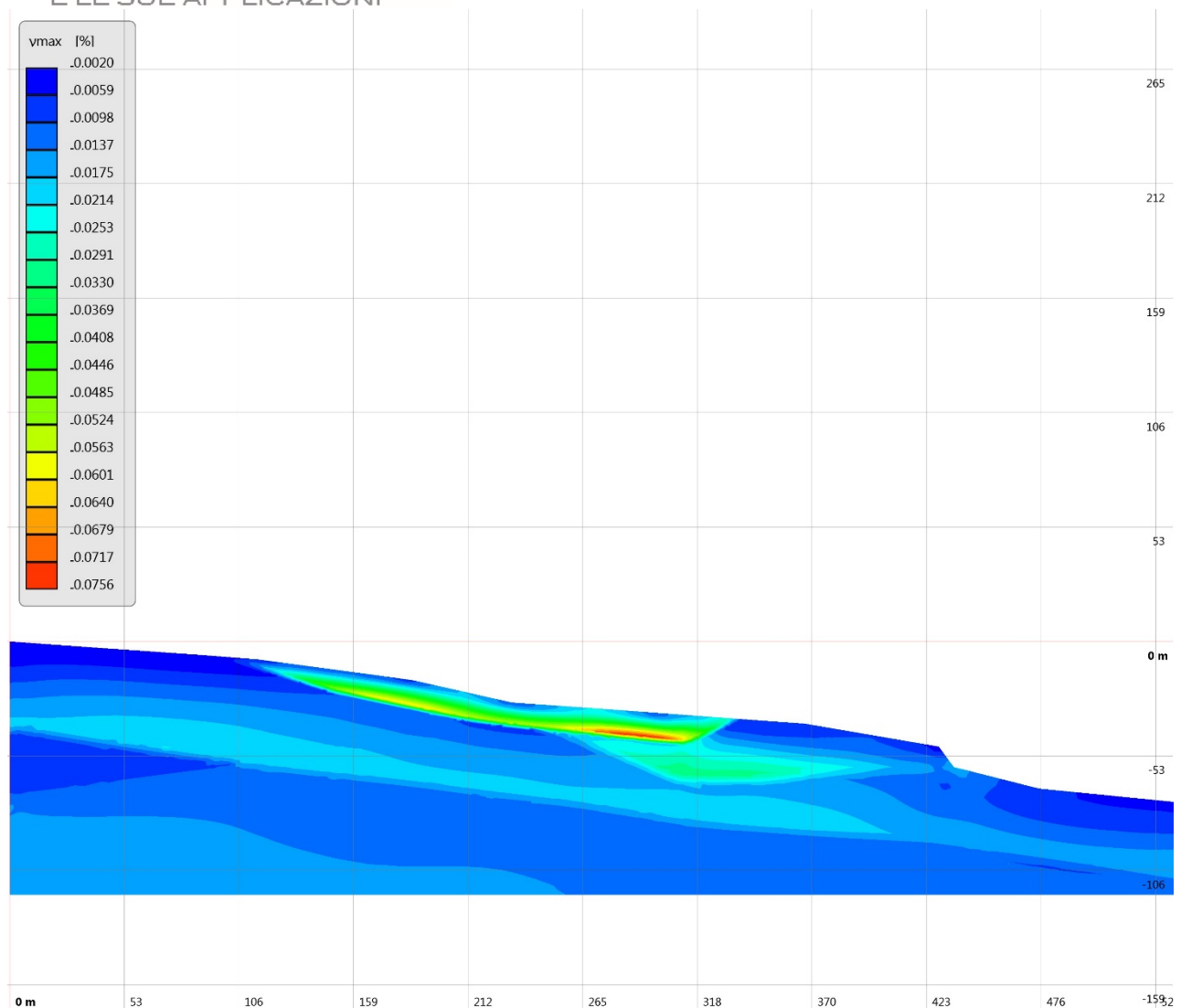
Di seguito si riportano i risultati della modellazione in termini di valori di FA. Nella figura seguente è rappresentato l'andamento dei valori di FA rispetto alla sezione modellata: la linea rossa rappresenta l'andamento dei valori riferiti all'intervallo di periodo 0.1-0.5 s, la linea verde all'intervallo 0.4-0.8 s, quella blu all'intervallo 0.7-1.1 s.



Nella tabella seguente alla figura tali valori sono riepilogati per ciascun punto di controllo, per i quali è anche specificato il valore in metri della distanza orizzontale rispetto al margine sinistro della sezione geologico-tecnica.

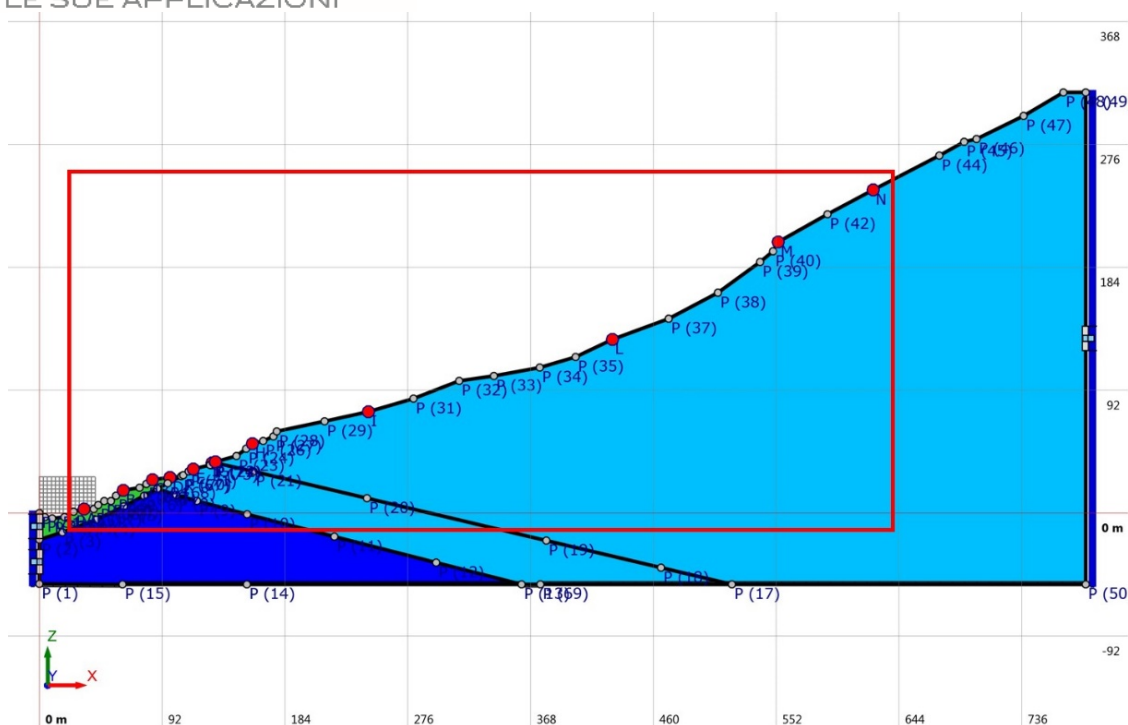
<b>FATTORI DI AMPLIFICAZIONE IN SUPERFICIE FREE-FIELD</b>										
<b>Punto analisi</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>L</b>
<b>X (m)</b>	87	115	186	232	284	338	378	396	429	475
<b>FA<sub>0.1-0.5</sub></b>	1.2	1.3	2.0	1.6	2.1	1.7	1.6	1.5	1.4	1.1
<b>FA<sub>0.4-0.8</sub></b>	1.2	1.2	1.5	1.4	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
<b>FA<sub>0.7-1.1</sub></b>	1.2	1.2	1.3	1.2	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0

Infine, come ultimo risultato dell'analisi RSL, viene qui di seguito mostrata la distribuzione dei valori di deformazione di taglio massimi all'interno della sezione analizzata ottenuti considerando la media dei valori ottenuti applicando i 7 accelerogrammi.

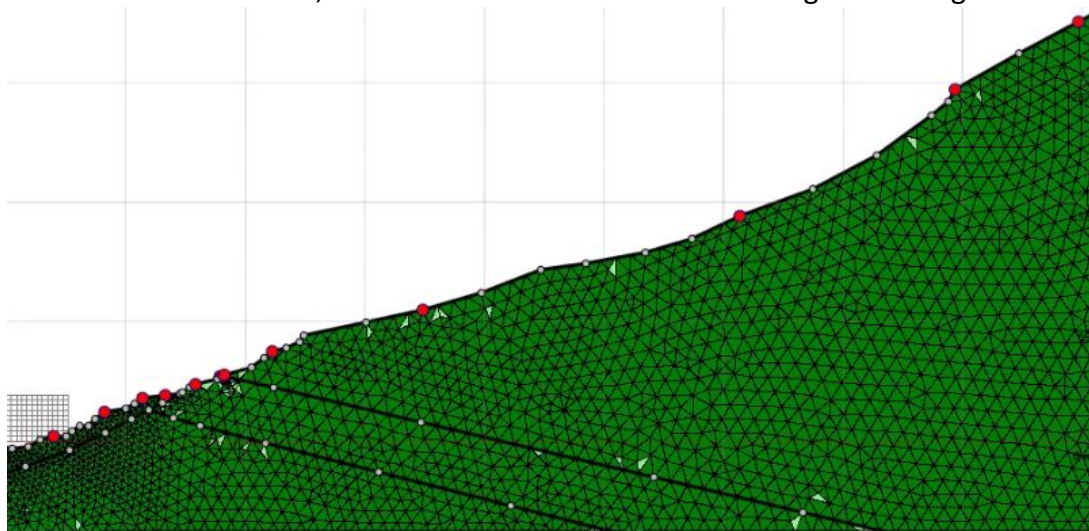


### Sezione Colle

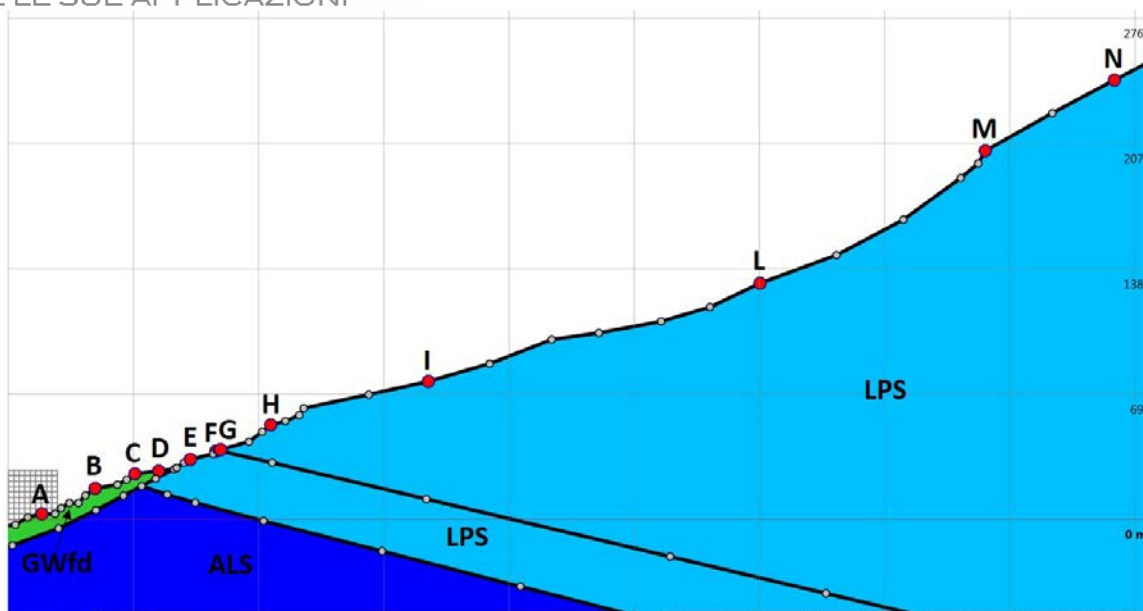
Per la costruzione del modello numerico bidimensionale per l'analisi, sono state ricostruite fedelmente le interfacce di separazione di ciascuna unità geologico-tecnica associando i parametri geofisici rappresentativi di ciascuna unità. Per quanto riguarda i bordi laterali, è stato applicato come condizione al contorno l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi della frontiera e i nodi di colonne monodimensionali in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Nella figura vengono indicati con colore diverso le geometrie delle unità geologico-tecniche considerate nella modellazione. Il riquadro in rosso indica la parte della sezione interessata dallo studio di Microzonazione Sismica.



