



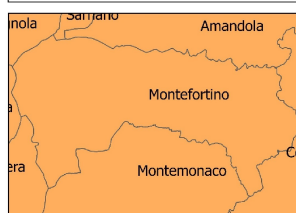
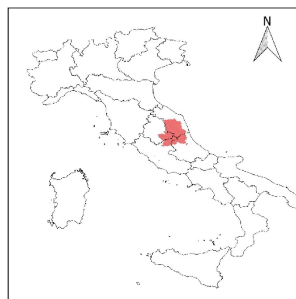
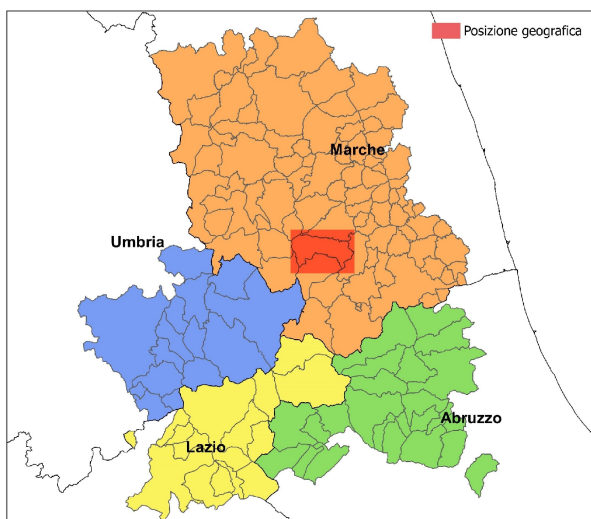
COMMISSARIO STRAORDINARIO
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016

Microzonazione sismica di 3 livello del Comune di Montefortino ai sensi dell'ordinanza del commissario straordinario n.24 registrata il 156 maggio 2017 al n.1065

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Marche Comune di Montefortino



Regione



Soggetti realizzatori:

Geologo incaricato:
Dott. Geol. Costantino Lucarelli

Collaboratore:
Dott. Geol. Carlo Gualtieri

Data: Gennaio 2018

INDICE

1.0 INTRODUZIONE	PAG. 1
2.0 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	PAG. 5
2.1 Sismicità attuale	pag. 5
2.2 Sismicità storica	pag. 11
2.3 Definizione delle sorgenti sismogenetiche pertinenti	pag. 14
3.0 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	PAG. 16
3.1 Inquadramento geologico	pag. 16
3.2 Successione litostratigrafica	pag. 18
3.3 Assetto geologico-strutturale	pag. 24
3.4 Assetto geomorfologico	pag. 25
4.0 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	PAG. 27
4.1 Dati geotecnici	pag. 27
4.2 Dati geofisici	pag. 28
5.0 MODELLO DEL SOTTOSUOLO	PAG. 30
6.0 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	PAG. 35
7.0 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	PAG. 37
7.1 Sequenze litostratigrafiche, peso dell'unità di volume	pag. 38
7.2 Curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping	pag. 38
7.3 Accelerogrammi di input	pag. 40
7.4 Risultati	pag. 45
8.0 ELABORATI CARTOGRAFICI	PAG. 63
9.0 CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	PAG. 66
10.0 BIBLIOGRAFIA	PAG. 67

ALLEGATO IN RELAZIONE

Elaborati prove di laboratorio geomeccanico **ALLEGATO 1**

Elaborati modellazione 2D **ALLEGATO 2**

ALLEGATO FUORI RELAZIONE

- Carta delle indagini (1:5.000)
- Carta Geologico Tecnica (1:5.000)
- Sezioni geologiche (1:5.000)
- Carta delle frequenze naturali (1:5.000)
- Carta MS_1 (1:5.000)
- Carte MS_3 (1:5.000)

INTRODUZIONE

Nell'ambito dell'ordinanza del Commissario Straordinario n.24 registrata il 15 maggio 2017 al n.1065 e su incarico ricevuto dal Comune di Montefortino è stato svolto il presente studio di microzonazione sismica di livello 3 di parte del territorio comunale.

Il presente elaborato è stato effettuato in ottemperanza agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica.

Lo studio di microzonazione sismica (MS) ha come obiettivo quello di definire la pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di aree o porzioni di territorio caratterizzate da un comportamento sismico omogeneo. In particolare la MS individua e contraddistingue:

- **Zone stabili:** sono zone 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;
- **Zone stabili suscettibili di amplificazione locali:** sono le zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- **Zone di attenzione per instabilità:** sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale).

L'area del territorio comunale di Montefortino è cartograficamente localizzata nelle C.T.R. della Regione Marche nei Fogli n.325 e 326 di Visso e Ascoli Piceno rispettivamente alle Sezioni 325030 Bolognola, 325040 Capovalle, 326010 Amandola, 326050 Montefortino, 325080 Isola San Biagio, 325070 Montebове, 325110 Vallinfante, 325120 Montemonaco in scala 1:10.000.

Il territorio comunale di Montefortino ha una estensione di 78,5 km².

In accordo con l'Amministrazione comunale e su indicazione del Centro MS, sono state prese in esame per gli studi di microzonazione sismica di livello 3, le seguenti aree:

<i>N.</i>	<i>Località</i>	<i>Superficie (ettari)</i>
1	Montefortino	8,66
2	Bussonico	2,89
3	Collina	1,22
4	Montatteglia	1,60
5	Piedivalle	1,88
6	Regattola	1,87
7	Serra	2,21
8	Santa Lucia	1,68
9	Cerretana	3,22

Il presente studio, che costituisce pertanto la Relazione illustrativa finale, ha potuto contare su una base informativa geologica e geomorfologica relativa al progetto CARG Cartografia Geologica – Progetto N. 2 Zona Sud (*Deiana et al., 2002*) alla scala 1:10000, nonché al Piano Regolatore Generale comunale, inoltre si è provveduto ad un'adeguata campagna di rilevamento laddove effettive complessità geologiche esigevano la verifica delle reali situazioni locali alla scala di dettaglio.

Sono quindi stati rispettati gli **Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica**¹ (*Parte III, 3.4.2. Rilevamenti geologici, geomorfologici e litologico-tecnici. Istruzioni tecniche per l'esecuzione, l'acquisizione dati e la presentazione dei risultati delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche*) che indicano che le carte geologiche, geomorfologiche e litologico-tecniche devono interessare un'area con un'estensione dipendente dalle diverse situazioni morfologiche e geologiche.

Sono stati realizzati i seguenti elaborati cartografici:

- **Carta delle Indagini** dove sono state indicate le prove pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base al tipo ed alla profondità raggiunta.
- **Carta geologico-tecnica** predisposta sulla base dei rilievi geologici e geomorfologici disponibili e dai dati derivanti dai rilievi di controllo effettuati e corredata da sezioni geologiche interpretative.
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)** sono indicate le diverse aree suscettibili di amplificazione sismica, dove si ritiene necessario effettuare ulteriori indagini ed analisi e i relativi livelli di approfondimento. Nella carta sono riportati anche i valori delle frequenze fondamentali dei depositi e non (HVSR, basate su registrazioni di rumore).
- **Carta delle frequenze fondamentali** dei terreni derivata da indagini sismiche passive (HVSR sulle vibrazioni ambientali). In questa carta sono riportati tutti i punti di misura, con associato il risultato della prova (valore del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale e di altri picchi significativi a più alta frequenza o indicazione dell'assenza di picchi).

- **Carta di microzonazione sismica** (Carta dei fattori di amplificazione) Valutazione approfondita della risposta sismica locale, in termini di amplificazione, laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale. L'amplificazione è stata quantificata in termini del parametro FA compreso negli intervalli di periodo tra $0,1s \div 0,5s$, $0,4s \div 0,8s$, $0,7s \div 1,1s$ eventualmente incrementato con i fattori di amplificazione per cause topografiche mediante analisi bidimensionale.

- **Relazione illustrativa (il presente studio)** dove sono descritte in dettaglio le metodologie di studio utilizzate, i risultati ottenuti, le cartografie e le banche dati prodotte.