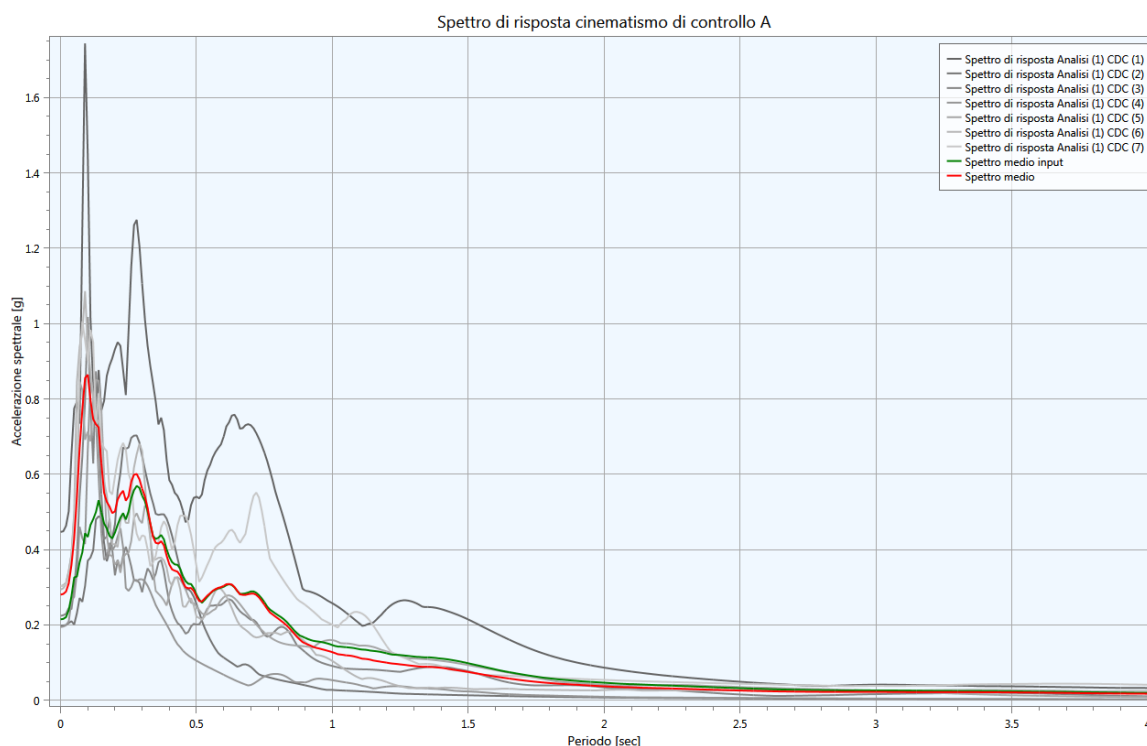
Il modello è stato discretizzato attraverso una mesh ad elementi finiti di forma triangolare composta da n. 2568 nodi e 4867 elementi, la cui distribuzione è indicata nella figura che segue:



Sul modello predisposto, in corrispondenza del profilo topografico, sono stati individuati 12 punti significativi (nominati da A a N nella figura che segue) nei quali è stata calcolata la risposta sismica in termini di accelerogrammi, spettri di risposta elastici e fattori di amplificazione:

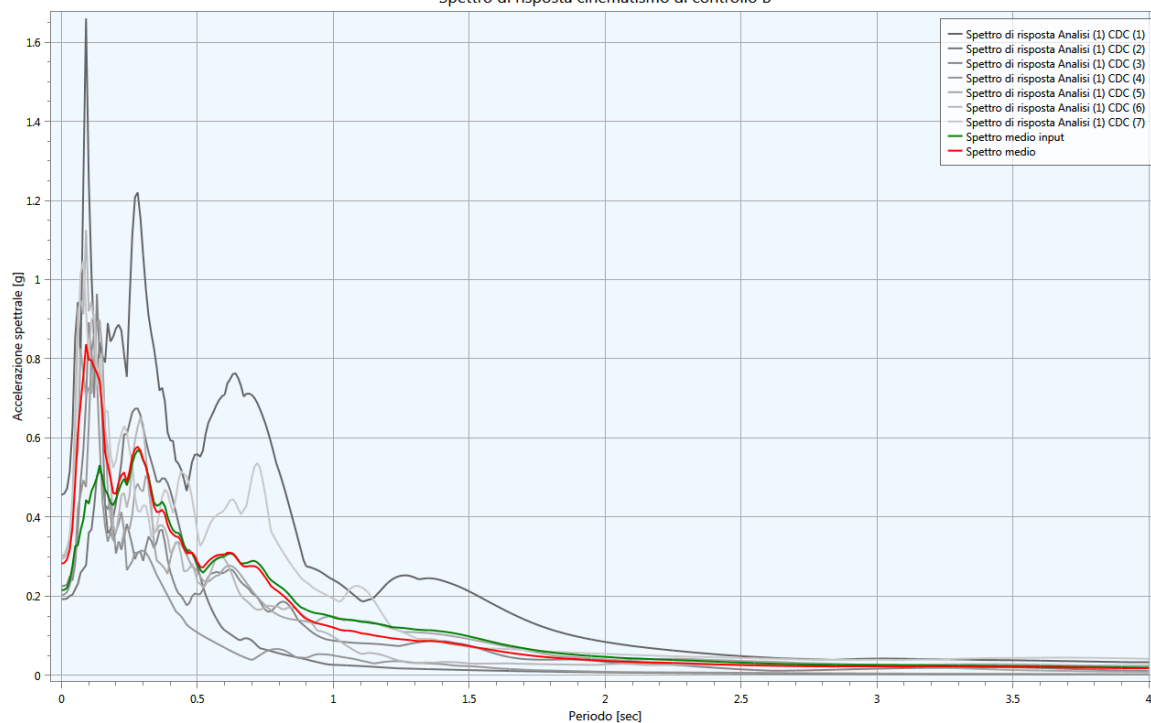


Di seguito si riportano i risultati della modellazione per ciascun punto di controllo in termini di spettri di risposta. Nei grafici seguenti con la linea verde è rappresentato lo spettro di risposta medio di input, con la linea rossa lo spettro di risposta medio di output e con le linee grigie gli spettri di risposta di output relativi ai 7 accelerogrammi utilizzati.

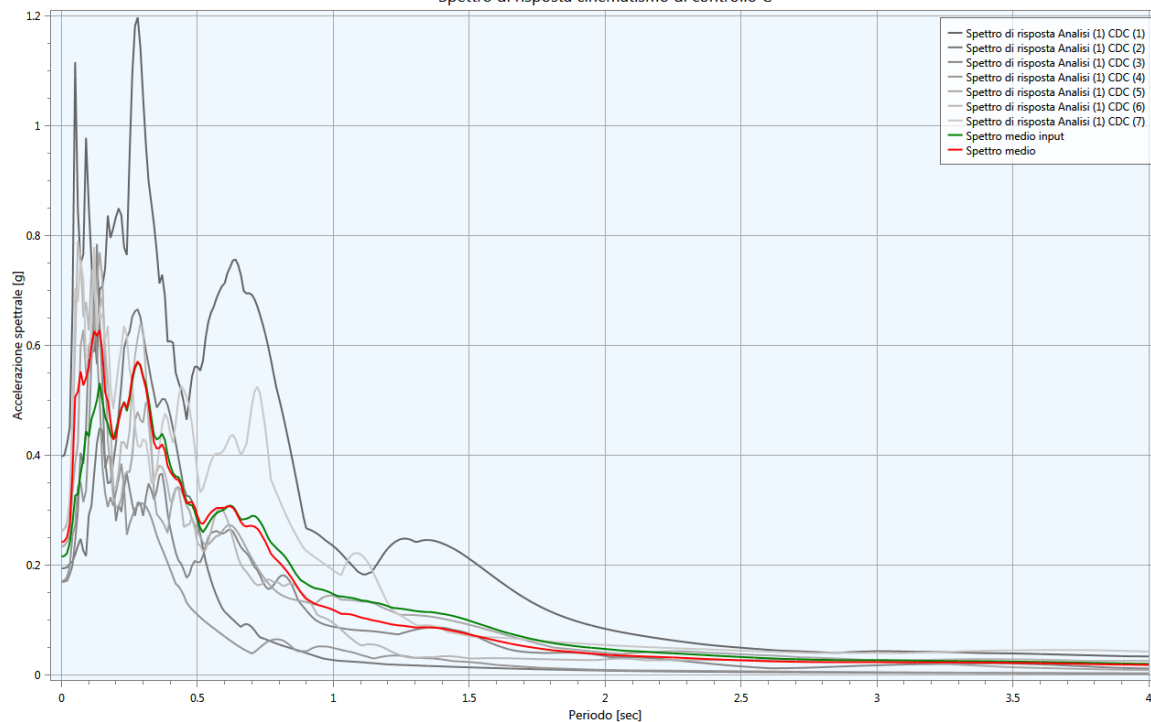




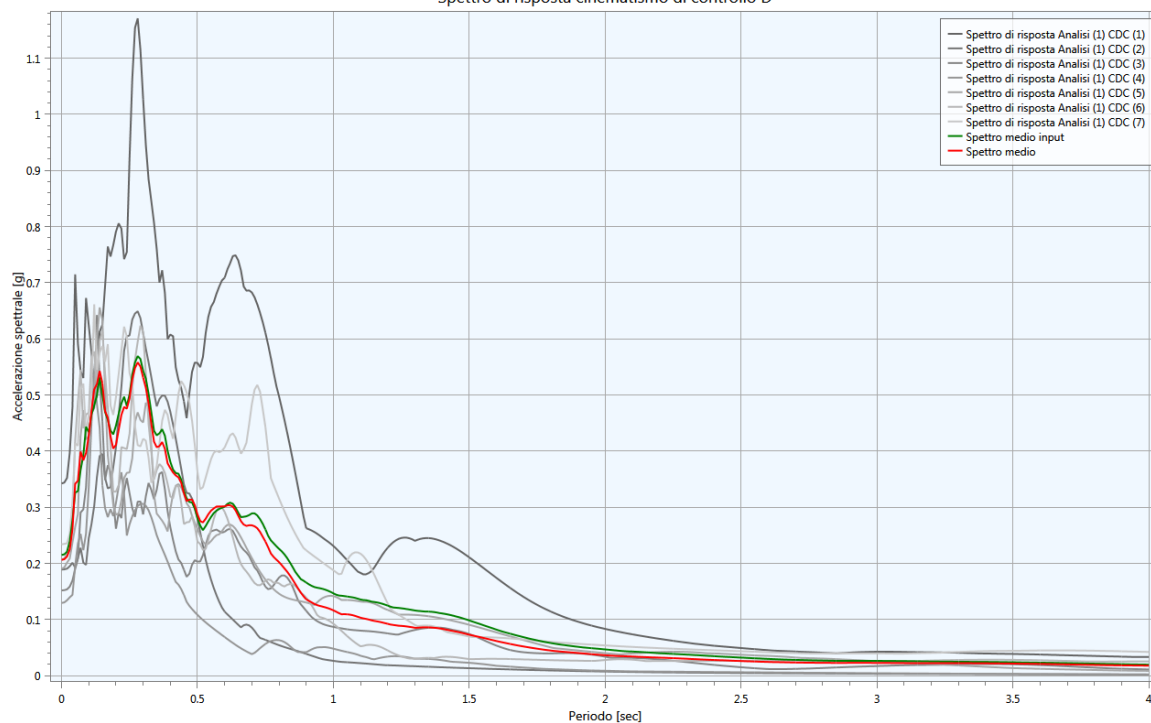
Spettro di risposta cinematicismo di controllo B



Spettro di risposta cinematicismo di controllo C



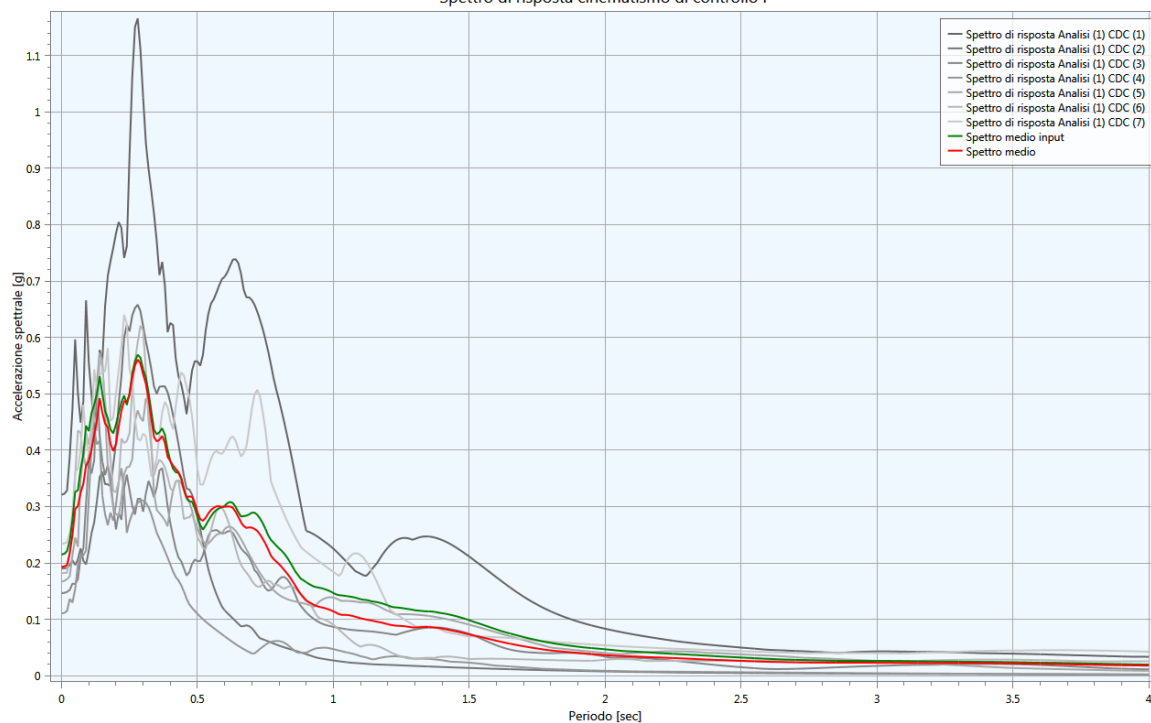
Spettro di risposta cinematico di controllo D