Per l'organizzazione delle informazioni si è fatto riferimento agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica", elaborati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica i quali sono rappresentati dalla documentazione consultabile su:

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_4_0b.pdf

2.0 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 SISMICITÀ ATTUALE

La normativa sismica italiana, alla luce dell'avvicinarsi di molteplici terremoti, ha subito una sensibile evoluzione a partire dalla “vecchia” L. n. 64 del 2 febbraio 1974 commi 1° e 2° [Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche]. La Regione Marche, in attuazione delle leggi nazionali, ha prodotto nuove norme tendenti alla riduzione del rischio sismico L.R. 33/84 e con la Circolare 15/90 classifica e raggruppa i comuni marchigiani in tre livelli di rischio sismico: A Alto, B Medio e C Basso; Montefortino era inserito nella categoria di rischio Medio, come visibile nella *fig.1*

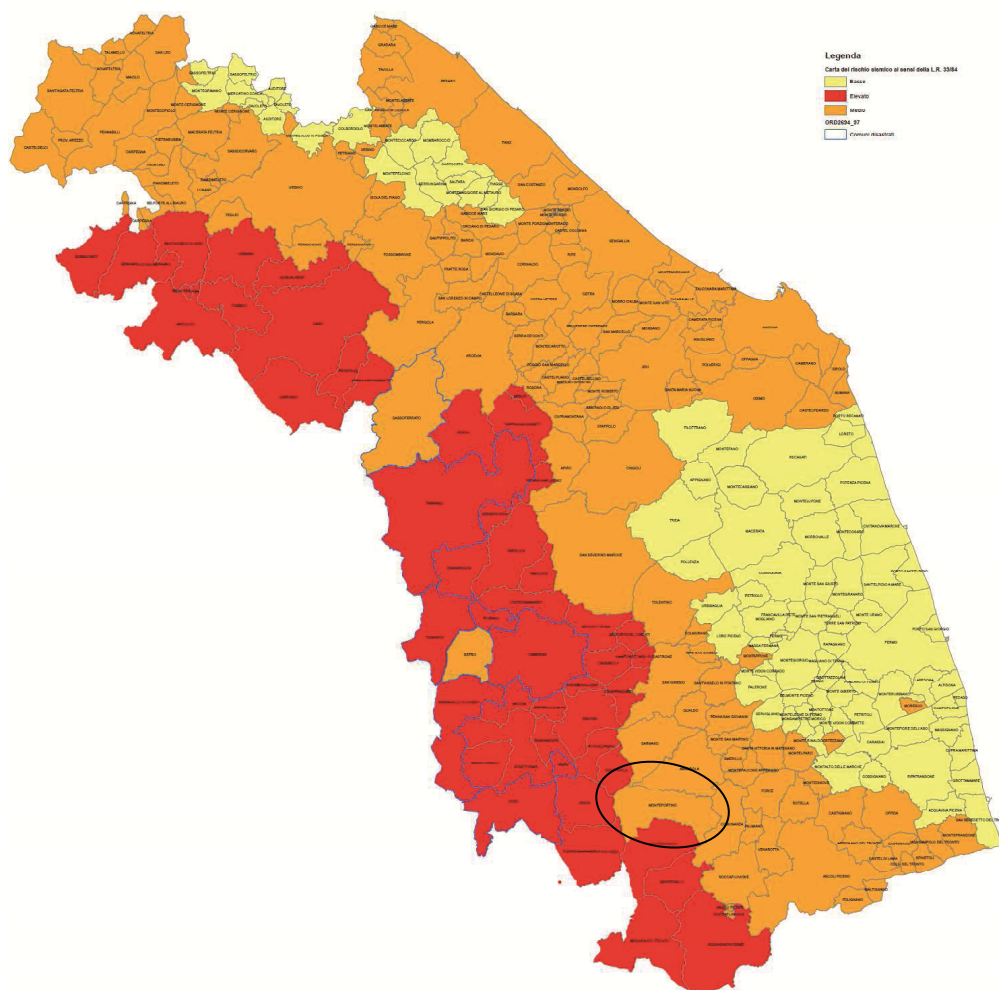


Fig.1 – Livelli di rischio sismico del territorio marchigiano ai sensi della L.R. 33/84

Con l'Ordinanza P.C.M. n. 3274/2003 (pubblicata sulla G.U n. 108 dell'8 maggio 2003) si è avviato in Italia un processo per la stima della “Pericolosità Sismica” secondo dati, metodi, approcci

aggiornati, condivisi e utilizzati a livello internazionale. Per la prima volta si è delineato un percorso per il quale venivano definite le procedure da seguire, il tipo di prodotti da rilasciare e l'applicazione dei risultati. Un documento di tale tipo avrebbe infatti costituito la base per l'aggiornamento dell'assegnazione dei comuni alle zone sismiche. L'I.N.G.V. si è fatto promotore di una iniziativa scientifica che ha coinvolto anche esperti delle Università italiane e di altri centri di ricerca. Questa iniziativa ha portato alla realizzazione della Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante.

Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza P.C.M. n. 3519/2006 (pubblicata sulla G.U. n. 105 dell'11 maggio 2006).

La legislazione nazionale prevede che l'aggiornamento delle zone sismiche spetti alle singole Regioni (e Province Autonome), sulla base di criteri definiti a scala nazionale. In seguito all'Ordinanza P.C.M. n. 3519/2006, le Regioni (e Province Autonome) che volessero aggiornare tale elenco devono basarsi sui valori di accelerazione proposti dalla mappa di pericolosità sismica MPS04 per individuare le soglie che definiscono il limite tra una zona sismica e un'altra.

Successivamente, nell'ambito del progetto INGV-DPC S1 (2005-2007), sono state rilasciate una serie di mappe di pericolosità sismica per diverse probabilità di eccedenza in 50 anni, basate sullo stesso impianto metodologico e sugli stessi dati di input di MPS04.

Sono state pertanto prodotte mappe per gli stessi periodi di ritorno anche in termini di accelerazioni spettrali.

Per ogni punto della griglia di calcolo (che ha una densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km) sono oltre 2200 i parametri che ne descrivono la pericolosità sismica. Questa mole di dati ha reso possibile la definizione di norme tecniche nelle quali l'azione sismica di riferimento per la progettazione strutturale è valutata punto per punto e non più solo per 4 zone sismiche, cioè secondo solo 4 spettri di risposta elastica.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC08) con il D.M. del 14 gennaio 2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008) nelle quali la definizione dell'azione sismica di riferimento si basa sui dati rilasciati da I.N.G.V. e dal Progetto S1 (*fig.2*).