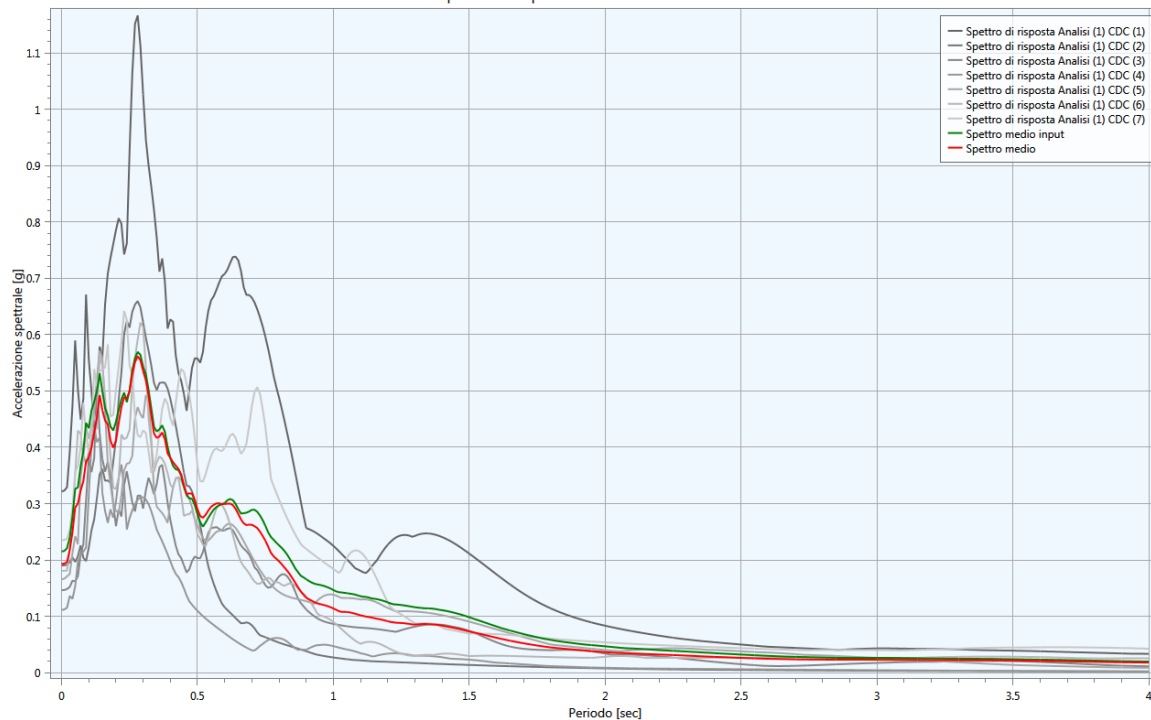
Spettro di risposta cinematico di controllo E



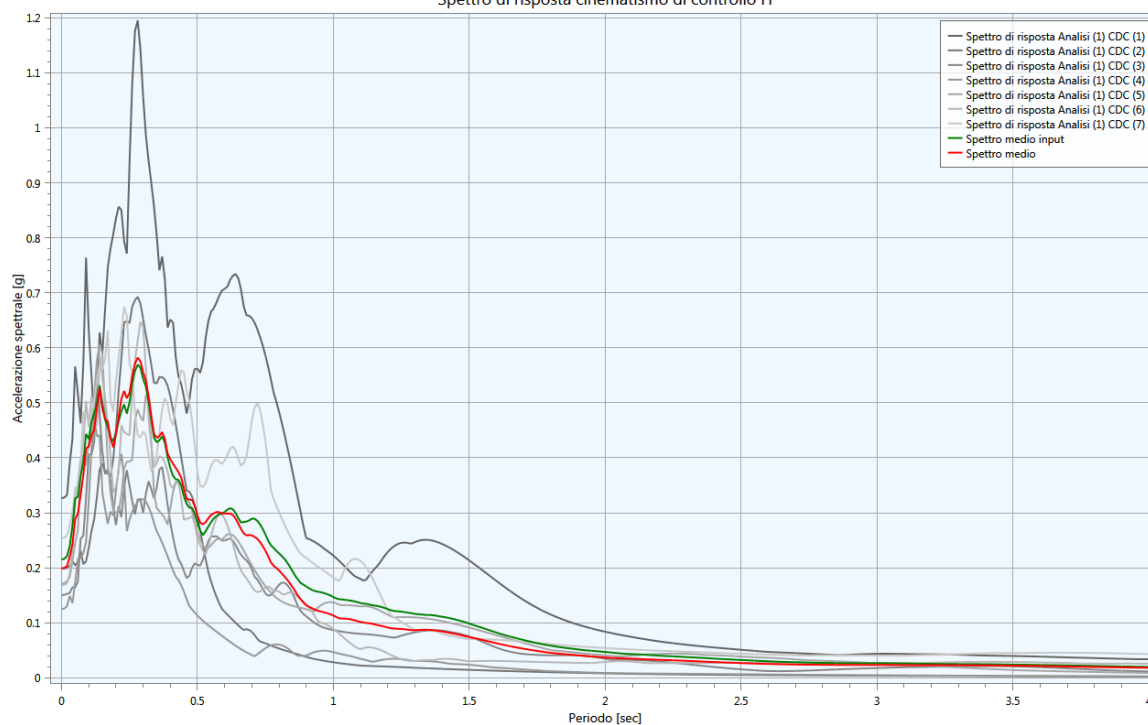
Spettro di risposta cinematicismo di controllo F



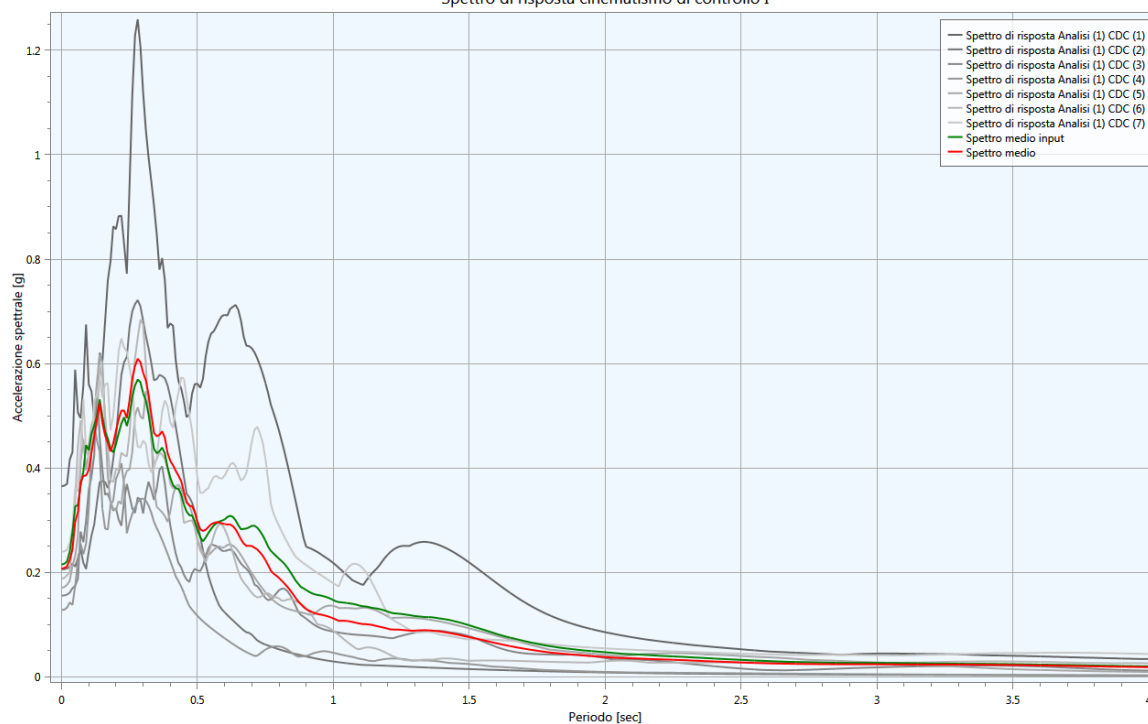
Spettro di risposta cinematicismo di controllo G



Spettro di risposta cinematicismo di controllo H



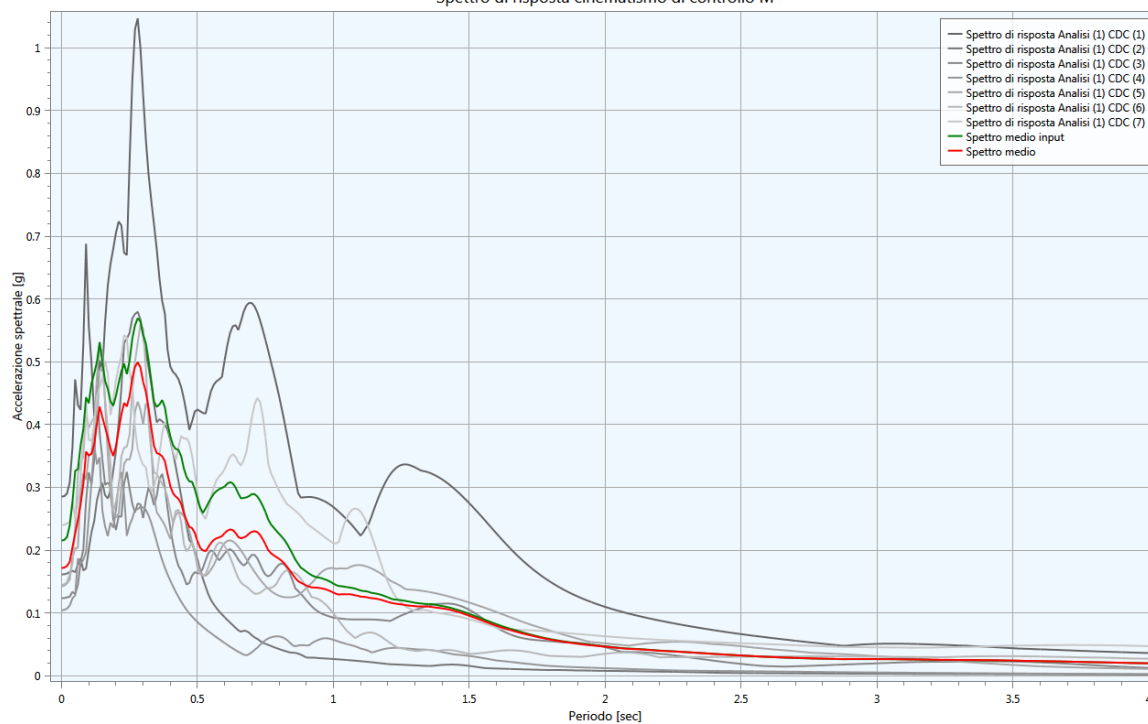
Spettro di risposta cinematicismo di controllo I