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

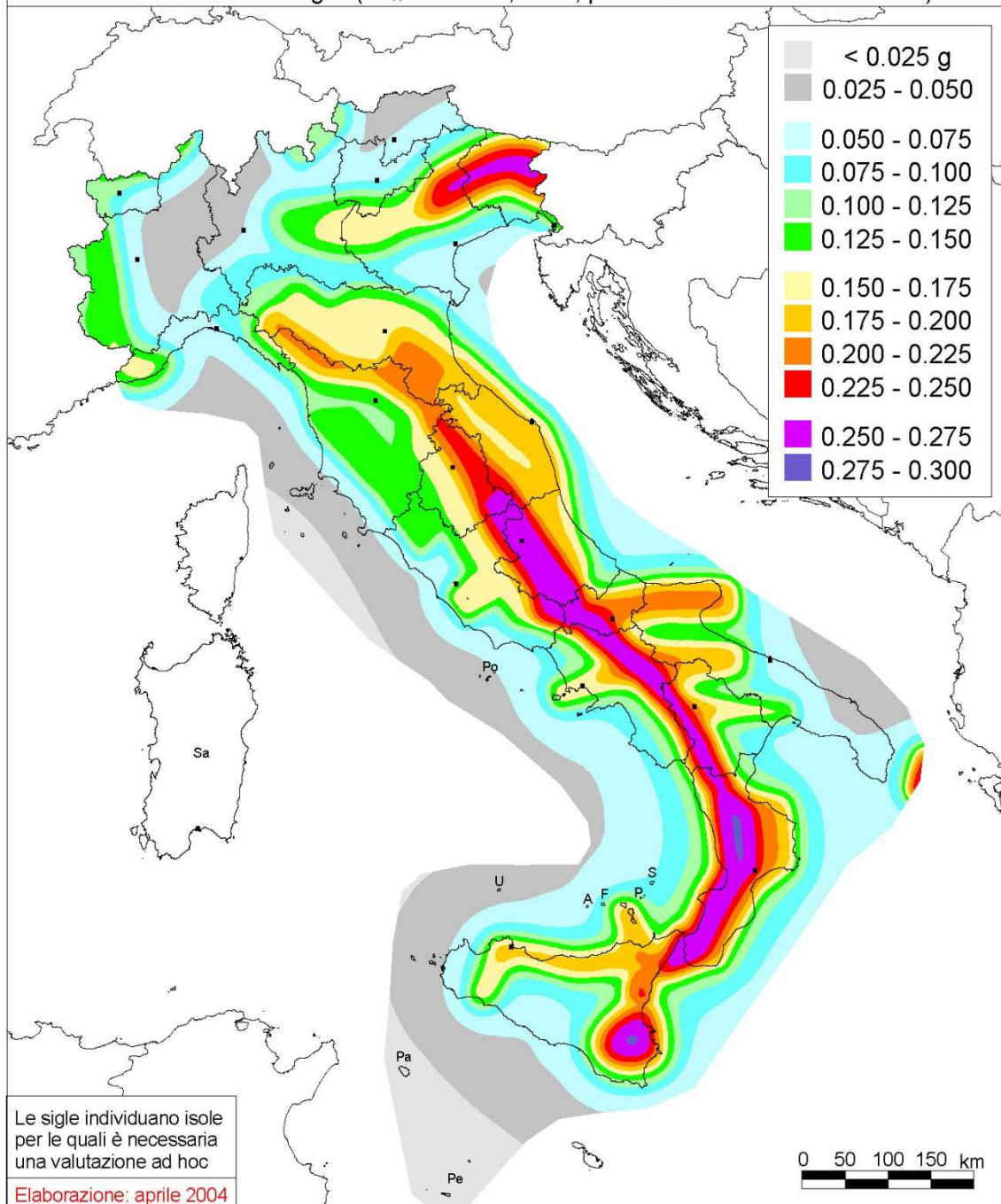


Fig.2 - Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14.01.2008 s.m.i., il territorio comunale di Montefortino ricade nella "simbolica" zona sismica 2 (fig.3), nella quale il valori di $A(g)$ accelerazione orizzontale al suolo espressa come frazione della accelerazione di gravità (g) risulta pari a:

ZONA	A(g) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme tecniche)	A(g) con probabilità di superamento della soglia pari al 10% in 50 anni
2	0,25g	0,15÷0,25

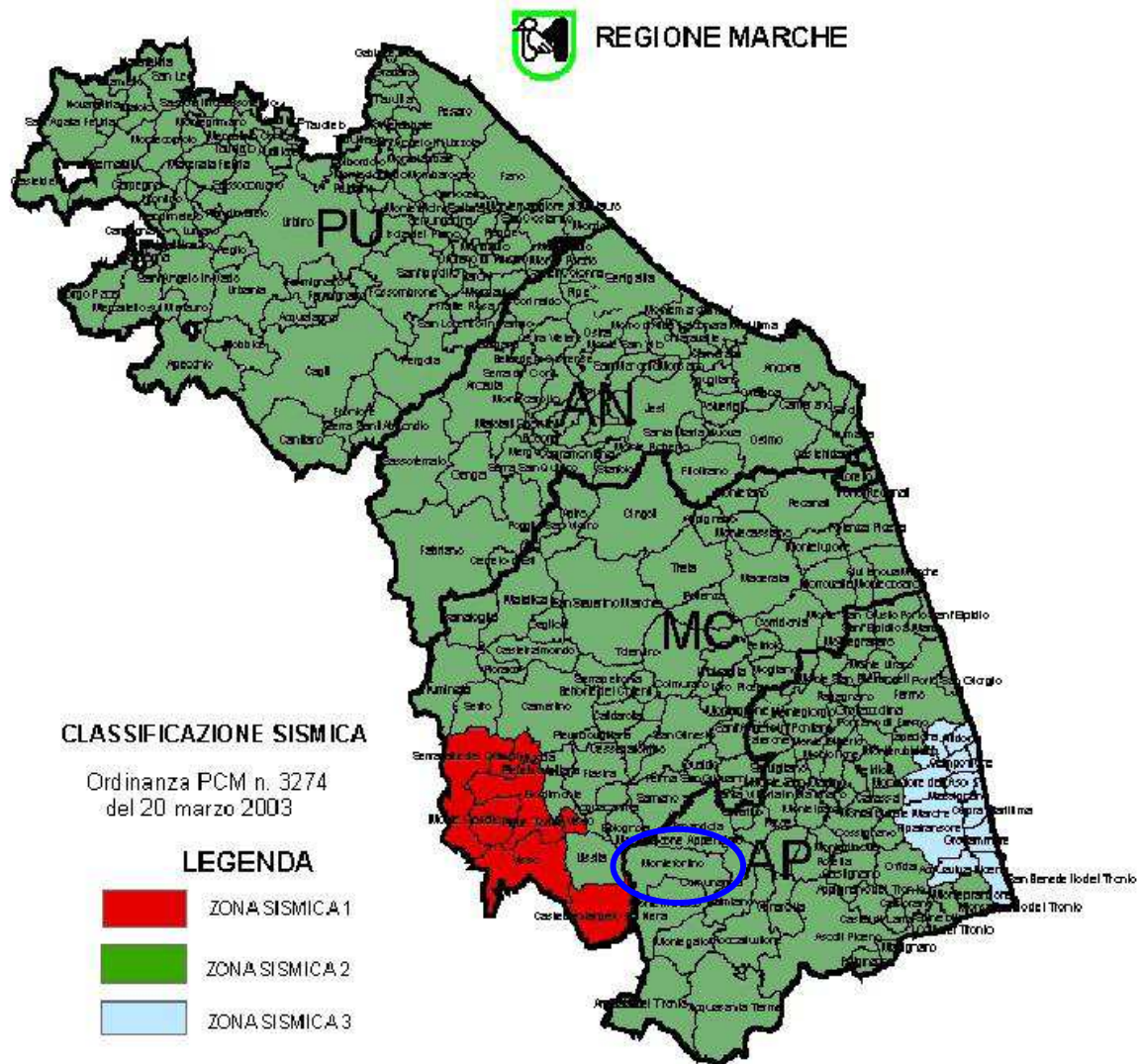


Fig.3- Classificazione sismica regione Marche in riferimento PCM n.3274.

Nello specifico, tramite applicazione Webgis consultabile on line sul sito dell'I.N.G.V. all'indirizzo: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>, è possibile in maniera interattiva esaminare le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale. In particolare, come specificato, per la zona di Montefortino si hanno dei valori di accelerazione del suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) compresi tra $0.15 \div 0.25 a_g$ espressa come accelerazione di gravità.

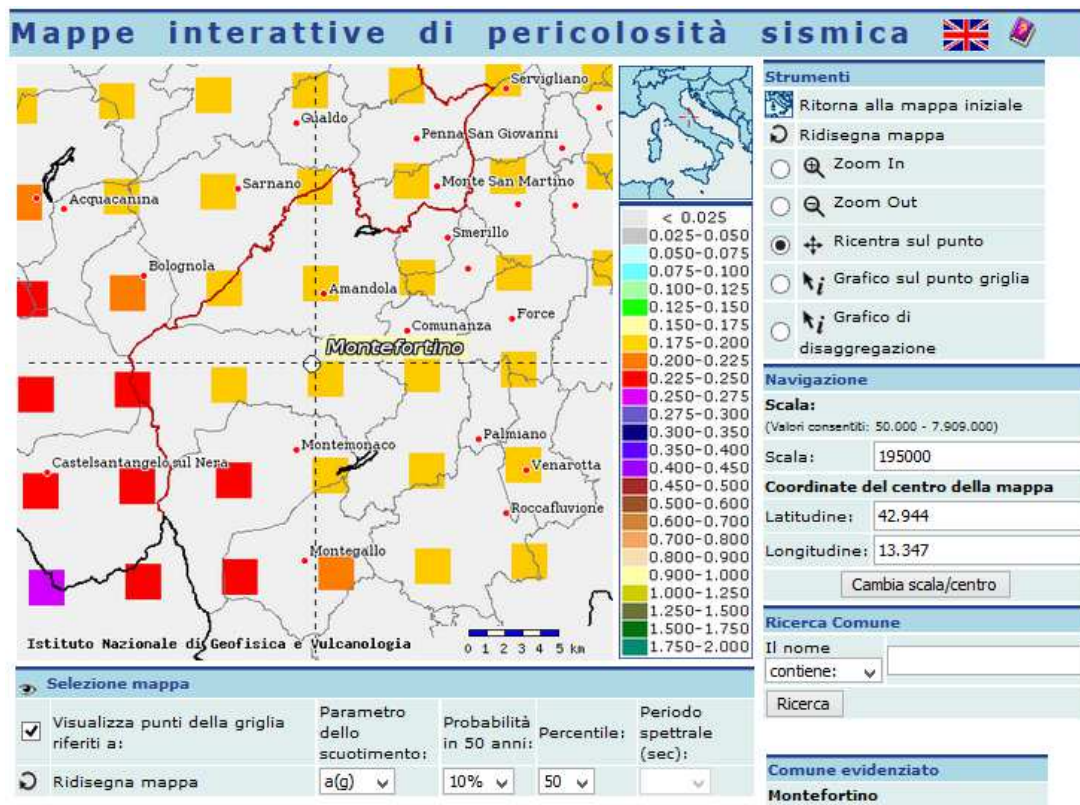


Fig.4 - Mappa interattiva di pericolosità sismica per la zona di Montefortino, i colori della leggenda indicano le diverse accelerazioni del suolo. <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Ulteriori informazioni, disponibili sul sito dell'INGV sono i valori di disaggregazione di $a(g)$, si tratta di un grafico che fornisce indicazioni inerenti la magnitudo e la distanza rispetto alle faglie attive e capaci rispetto al punto selezionato. In tal modo sono desumibili i valori di magnitudo media e il raggio di azione medio di un terremoto dovuto al movimento delle faglie prossime alla zona, nel caso specifico, del Comune di Montefortino.