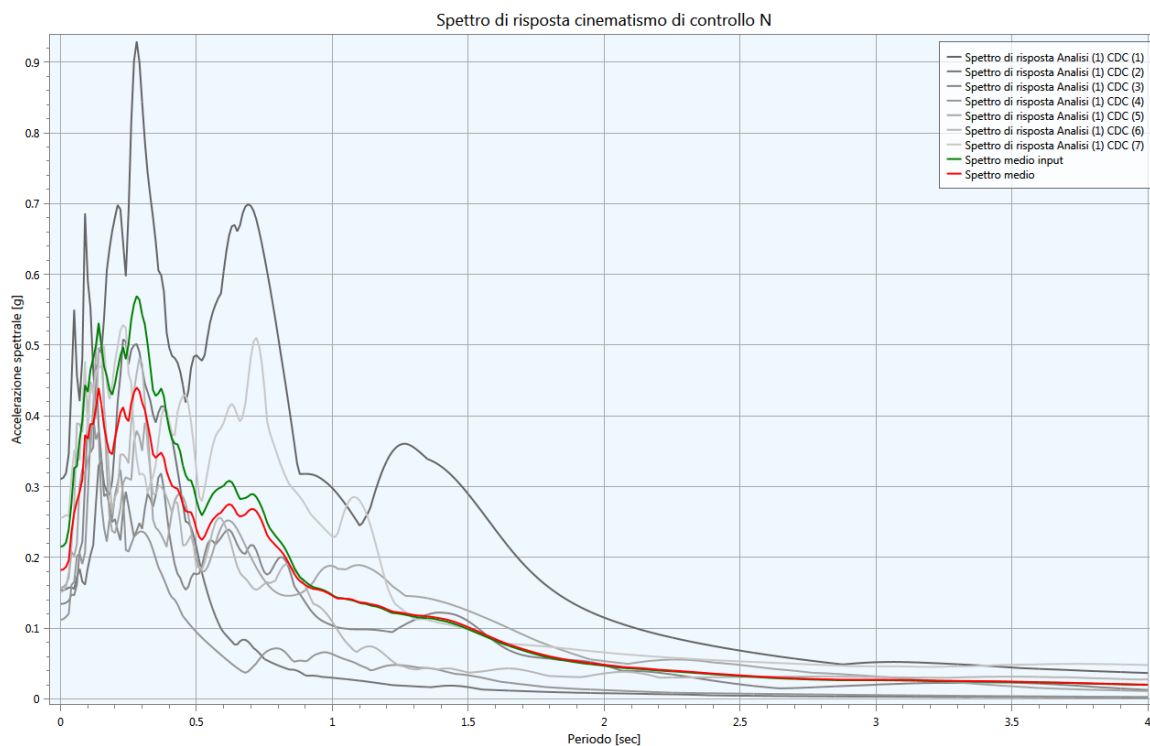


Spettro di risposta cinematicismo di controllo L

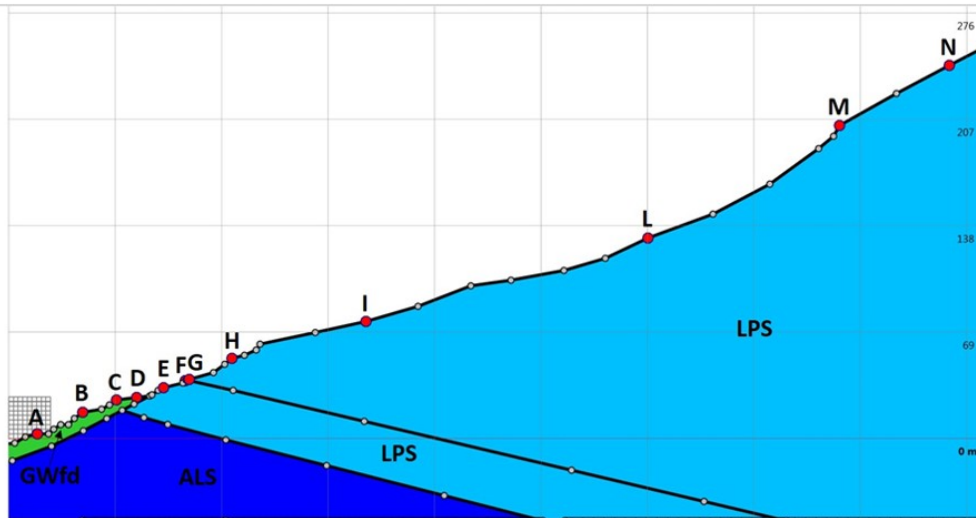
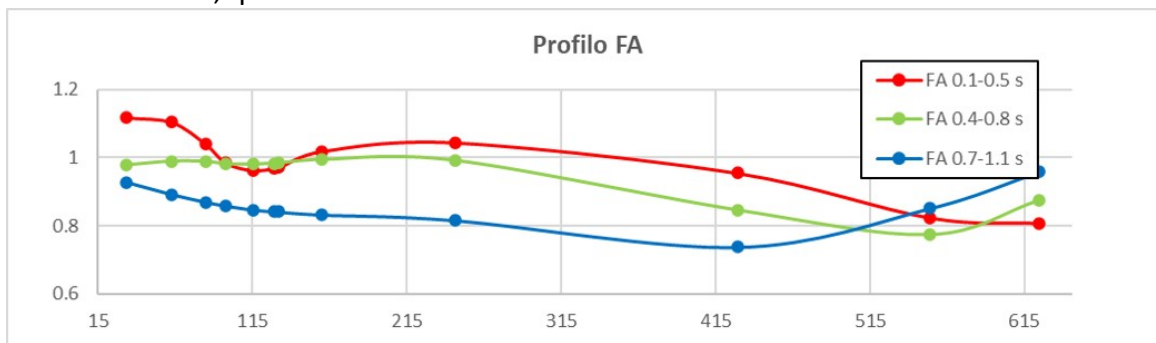


Spettro di risposta cinematicismo di controllo M





Di seguito si riportano i risultati della modellazione in termini di valori di FA. Nella figura seguente è rappresentato l'andamento dei valori di FA rispetto alla sezione modellata: la linea rossa rappresenta l'andamento dei valori riferiti all'intervallo di periodo 0.1-0.5 s, la linea verde all'intervallo 0.4-0.8 s, quella blu all'intervallo 0.7-1.1 s.

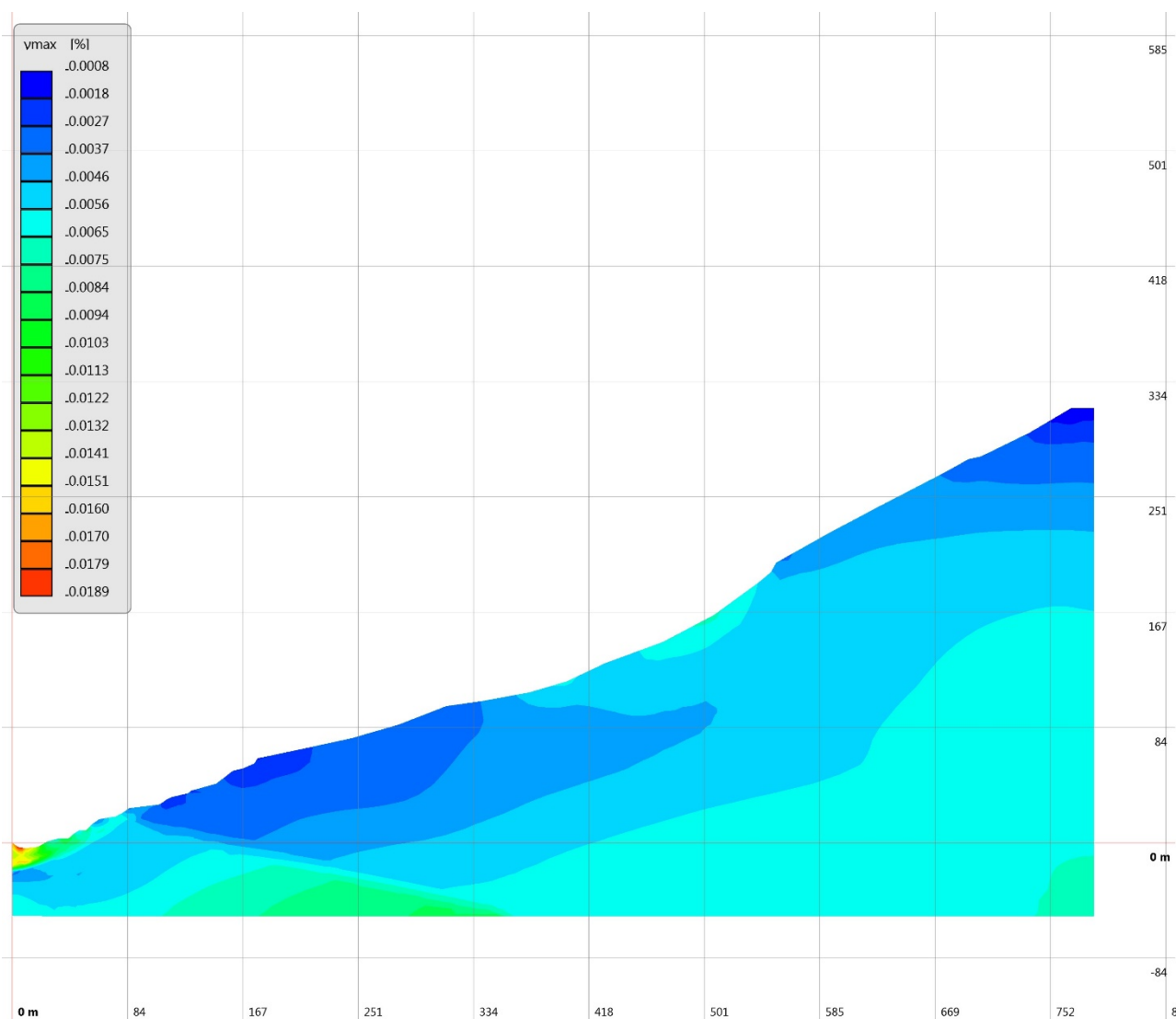




Nella tabella seguente alla figura tali valori sono riepilogati per ciascun punto di controllo, per i quali è anche specificato il valore in metri della distanza orizzontale rispetto al margine sinistro della sezione geologico-tecnica.

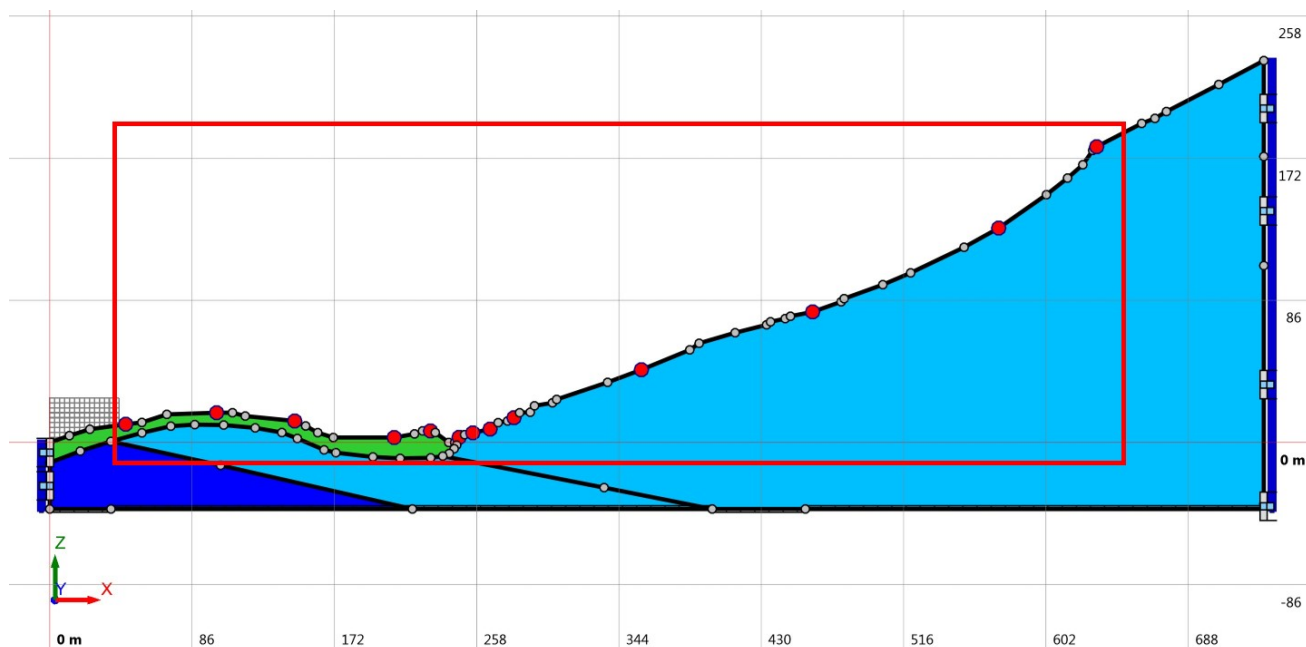
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE IN SUPERFICIE FREE-FIELD												
Punto analisi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N
<b>X (m)</b>	33	63	85	98	115	129	132	160	247	429	554	625
<b>FA<sub>0.1-0.5</sub></b>	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8
<b>FA<sub>0.4-0.8</sub></b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.9
<b>FA<sub>0.7-1.1</sub></b>	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	1.0

Infine, come ultimo risultato dell'analisi RSL, viene qui di seguito mostrata la distribuzione dei valori di deformazione di taglio massimi all'interno della sezione analizzata ottenuti considerando la media dei valori ottenuti applicando i 7 accelerogrammi.

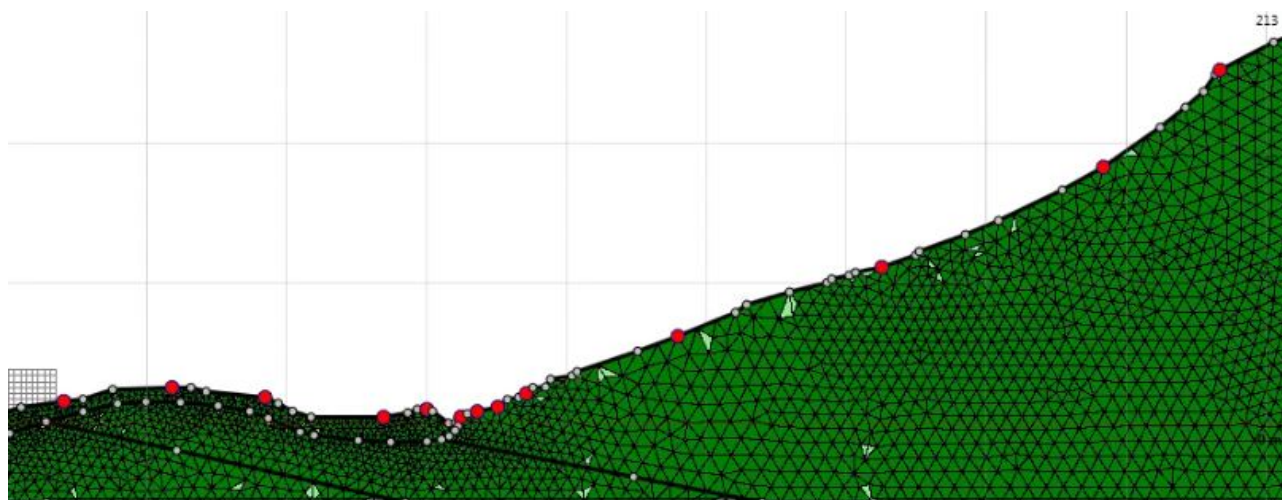


### Sezione Valle

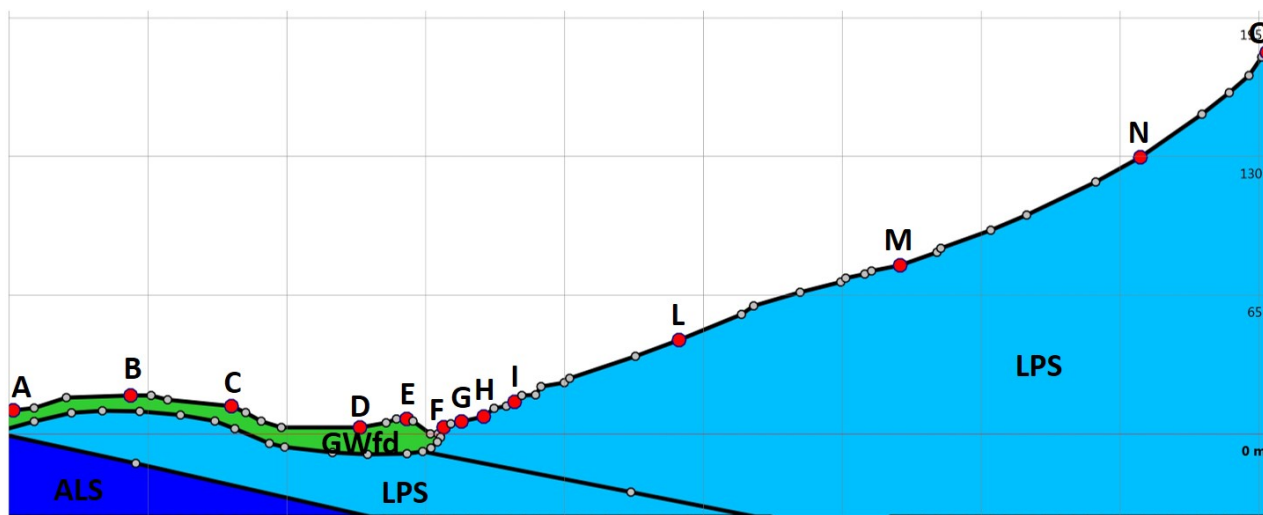
Per la costruzione del modello numerico bidimensionale per l'analisi, sono state ricostruite fedelmente le interfacce di separazione di ciascuna unità geologico-tecnica associando i parametri geofisici rappresentativi di ciascuna unità. Per quanto riguarda i bordi laterali, è stato applicato come condizione al contorno l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi della frontiera e i nodi di colonne monodimensionali in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Nella figura vengono indicati con colore diverso le geometrie delle unità geologico-tecniche considerate nella modellazione. Il riquadro in rosso indica la parte della sezione interessata dallo studio di Microzonazione Sismica.