La figura 5 e la tabella 1 riportano il contributo percentuale alla pericolosità per coppie di valori di magnitudo e distanza epicentrale.

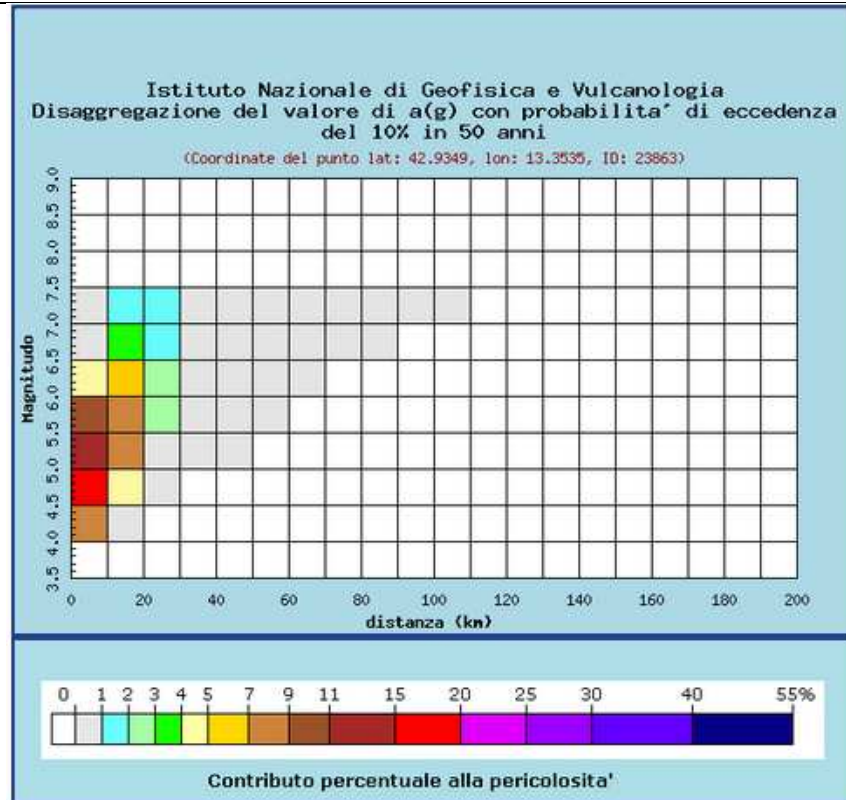


Fig. 5 - Grafico di disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilit  di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo

Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.9349, lon: 13.3535, ID: 23863)										
	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	8.210	18.600	14.000	9.010	4.400	0.453	0.180	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.943	4.490	7.040	8.040	6.730	3.240	1.590	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.093	0.953	2.240	2.770	1.690	1.070	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.035	0.492	0.963	0.720	0.568	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.281	0.325	0.312	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.049	0.139	0.167	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.039	0.068	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.029	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.012	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	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

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.480	11.300	0.942

Tab. 1 - Dati tabellari di disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilit  di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo.

2.2 SISMICITÀ STORICA

L'area del Comune di Montefortino, nel suo passato storico è stata caratterizzata da precedenti eventi sismici, oltre che dallo sciame sismico iniziato il 24 agosto 2016. Riportati nel Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI), Istituto di Geofisica e Vulcanologia (INGV), con area di riferimento Montefortino (*Tab.2* e *Fig.6*) sono stati identificati i seguenti eventi ricavabili dal database dell'INGV scaricabile al seguente indirizzo:

http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/query_place

I dati sono rappresentati tabularmente e graficamente di seguito:

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
5	1873 03 12 20:04 ±0.10	Marche meridionali	196	8 5.95
3-4	1903 11 02 21:52 ±0.26	Valnerina	33	6 4.89
6	1943 10 03 08:28 ±0.14	Marche meridionali-Abruzzo	131	8-9 5.83
8	1972 11 26 16:03 ±0.18	MONTEFORTINO	73	8 5.38
5-6	1979 09 19 21:35 ±0.09	Valnerina	694	8-9 5.86
5-6	1986 10 13 05:10 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	322	5-6 4.65
3	1993 06 05 19:16 ±0.09	GUALDO TADINO	326	6 4.74
4-5	1997 09 03 22:07 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	171	5-6 4.56
5-6	1997 09 26 00:33 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	760	5.70
5-6	1997 09 26 09:40 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9 6.01
5-6	1997 10 03 08:55 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	490	5.25
5	1997 10 06 23:24 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	437	5.46
5-6	1997 10 14 15:23 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8 5.65
4	1997 10 23 08:58 ±0.25	Appennino umbro-marchigiano	56	4.31
5	1997 11 09 19:07 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	180	5-6 4.90
4	1998 02 07 00:59 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	62	5-6 4.43
4-5	1998 03 21 16:45 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	141	6 5.03
4-5	1998 04 05 15:52 ±0.09	Appennino umbro-marchigiano	395	6 4.81
4-5	1999 11 29 03:20 ±0.13	APPENNINO CENTRALE	62	5-6 4.38
4	2003 05 25 17:15 ±0.18	Zona Ascoli Piceno	92	5 4.15
4-5	2004 12 09 02:44 ±0.09	Zona Teramo	224	5-6 4.18
4	2005 04 12 00:31 ±0.14	Maceratese	137	4-5 4.16
2-3	2005 12 15 13:28 ±0.09	Valle del Topino	361	5-6 4.66
4	2006 04 10 19:03 ±0.10	Maceratese	211	5 4.51

Località vicine (within 10km)			
Località	Stato	NMO	Distanza
Amandola	IT	39	4km
Comunanza	IT	22	6km
Montemonaco	IT	30	5km

Tab. 2 - Sismicità storica del Comune di Montefortino

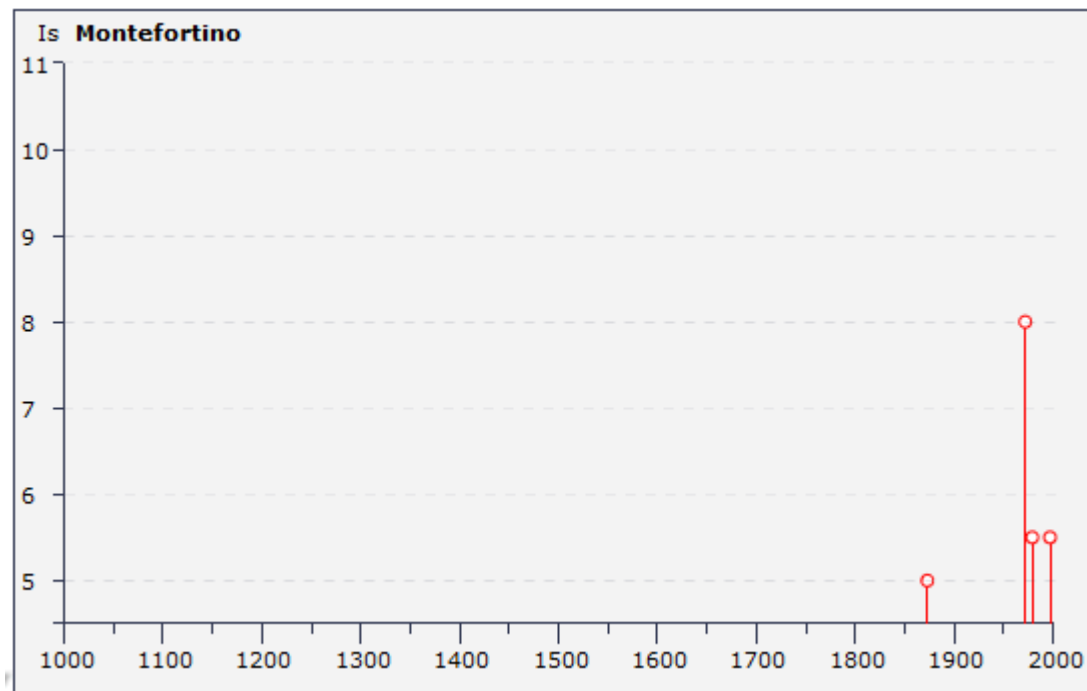


Fig. 6 - Grafico illustrante la storia sismica del Comune di Montefortino dal 1000 al 2000. Sulle ascisse sono riportate le intensità sismiche (Is) dei terremoti rilevati, mentre sulle ordinate sono riportati i riferimenti temporali espresso in anni, (<http://emidius.mi.ingv.it/DB>).

Come precedentemente accennato, si annovera la recente crisi sismica che ha interessato anche il territorio comunale ed il particolare gli eventi:

- del 24 agosto 2016 (03.36.32) Mw 6.0
- del 26 ottobre 2016 (19.11.36) Mw 5.5 e (21.18.15) Mw 6.0
- del 30 ottobre 2016 (07.40.17) Mw 6.5
- del 18 gennaio 2017 (11.25.23) Mw 5.4, (11.14.09) Mw 5.5, (10.25.40) Mw 5.1

L'analisi storica è stata infine riassunta nella carta delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, riportata in *fig. 7*, redatta dalla sezione INGV di Milano.

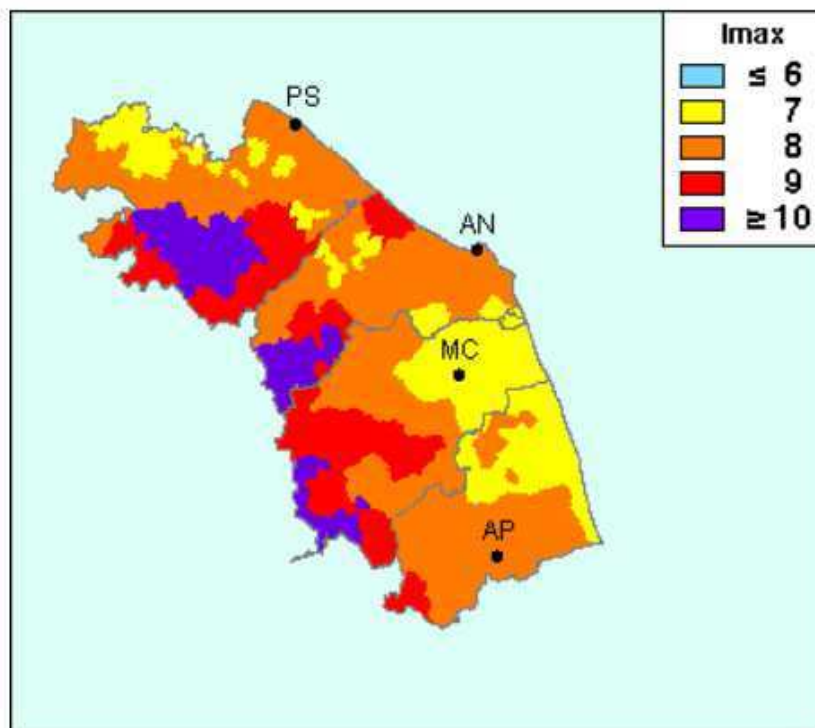


Fig.7 - Carta delle Massime Intensità Macrosismiche registrate nei Comuni delle Marche,
(http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/M APPE_PROVINCE/13.html).

Dalle informazioni dedotte da numerosi studi condotti dal Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti- INGV sulla distribuzione delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani "*Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio regionale*", si evince che il territorio sotteso al Comune di Montefortino rientra tra le aree con intensità massima dell' VIII grado.

2.3 DEFINIZIONE DELLA SORGENTE SISMOGENETICA PERTINENTE



L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia mette in rete, nell'ambito del Progetto DISS 3, le informazioni (<http://diss.rm.ingv.it>) riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismo-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale.

Il territorio di Montefortino risulta ubicato nella sorgente sismogenetica composta classificata come macroarea ITCS027 Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (fig.8 e tab.3)

Qui di seguito si espongono i dati ed i contenuti;



Fig.8 - Localizzazione del territorio comunale rispetto alla sorgente sismogenetica collocata nella macroarea ITCS027 censite dal DISS 3.1.1.

GENERAL INFORMATION		
DISS-ID	ITCS027	
Name	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga	
Compiler(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)	
Contributor(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)	
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy	
Created	08-Jan-2005	
Updated	17-May-2012	
Display map ...	 	
Related sources	ITIS058 ITIS135 ITIS047 ITIS048 ITIS049 ITIS055	
PARAMETRIC INFORMATION		
PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	12.0 OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max depth [km]	22.0 OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike [deg] min... max	90...160 OD	Based on geological constraints and structural geology.
Dip [deg] min... max	20...55 OD	Based on geological constraints and structural geology.
Rake [deg] min... max	70...110 EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5 EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2 OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Tab. 3 - Caratteristiche della struttura sismogenetica ITCS 027 censite dal DISS 3.1.1.

Inoltre si riporta di seguito le mappe derivanti da ITHACA - Catalogo delle faglie capaci (fig.9).

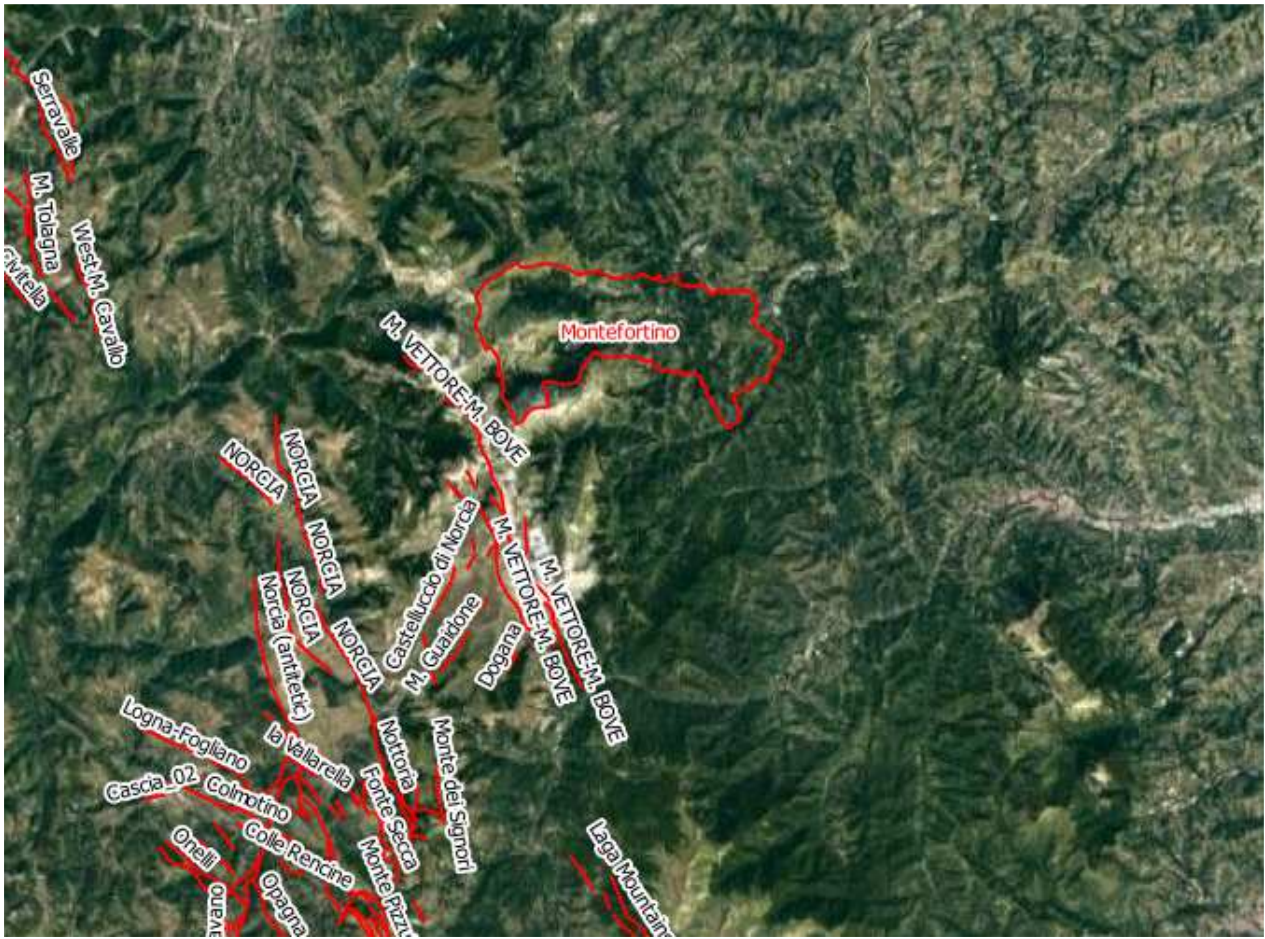


Fig.9 - Localizzazione del territorio comunale rispetto alla faglie attive e capaci del Catalogo ITHACA.