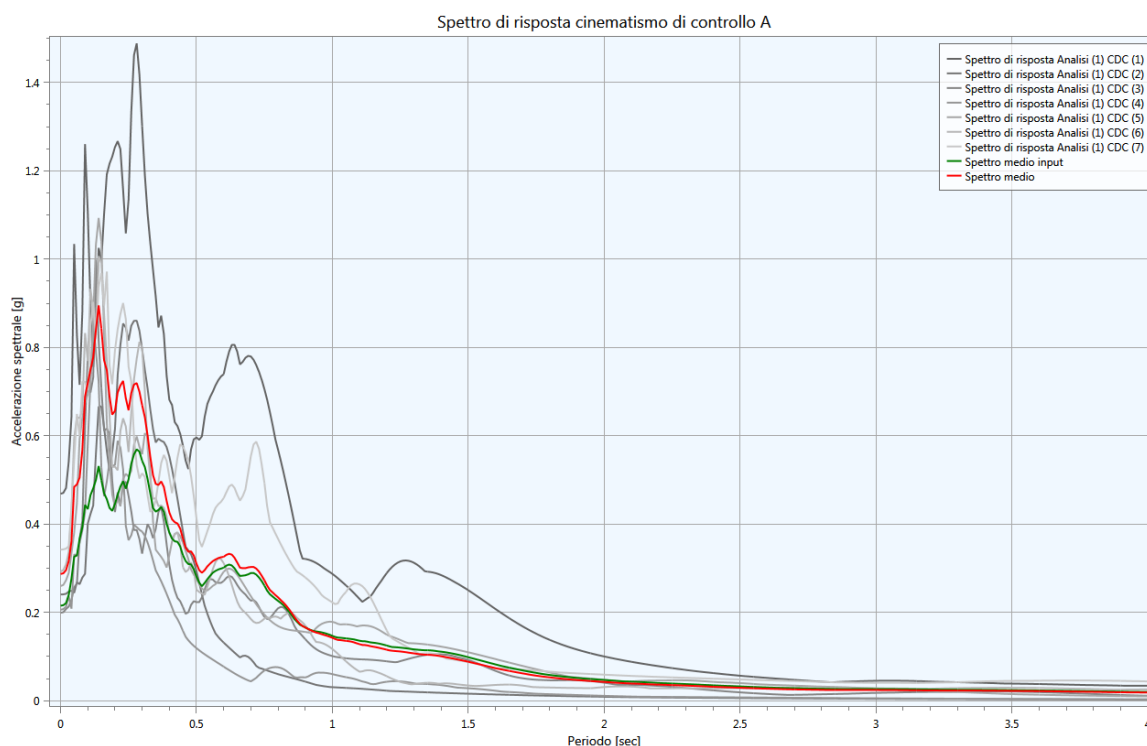
Il modello è stato discretizzato attraverso una mesh ad elementi finiti di forma triangolare composta da n. 2151 nodi e 4034 elementi, la cui distribuzione è indicata nella figura che segue:

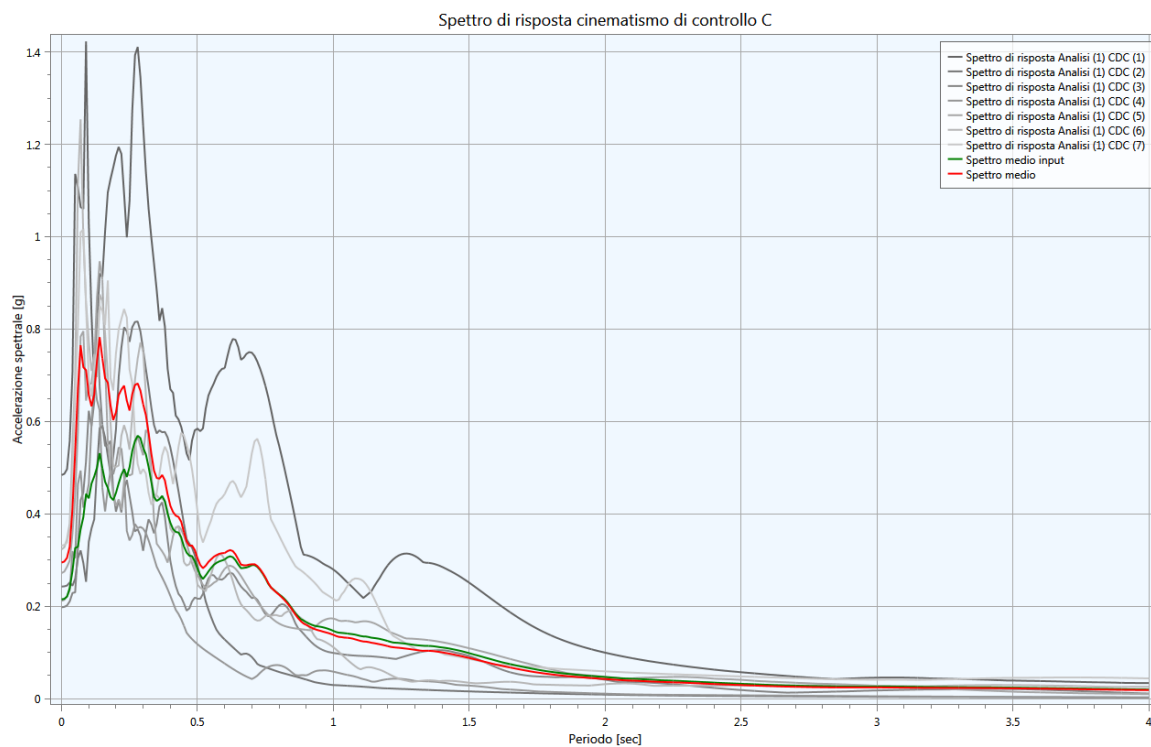
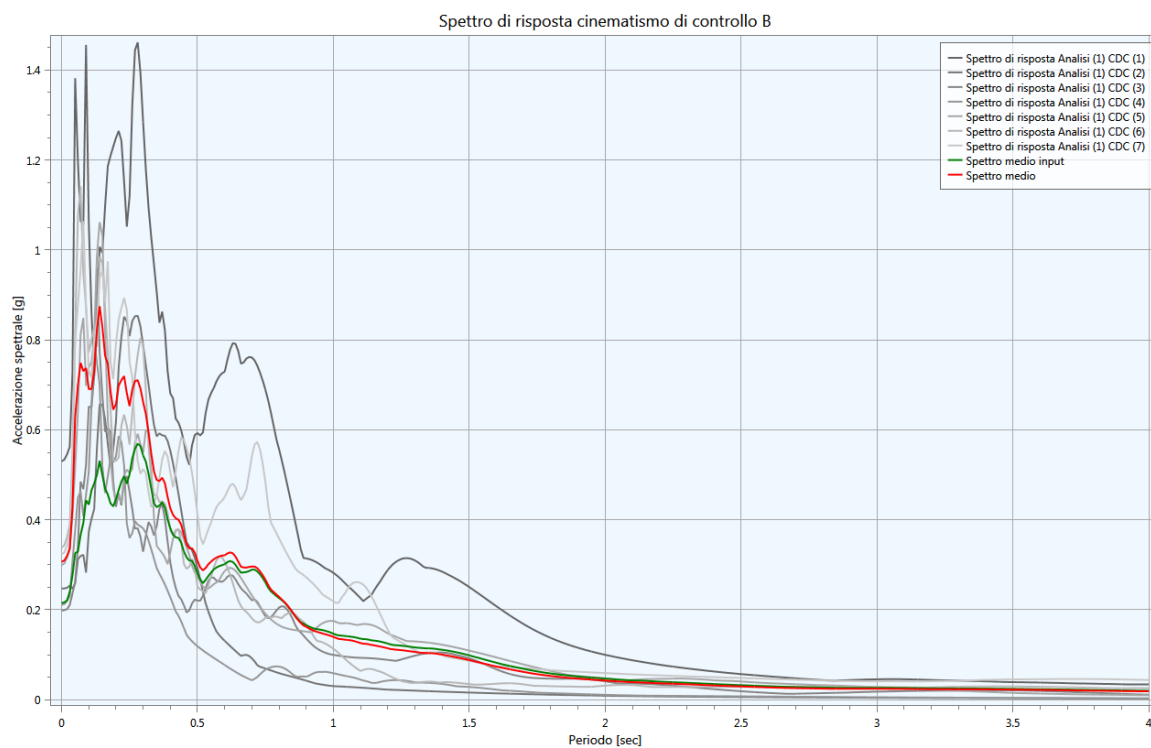


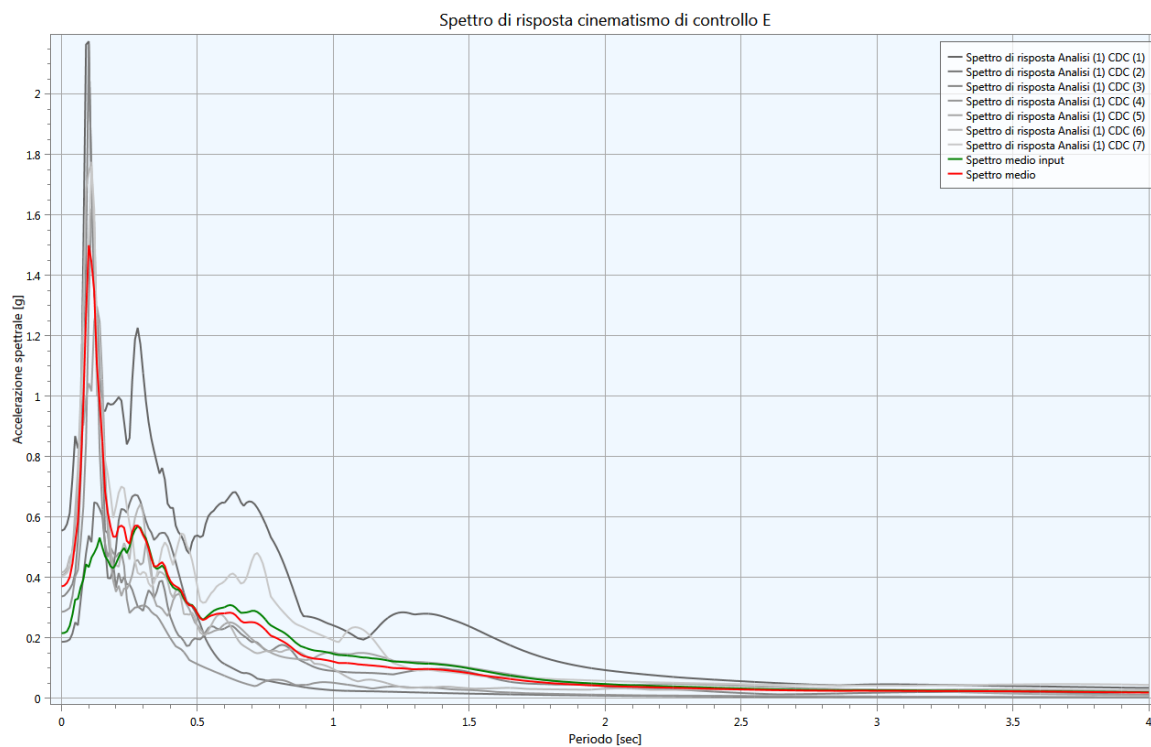
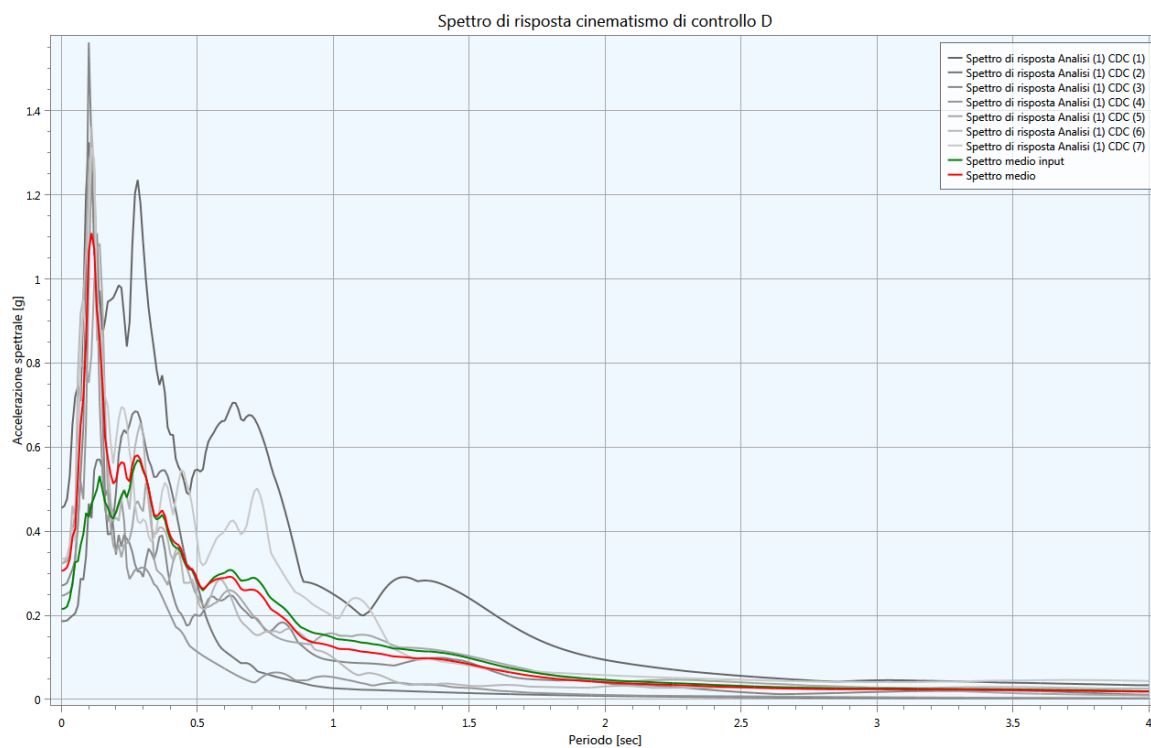
Sul modello predisposto, in corrispondenza del profilo topografico, sono stati individuati 13 punti significativi (nominati da A ad O nella figura che segue) nei quali è stata calcolata la risposta sismica in termini di accelerogrammi, spettri di risposta elastici e fattori di amplificazione:

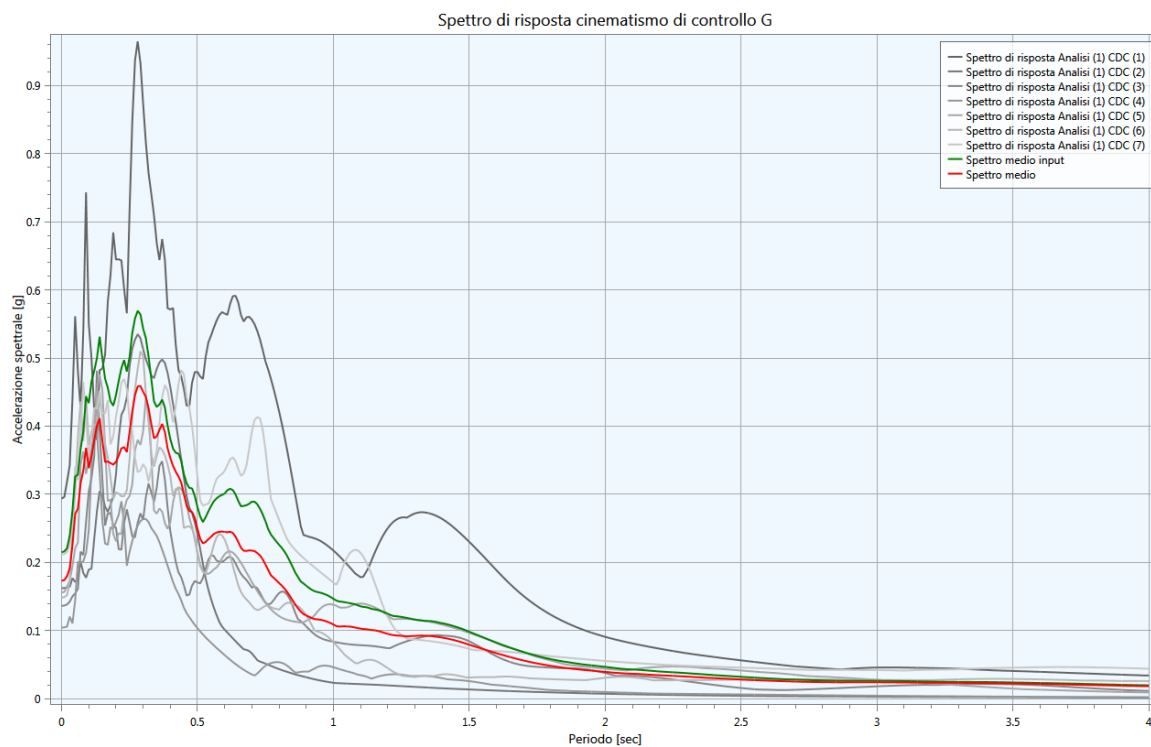
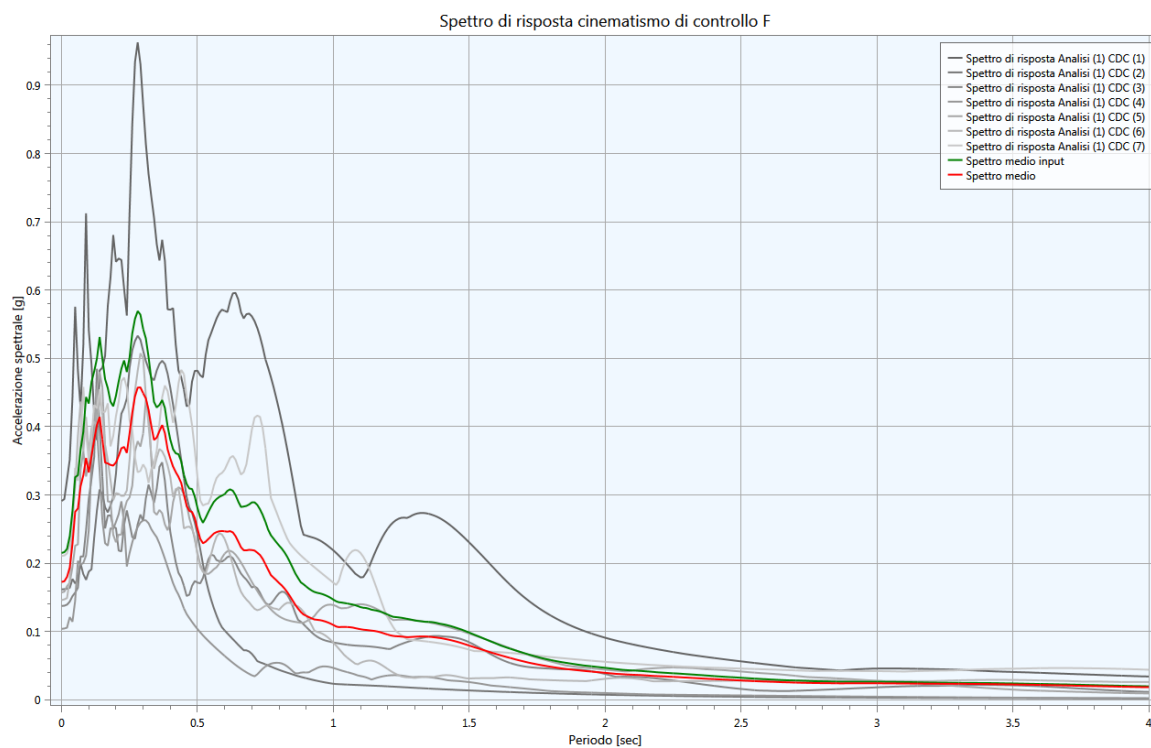


Di seguito si riportano i risultati della modellazione per ciascun punto di controllo in termini di spettri di risposta. Nei grafici seguenti con la linea verde è rappresentato lo spettro di risposta medio di input, con la linea rossa lo spettro di risposta medio di output e con le linee grigie gli spettri di risposta di output relativi ai 7 accelerogrammi utilizzati.

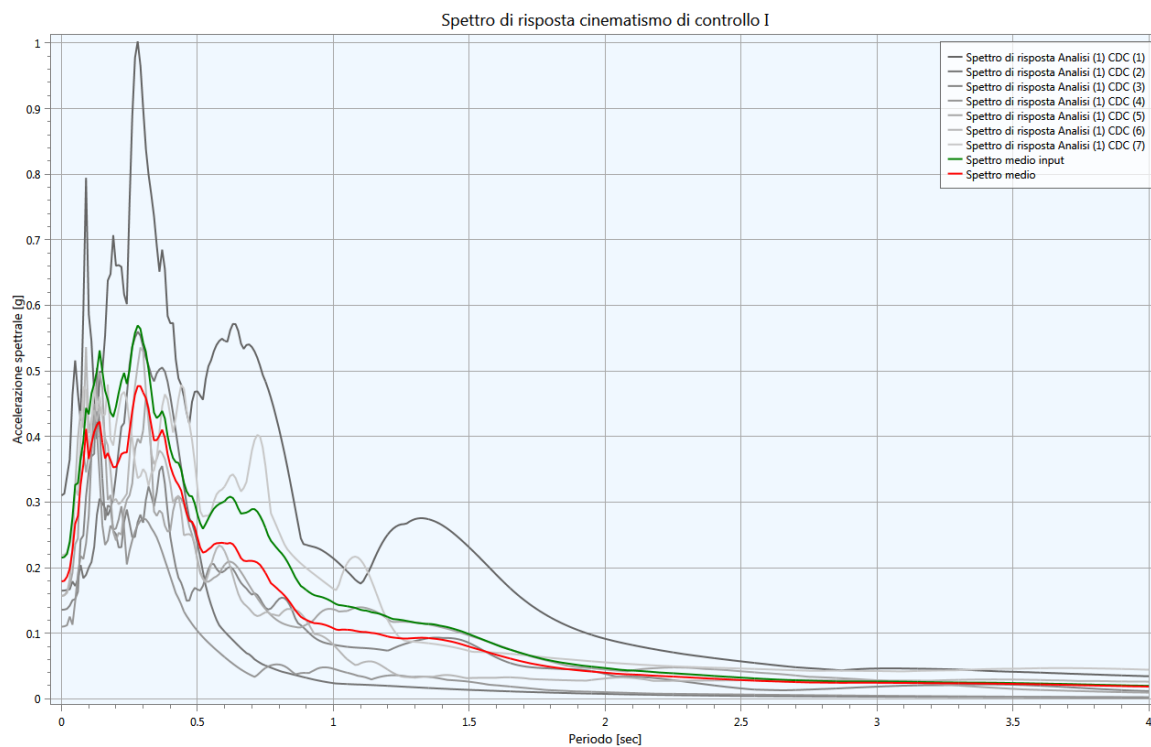
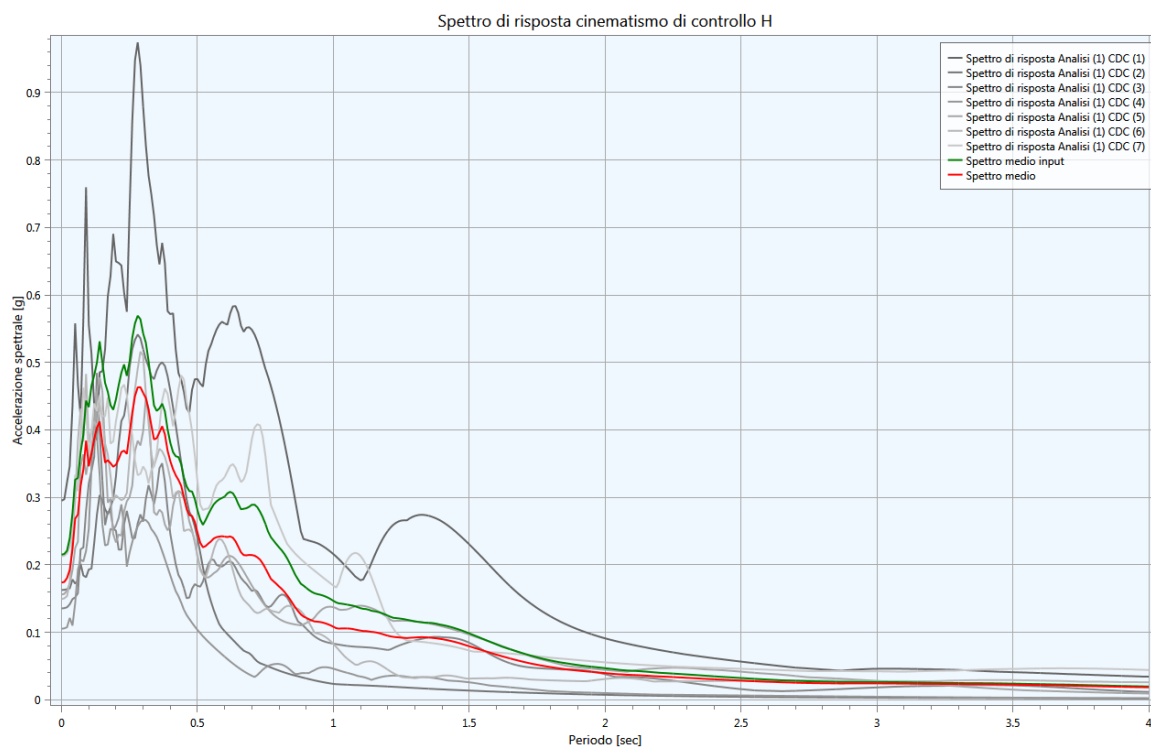