3.0 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Il territorio comunale di Montefortino presenta un'estensione pari a 78,62 kmq, si sviluppa prevalentemente all'interno della dorsale dei Monti Sibillini e risulta scarsamente popolato tanto da avere una densità di circa 15 ab/kmq (dati ISTAT,1/1/2015). Si tratta di un centro montano con quote comprese tra i 450 m s.l.m. (valle del Tenna a nord-est del Capoluogo) e i 2.332 m s.l.m. (Monte Priora).

I Monti Sibillini costituiscono la parte meridionale dell'Appennino Umbro-Marchigiano, nella quale affiorano i sedimenti mesozoici e terziari della "*Successione umbro-marchigiana*"; tale successione si rinviene al di sopra del Calcere Massiccio e viene suddivisa in tre gruppi formazionali: GIURASSICO (Calcere Massiccio, Corniola, Marne M. Serrone, Marne a Posidonia, Calcari diasprini), CRETACICO- PALEOGENICO (Maiolica, Marne a fucoidi, Scaglia), MIOCENICO (Bisciario, Marne con Cerrognia, Formazione della Laga).

Strutturalmente i Monti Sibillini costituiscono un sistema di pieghe e sovrascorrimenti a vergenza orientale che è il prodotto di vicissitudini tettoniche succedutesi dal Trias superiore al Quaternario, caratterizzate da fasi tettoniche associate a processi compressivi (Tortoniano-Pliocene medio) e distensivi (Pliocene sup. – Pleistocene), responsabili anche del "Sovrascorrimento dei M. Sibillini" che rappresenta il fronte di scorrimento più esterno. All'interno del territorio comunale gli effetti della tettonica compressiva, oltre che dall'andamento variamente piegato delle formazioni, risulta ben visibile dal sovrascorrimento che corre lungo l'allineamento Gola dell'Infernaccio-Balzo Rosso, che non coinvolge le aree esaminate.

Litologicamente quasi tutto il territorio comunale risulta caratterizzato da substrato affiorante e/o sub-affiorante, di natura sedimentaria, appartenente alla serie calcareo-silico-marnoso-arenacea dell'Appennino Umbro-Marchigiano, tranne alcune aree di fondovalle caratterizzate dalla presenza di depositi eluvio-colluviali e/o alluvionali ed alcuni tratti dei versanti montani ricoperti da materiali sciolti quali detriti di falda.

Nello specifico, in corrispondenza dell'abitato del Capoluogo si rinvencono in affioramento le formazioni costituite da Marne con Cerrognia e Marne a Pteropodi (Mioceniche inf. – medio), costituite da calcari e calcari marnoso-argillosi generalmente di colore grigio chiaro, in strati sottili. Spostandosi ad est rispetto al centro storico,

affiorano i litotipi arenacei del membro pre-evaporitico della Formazione della Laga (Miocene superiore); i medesimi litotipi arenacei si rinvennero nelle frazioni oggetto di studio.

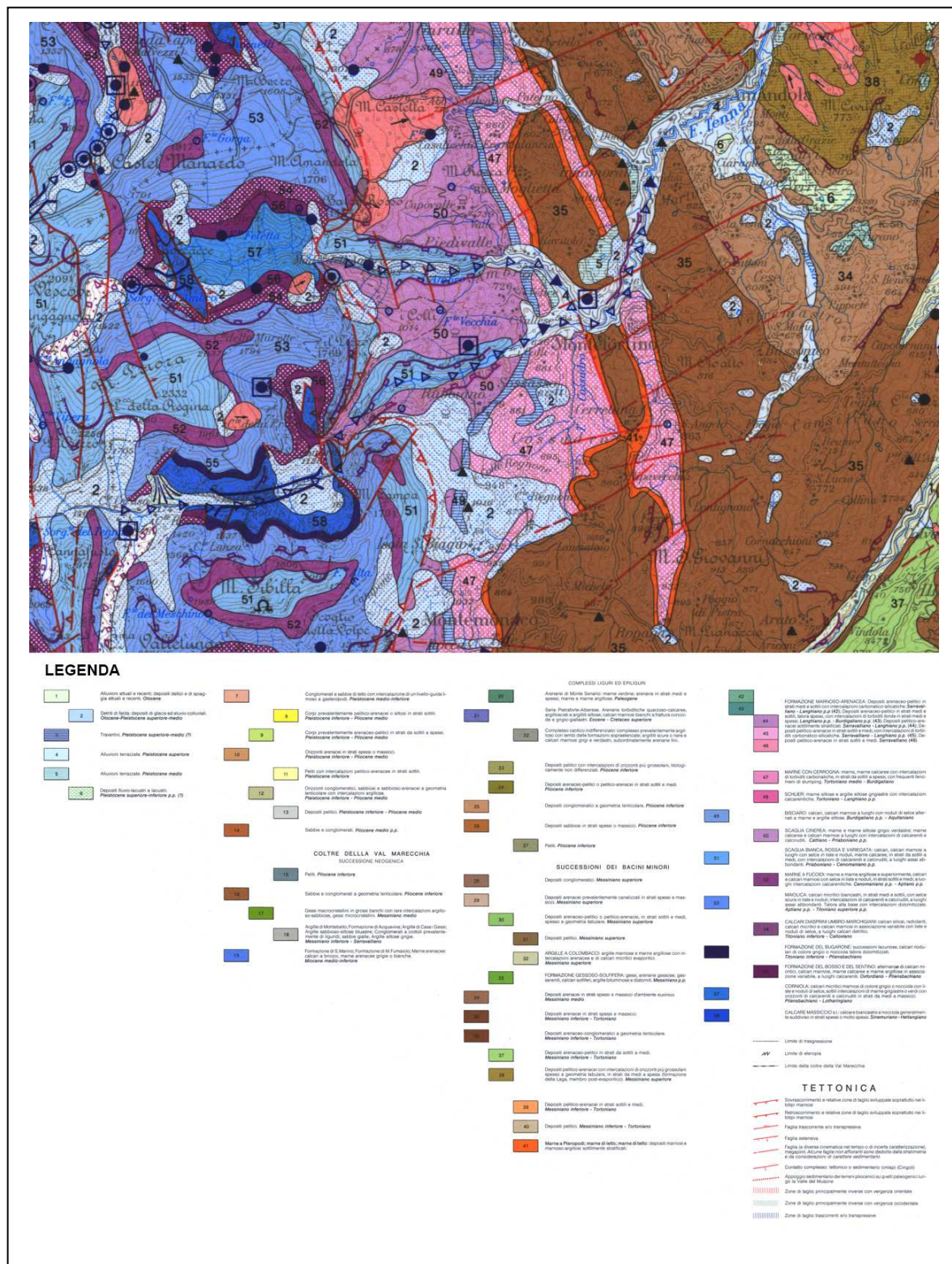


Fig.11 – *Carta geologica Ambiente Fisico delle Marche (da Centamore et alii).*

3.2 SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA

La serie litostratigrafica presente all'interno dell'area di studio comprende i terreni tipici della Successione Umbro-Marchigiana. In generale, dal punto di vista cronostratigrafico, le unità cartografate si estendono dal Lias inf. (*Calcare Massiccio*) al Messiniano (*Formazione della Laga*).

La successione stratigrafica (*fig.10*), qui di seguito descritta, partendo dalle formazioni cronostratificamente più antiche verso quelle più recenti, fa riferimento allo schema adottato dal progetto CARG che, essendo la più recente, risulta essere anche quella maggiormente in linea con i più recenti criteri di rilevamento e classificazione dei dati geologici.

SUCCESSIONE GIURASSICA

Calcare Massiccio (Hettangiano - Sinemuriano inferiore p.p.)

La formazione si presenta generalmente intensamente fratturata e carsificata. La stratificazione risulta netta con strati da medi a spessi. I litotipi fondamentali sono costituiti da biomicriti, biocruditi, biointraspariti, intraspariti, oospariti e lamine stromatolitiche. La formazione affiora al tetto dell'anticlinale di rampa associata al sovrascorrimento dei M.Sibillini, lungo la valle del Fiume Tenna e del Torrente Ambro.

Gruppo del Bugarone (Carixiano p.p. – Titoniano inf.)

Questa unità è caratterizzata quasi per intero da litofacies calcaree nodulari e dalla costante presenza a tutti i livelli di faune ad Ammoniti. In essa sono stati distinti quattro membri, che per l'esiguità del loro spessore, non sono separatamente cartografabili, e che dal basso verso l'alto sono: a) calcari stratificati grigi, b) calcari nodulari con marne verdi, c) calcari nodulari nocciola, d) calcari nodulari ad Aptici. L'unità affiora al tetto della formazione del Calcare Massiccio.

Corniola (Sinemuriano inf. - Toarciano inf.)

È costituita da calcari fango-sostenuti biancastri e avana, in strati medio-spessi, con selce in liste e noduli, con sottili livelli marnoso-argillosi e con frequenti intercalazioni calcareo-clastiche in strati da medi a molto spessi, a granulometria variabile da fine a grossolana. L'unità affiora diffusamente all'interno della valle del Torrente Ambro.

Marne del Serrone (Pliensbaciano - Toarciano)

Sono costituite da calcari marnosi verdastri (in strati di spessore variabile) alternati a marne e marne argillose grigiastre ed a calcari detritici grigiastro-marroncini in strati da medi a spessi

Questi ultimi aumentano con gradualità verso l'alto dove, localmente, gli strati possono raggiungere e superare il metro di spessore. Alla base degli strati calcareo-detritici si rinvencono strutture da bioturbazione e controimpronte da corrente deformate e indeterminabili.

Calcari Diasprini (*Bajociano sup. - Titoniano inf.*)

Questa formazione si caratterizza per il suo alto contenuto in silice, essendo formata da micriti con selce verdastra in liste e noduli, micriti verdastre silicizzate, dall'aspetto granulare per l'alto contenuto in silice diffusa, selce policroma, con intercalazioni di calcareniti, di calciruditi e di calcari nodulari. La stratificazione è netta e sottile nelle litofacies più calcaree, con spessori variabili dai 5 ai 20 cm, mentre in quelle silicee è più irregolare, con rigonfiamenti e brusche terminazioni a lente; i depositi detritici si presentano in strati medi o spessi, a luoghi con geometria lenticolare. In generale si osserva le selci prevalere nella porzione mediana dell'unità, mentre nella porzione inferiore ed in quella superiore sono più abbondanti i calcari. La formazione affiora nel settore occidentale del limite comunale all'interno della valle del Fiume Tenna e del Torrente Ambro.

SUCCESSIONE CALCAREA E/O MARNOSA CRETACICO-MIOCENICA

Maiolica (*Titoniano sup. p.p. - Aptiano inf. p.p.*)

La formazione è costituita quasi esclusivamente da calcari micritici biancastri, in strati medio-spessi dai 20 ai 70 cm. associati a liste e noduli di selce nera e con sottili intercalazioni pelitiche che ne segnano il passaggio con la sovrastante formazione delle Marne a Furoidi. La formazione affiora nel settore occidentale del limite comunale.

Marne a Furoidi (*Aptiano inf. p.p. - Albiano sup. p.p.*)

Le Marne a Furoidi possono essere agevolmente suddivise in 2 membri: uno inferiore, prevalentemente argilloso - marnoso ed uno superiore calcareo - marnoso. Il membro inferiore risulta costituito da marne e marne argillose policromiche sottilmente stratificate con colori che oscillano tra il rosso ed il verde; si rinvencono saltuariamente livelletti micritici e noduli di selce. Il membro superiore è costituito da calcari-marnosi e marne calcaree in strati mediamente di 10 cm. di spessore, con tonalità che vanno dal bianco al verde oliva con sfumature rosee. La formazione affiora nel settore occidentale del limite comunale.

Scaglia bianca (*Albiano sup. p.p. - Turoniano inf. p.p.*)

Questa unità è formata da calcari micriti e calcari marnosi bianchi, a frattura concoide, in strati sottili e medi di circa 10cm di spessore, con selce nera; nella parte superiore quasi al passaggio con la sovrastante scaglia rosata, è presente il *livello-guida Bonarelli*, marker geologico regionale costituito da argilliti euxiniche nerastre. La formazione affiora nel settore occidentale del limite comunale.

Scaglia rossa (*Turoniano inf. p.p.- Luteziano p.p.*)

Essa è divisa in tre membri ed è costituita: alla base da calcari marnosi rosati, a luoghi con bande policrome, con selce rossa in liste e noduli (SAA1); nella parte intermedia (che presenta spessori maggiori) da marne e marne calcaree, a frattura concoide o scagliosa, di colore rosato o rosso mattone (SAA2); nella porzione sommitale (SAA3) da calcari e calcari marnosi rosati con selce rossa in liste e noduli.

Scaglia variegata (*Luteziano p.p. - Priaboniano p.p.*)

E' costituita da un'alternanza di calcari marnosi e marne policrome in strati medi e sottili, di colore variabile da rosa a verdino, ben stratificata, con spessori intorno ai 10 – 20 cm. A luoghi con lenti di selce nera. Verso l'alto, si registra un aumento del tenore pelitico al passaggio con la formazione della *Scaglia cinerea*, la stratificazione si fa più incerta. La formazione affiora sporadicamente.

Scaglia cinerea (*Priaboniano p.p. - Aquitaniano p.p.*)

La formazione è costituita da calcari marnosi, marne calcaree, marne e marne argillose. Nella parte inferiore della formazione prevalgono le litofacies più calcaree in strati sottili o medi, con una colorazione rossastra, mentre nella parte superiore, di colore grigioverastro, si osserva un progressivo aumento del contenuto marnoso argilloso. La formazione affiora diffusamente in tutto il settore occidentale dell'area.

Bisciaro (*Aquitano p.p. - Burdigaliano p.p.*)

E' rappresentato da marne e calcari silicei-marnosi, ben stratificati, grigi e grigio verdastri, con intercalazioni di vulcanoclastiti (cineriti e tufiti prevalenti) le quali si presentano tipicamente come bande ocracee. Liste e noduli di selce grigio-nerastra, ma anche giallastra nella parte medio alta, sono localmente presenti nella parte inferiore - media della formazione. La formazione affiora, in continuità stratigrafica con la *Scaglia cinerea*, nel settore centrale del territorio comunale.

Marne con Cerroghna (Burdigaliano p.p. - Tortoniano p.p.)

In questa porzione del bacino umbro-marchigiano questa unità sostituisce l'eteropico *Schlier* affiorante nei settori più occidentali e settentrionali. Si tratta di alternanze di marne, marne calcaree e marne argillose, in strati medi e sottili, associate a torbiditi carbonatiche talora laminate, in strati medio-spessi. La stratificazione è molto spesso obliterata da un clivaggio diffuso e da un'intensa bioturbazione (si notano tracce di *Zoophycos*, *Cylindrites*, burrows, Lamellibranchi ed Echinidi di grandi dimensioni). Per quanto riguarda le intercalazioni calcaree detritiche, i bioclasti sono talora rappresentati da Foraminiferi planctonici e bentonici, ai quali possono associarsi resti di Molluschi, Briozoi, Alghe coralline. Le torbiditi carbonatiche, provenienti dall'erosione di aree di dominio laziale-abruzzese, si assottigliano e diventano più rare verso nord, fino a sparire all'altezza della linea *Fiastrone-Fiastrella* (Cantalamesa et alii, 1980, 1981, 1982, 1983, 1986; Micarelli & Potetti, 1985). L'unità è parzialmente eteropica con le *Marne a Pteropodi*.

Marne a Pteropodi (Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.)

Al di sopra delle *Marne con cerroghna* già descritte e alla base della sequenza torbiditica, si trovano le *Marne a Pteropodi*. Esse sono costituite da emipelagiti grigio-verdastre, da peliti scure, euxiniche, talora bituminose, laminate, con intercalazioni di arenarie fini. Le *Marne a Pteropodi* presentano rapporti di eteropia sia con le *Marne con cerroghna*, sia con la *Formazione della Laga*. Nella zona in esame tale unità è stata spesso posizionata in analogia con le situazioni geomorfologiche che si sono osservate; infatti, essendo costituita da terreni facilmente erodibili, costituisce spesso zone morfologicamente pianeggianti o comunque blandamente inclinate.

Formazione della Laga (Messiniano p.p.)

Essa affiora in senso longitudinale nell'estremo settore orientale dell'area, in tutta la fascia immediatamente a sud-est l'abitato di Montefortino. I terreni della *Formazione della Laga* sono rappresentati dai membri *preevaporitico*, *evaporitico* e *postevaporitico*. Nell'area esaminata le torbiditi che saranno descritte raggiungono uno spessore di circa 1700 m. In esse sono state distinte varie associazioni litologiche sulla base del rapporto sabbia/argilla.

Membro preevaporitico (LAG1)

Vi si riconoscono due unità minori, una prevalentemente arenacea e l'altra arenaceo-pelitica. La prima è formata da un'associazione arenacea in strati spessi o massicci, anche di 20 m di

spessore, in cui si intercalano, a varie altezze stratigrafiche, orizzonti arenaceo pelitici, in strati sottili e medi.