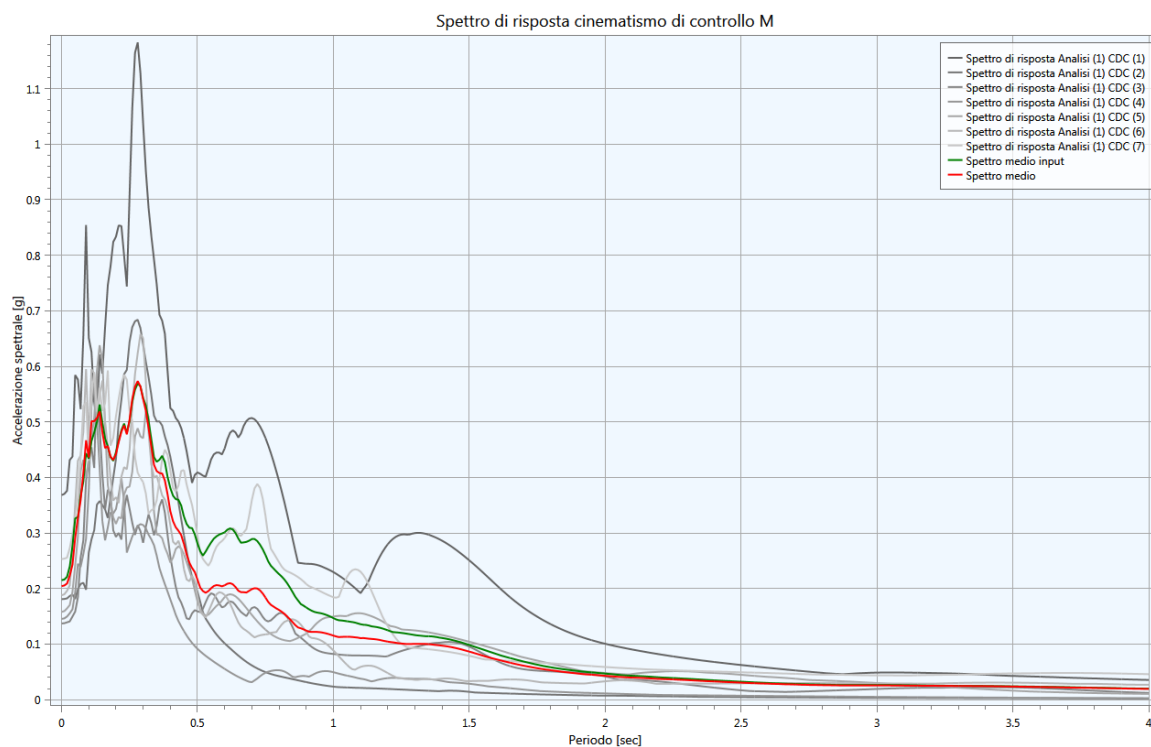
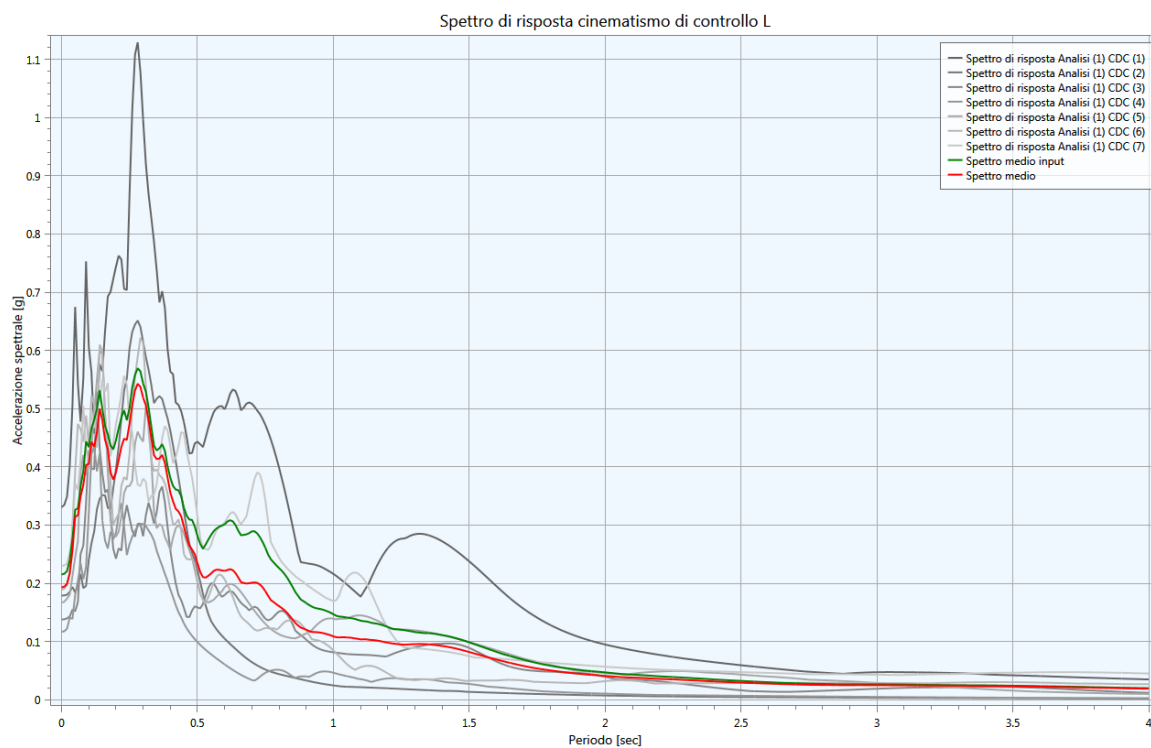


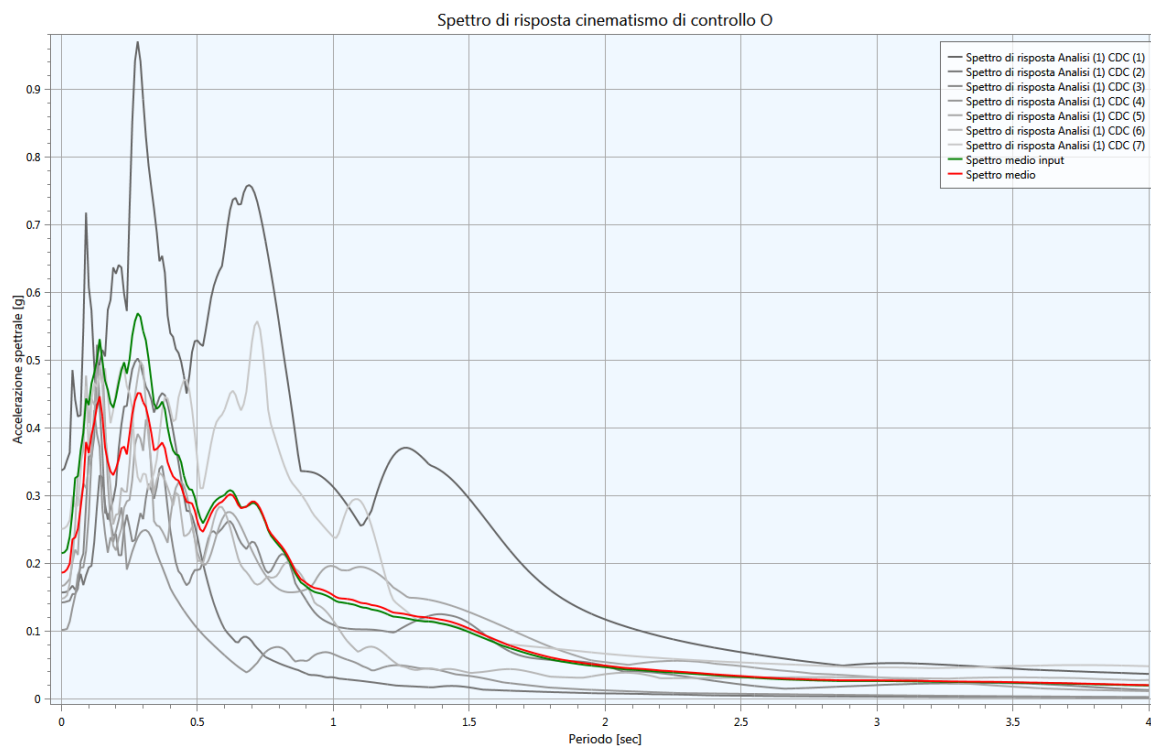
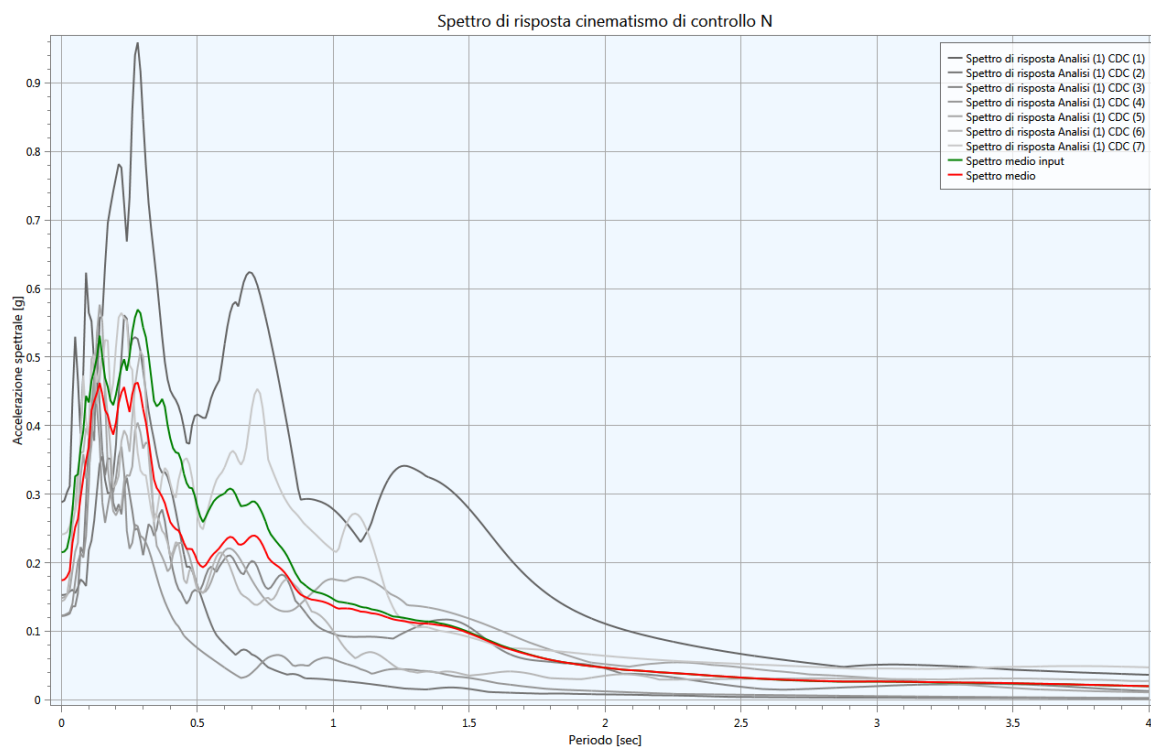




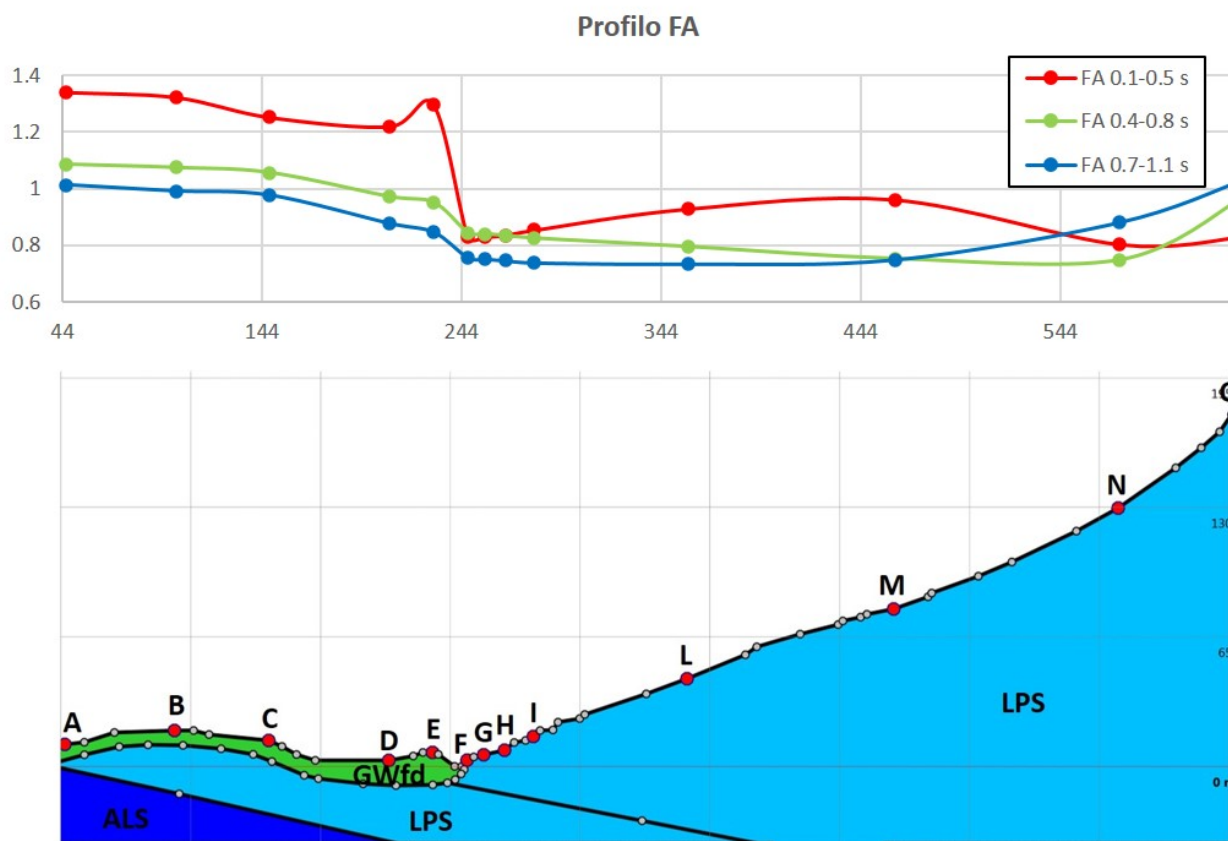








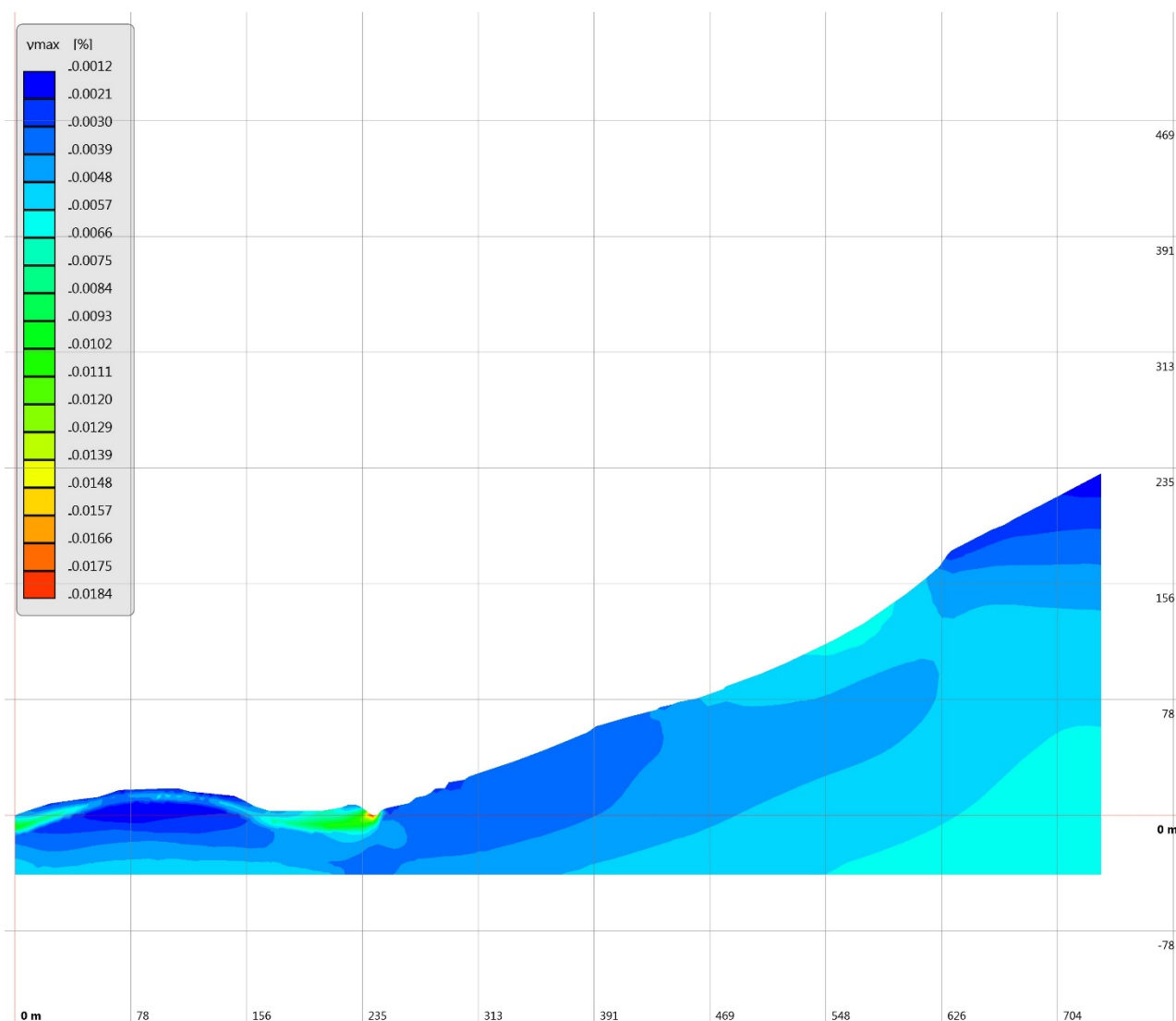
Di seguito si riportano i risultati della modellazione in termini di valori di FA. Nella figura seguente è rappresentato l'andamento dei valori di FA rispetto alla sezione modellata: la linea rossa rappresenta l'andamento dei valori riferiti all'intervallo di periodo 0.1-0.5 s, la linea verde all'intervallo 0.4-0.8 s, quella blu all'intervallo 0.7-1.1 s.



Nella tabella seguente alla figura tali valori sono riepilogati per ciascun punto di controllo, per i quali è anche specificato il valore in metri della distanza orizzontale rispetto al margine sinistro della sezione geologico-tecnica.

<b>FATTORI DI AMPLIFICAZIONE IN SUPERFICIE FREE-FIELD</b>													
<b>Punto analisi</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>O</b>
<b>X (m)</b>	46	101	148	208	230	247	256	266	281	358	461	573	633
<b>FA<sub>0.1-0.5</sub></b>	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	0.8	0.8
<b>FA<sub>0.4-0.8</sub></b>	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	1.0
<b>FA<sub>0.7-1.1</sub></b>	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0

Infine, come ultimo risultato dell'analisi RSL, viene qui di seguito mostrata la distribuzione dei valori di deformazione di taglio massimi all'interno della sezione analizzata ottenuti considerando la media dei valori ottenuti applicando i 7 accelerogrammi.



**Banche dati allegate:**

**Output\_acc.rar:** Accelerogrammi calcolati a piano campagna per ciascun punto di analisi e espressi in g riferiti a ciascun accelerogramma di input con  $\Delta T$  di 0.005 s raggruppati per le tre sezioni analizzate.

**Output\_spe.rar:** Spettri di risposta elastici in accelerazione calcolati a piano campagna per ciascun punto di analisi e espressi in g riferiti a ciascun accelerogramma di input raggruppati per le tre sezioni analizzate. Sono inoltre presenti gli spettri medi di input e di output.

#### **4. Condizioni di stabilità dei versanti**

Per quanto riguarda la valutazione delle condizioni di stabilità dei versanti, riferita alle tre sezioni oggetto di approfondimento, si rileva quanto segue:

- Sezione “Castello Pallotta”: il professionista incaricato afferma che, sulla base del modello geologico e geotecnico ricostruito tramite rilievi di sito ed indagini, non sussistono condizioni di criticità e, pertanto, non ha condotto analisi di stabilità preliminari. Il centroMS, nel rispetto della responsabilità in capo al professionista, non ha pertanto potuto condurre analisi più approfondite. E’ tuttavia importante segnalare che il centroMS, anche grazie ai sopralluoghi effettuati in sito nella prima fase del lavoro, condivide sostanzialmente le affermazioni del professionista in quanto non si rilevano evidenze di campo che mettano in luce la presenza di dissesti in atto (attivi o quiescenti) né sussistono le condizioni geometriche e geotecniche per l’insorgenza di fenomeni significativi.
- Sezioni “colle” e “valle” Valcimarra: il professionista, sulla base delle attività da egli condotte, giunge alla conclusione che in entrambi i casi si tratti di frane relitte e che, per definizione, non possono essere riattivate nelle attuali condizioni morfo-climatiche. Oltre a condividere sostanzialmente tale affermazione e sempre nel rispetto dell’autonomia del professionista incaricato, il centroMS vuole anche sottolineare che l’eventuale sensibilità alla forzante sismica di siffatti versanti e dei processi di instabilità non potrebbe essere comunque valutata con metodi semplificati, richiedendo invece approcci numerici tensio-deformativi estremamente più complessi e che richiedono specifiche e più onerose indagini.



## **5. Considerazioni conclusive**

Sulla base di quanto descritto nei paragrafi precedenti il Professionista Affidatario dell'incarico dovrà utilizzare i risultati conseguiti per la prosecuzione delle proprie attività e la realizzazione degli elaborati oggetto della Consegna Finale.

In particolare, si ricorda che sarà necessario procedere all'aggiornamento dello studio di microzonazione sismica esistente secondo quanto previsto nel disciplinare sottoscritto.

Per il Comune di Caldarola (località Castello Pallotta – Colle Valcimarra – Valle Valcimarra) sono state analizzate tre sezioni rappresentative, la sezione Castello, la sezione Colle e la sezione Valle.

La sezione Castello ha mostrato una variabilità maggiore (compresa tra 1.1 e 2.1) nei valori di FA riferiti all'intervallo di periodo 0.1-0.5 s, ma anche una variabilità significativa per i valori riferiti all'intervallo 0.4-0.8 s. Tale variabilità è molto probabilmente legata allo spessore delle unità di copertura MLec e GMtf. In particolare, per quanto riguarda l'intervallo 0.1-0.5 s, i valori maggiori si riscontrano per i punti di controllo C (2.0) ed E (2.1), situati sui depositi colluviali MLec. Per l'intervallo 0.4-0.8 s, i valori maggiori si rilevano nel punto E (1.7) e F (1.6), dove lo spessore complessivo delle coperture raggiunge i valori massimi (25-30 m). Al contrario, i valori più bassi (1.1-1.3) sono associati ai punti di controllo A, B ed L, caratterizzati rispettivamente dall'assenza e dagli spessori minimi (5-8 m) dei materiali di copertura. L'andamento dei valori di FA riferiti all'intervallo di periodo 0.7-1.1 s risulta simile a quelli identificati per gli altri due intervalli: è possibile notare che anche in questo caso i valori maggiori si rilevano nei punti C (1.3), E (1.4) ed F (1.3). Per quanto riguarda le deformazioni di taglio massime, i valori maggiori (all'incirca 0.0640-0.0756 %) si riscontrano nella zona del punto E, in prossimità del contatto tra l'unità MLec e la sottostante GMtf.

Per la sezione Colle è possibile notare l'assenza di fenomeni di amplificazione significativi per tutti e tre gli intervalli di periodo considerati: i valori di FA infatti variano tra 0.7 e 1.1 su tutta la superficie della sezione. Il valore maggiore (1.1) si riscontra nell'intervallo 0.1-0.5 s presso i punti di controllo A e B, dove i depositi di copertura GWfd raggiungono il loro spessore maggiore (circa 10 m). Per quanto riguarda le deformazioni di taglio massime, i valori maggiori (all'incirca 0.0151-0.0189 %) si riscontrano ai piedi del versante, nella zona del punto A, all'interno dei depositi GWfd.

Per la sezione Valle si nota una variabilità maggiore (compresa tra 0.8 e 1.3) nei valori di FA riferiti all'intervallo di periodo 0.1-0.5 s. Tale variabilità è molto probabilmente legata alla presenza dell'unità di copertura GWfd. In particolare, in questo intervallo, i valori maggiori si riscontrano per i punti di controllo A (1.3), B (1.3), C (1.3), D (1.2) ed E (1.3), situati tutti sui depositi di versante. Al contrario, i valori minori (0.8-1.0) si osservano su tutti gli altri punti di controllo, ubicati direttamente sui materiali appartenenti al substrato sismico. Riguardo agli intervalli 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, è possibile notare che i valori di FA si mantengono pressoché prossimi ad 1 su tutta la superficie della sezione. Per quanto riguarda le deformazioni di taglio massime, i valori maggiori (all'incirca 0.0148-0.0184 %) si riscontrano ai piedi del versante, in prossimità dei punti E ed F, all'interno dei depositi di versante.

Per quanto riguarda le analisi di stabilità, si sottolinea che il professionista incaricato, in base alle osservazioni di sito ed ai dati raccolti, afferma che tutte le località oggetto di approfondimento (Castello Pallotta, Valcimarra colle e Valcimarra valle) per diverse ragioni non presentano situazioni di criticità in atto o potenziali tali da essere indagate con analisi di maggiore dettaglio. Il centroMS, pertanto, nel rispetto della responsabilità assunta dal

professionista e dalla sua autonomia decisionale in tal senso, non ha condotto ulteriori approfondimenti. Vale la pena comunque sottolineare che c'è sostanziale condivisione delle conclusioni a cui è giunto il professionista incaricato, come meglio specificato nel paragrafo 4. Nelle località analizzate in comune di Caldarola non esistono quindi Zone di Suscettibilità.

I gruppi di Supporto del CentroMS rimangono a disposizione per chiarimenti e approfondimenti sugli studi effettuati.

Roma, 29 luglio 2020

*Per il CentroMS*

Prof. Dario Albarello  
Dott. Enrico Paolucci  
Prof. Carlo Esposito  
Dott. Federico D'Alessandro

*Il Responsabile del progetto  
per il CentroMS*  
Dott. Marco Amanti

## **Bibliografia**

D' Amico M, Felicetta C, Russo E, Sgobba S, Lanzano G, Pacor F, Luzi L (2019) Italian Accelerometric Archive v 3.1 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Dipartimento della Protezione Civile Nazionale. doi: 10.13127/itaca.3.1.

Luzi L, Pacor F, Felicetta C, Puglia R, Lanzano G, D'Amico M (2019) 2016-2017 Central Italy seismic sequence: strong-motion data, seismic hazard and design earthquake for the seismic microzonation of Central Italy. Bulletin of Earthquake Engineering, doi:/10.1007/s10518-019-00676-3.

Rollins KM, Evans MD, Diehl NB, Daily WD (1998) Shear modulus and damping relationships for gravels. J Geotech Geoenviron Eng, 124(5): 396–405, ASCE (American Society of Civil Engineers), New York, NY, [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(1998\)124:5\(396\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(1998)124:5(396)).

Yokota K, Imai T and Konno M (1981) Dynamic Deformation Characteristics of Soils Determined by Laboratory Tests. OYO Tec. Rep. 3, pp. 13 - 37.