Essa mostra a luoghi contatti erosivi e a luoghi passaggi graduali, tramite livelli arenaceo-pelitici, con le sottostanti *Marne a Pteropodi*, tale passaggio è inoltre accompagnato da terminazioni a *pinch-out* laterali. La seconda unità è costituita prevalentemente da orizzonti di una associazione arenaceo-pelitica talora in strati massicci e amalgamati, intercalati in una associazione pelitico-arenacea. La fascia che costituisce il membro descritto alterna le associazioni in modo ritmico, aumentando la frequenza di affioramento dell'associazione arenaceo-pelitica via via che ci si sposta verso oriente.

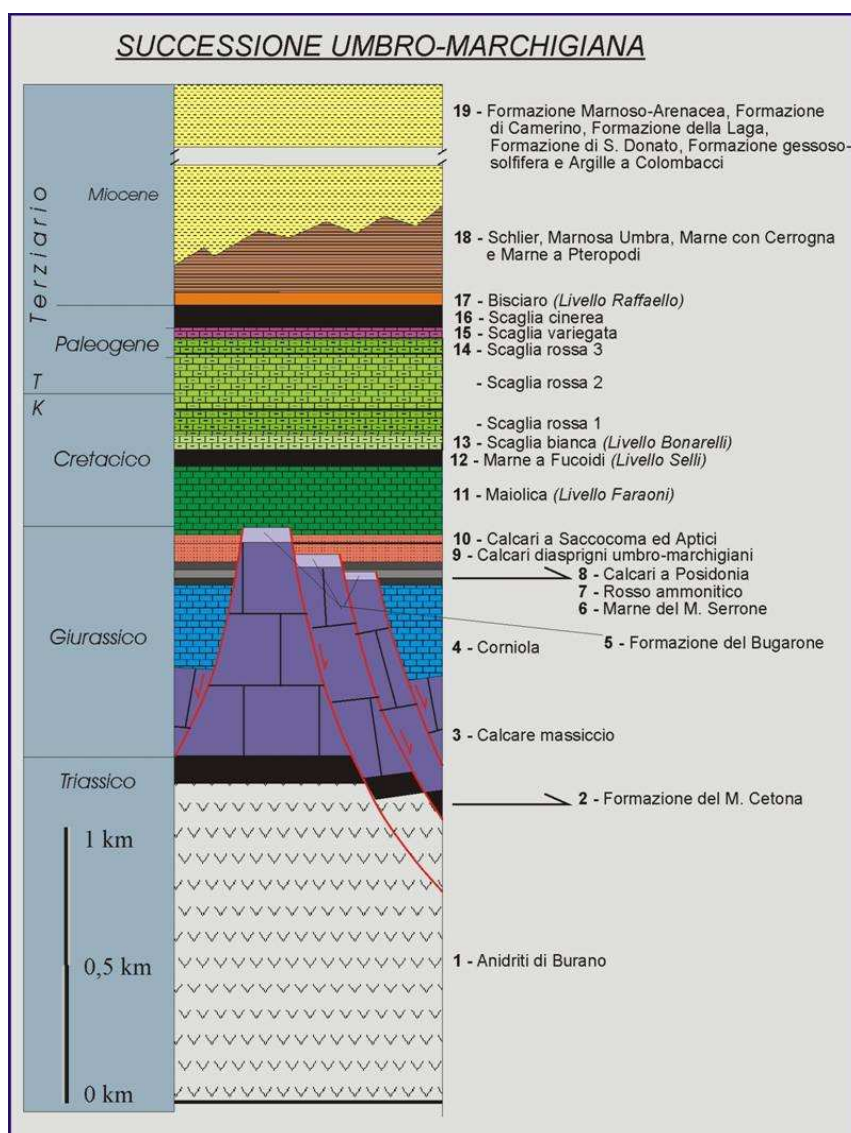


Fig.10- Schema dei rapporti stratigrafici della Successione Umbro-Marchigiana

DEPOSITI CONTINENTALI

Nell'area in esame affiorano in modo disomogeneo depositi continentali rappresentati da materiale eluvio-colluviale, ma anche da diverse generazioni di detriti di versante e alluvionale (i quali con i primi talvolta si interdigitano) attribuibili alle fasi climatiche fredde del Quaternario.

Depositi alluvionali antichi e recenti

Si tratta di depositi quaternari dovuti al terrazzamento alluvionale a seguito dell'azione del Fiume Tenna e dei suoi principali affluenti. Essi sono rappresentati da superfici di deposizione suborizzontali e da scarpate di erosione, che articolano i lembi residui delle antiche piane alluvionali in terrazzi di diverso ordine. In tutta l'area di studio sono stati riconosciuti diversi ordini di terrazzi, costituiti generalmente da ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie limose con intercalazioni limoso-argillose; i depositi, ben addensati, sono posti a quote diverse ed ampiamente incisi e rimodellati dall'erosione delle acque correnti superficiali; gli spessori sono rilevanti cosicché da divenire sede di ricche falde acquifere.

Depositi di versante

Tra i depositi di versante sono stati riconosciuti i depositi stratificati, formati da frammenti calcarei a spigoli vivi, appiattiti, di piccole dimensioni, talora gradati, e disposti secondo lenti di spessore variabile. Questi livelli più o meno discontinui presentano generalmente un'inclinazione variabile dai 15° ai 30° e si differenziano l'uno dall'altro soprattutto per il contenuto di materiali fini. Essi affiorano soprattutto sul versante orientale dei Monti Sibillini. Le rocce di origine sono rappresentate essenzialmente dalla *Scaglia rosata* e dalla *Maiolica*, anche se non mancano depositi a partire da altre rocce calcaree. I detriti stratificati vengono riferiti a processi di gelifrazione su versanti privi di vegetazione, di ruscellamento diffuso e di soliflusso in ambiente periglaciale (*Coltorti et alii, 1983*). Tra gli altri tipi di depositi di versante vanno ricordati i conoidi di detrito, diffusamente presenti alla base dei fossi, soprattutto in quelli incisi lungo versanti particolarmente acclivi. Questi accumuli sono stati facilmente riconoscibili per la loro tipica forma a ventaglio e sono generalmente costituiti da ghiaie a spigoli vivi di varie dimensioni e provenienti soprattutto dalle litologie che costituiscono i fianchi verticali e rovesci delle macroanticlinali

Depositi eluvio-colluviali

Particolarmente diffusi su quasi tutto il territorio, e soprattutto nelle aree dove affiorano terreni facilmente erodibili, sono i depositi colluviali, dati da materiali a prevalente granulometria

fine, che sovente bordano con raccordi concavi i pendii collinari. La loro età è in genere recente e la loro deposizione è talora tuttora attiva. Le coperture eluvio colluviali poco potenti dei versanti montuosi vengono diffusamente interessati da fenomeni franosi superficiali, attivati da precipitazioni intense e prolungate.

3.3 ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Sulla base di un ampia letteratura scientifica che, nel corso degli anni, vari autori hanno trattato si è cercato di fornire un quadro esaustivo del generale assetto strutturale dell'area investigata. In particolare i limiti amministrativi del comune di Montefortino si collocano lungo il settore settentrionale della struttura di accavallamento frontale dei Sibillini.

Il principale elemento tettonico-strutturale è appunto il sovrascorrimento dei M.ti Sibillini che ad andamento circa NW-SE interessa i settori occidentali dell'areale di studio. L'unità di tetto è rappresentata da una macroanticlinale di rampa (l'anticlinale di M.te Castel Manardo - M.te Sibilla) la quale costituisce una piega rovesciata verso est che interessa la successione che va dal *Calcare Massiccio* (a contatto per faglia cieca con i calcari diasprigni) alla *Scaglia rossa*. Questa è sovrapposta alla successione di letto rappresentata dai termini emipelagici Cenozoici della serie umbro-marchigiana con l'interposizione di elementi tettonici intermedi (Scaglie tettoniche). Dai dati disponibili in letteratura si è potuto desumere che l'entità della dislocazione tende progressivamente ad aumentare procedendo verso Sud, quantitativamente i valori dei rigetti nell'area in esame rientrano nell'ordine di 2,5-3 Km come dimostrato da sezioni sismiche interpretative delle geometrie profonde dell'edificio strutturale (*Pierantoni et alii*, 2013).

Procedendo verso oriente, nei settori centrali, affiorano principalmente le formazioni delle *Marne con Cerroghna*, *Bisciario* e in maniera subordinata della *Scaglia Cinerea*. Il generale assetto strutturale delle unità emipelagiche di *footwall* è caratterizzato da pieghe di modeste dimensioni, alle quali talora sono associati modesti sovrascorrimenti (anticlinali e sinclinali orientate NNW-SSE) aventi *plunge* assiali immergenti in maniera alternata verso N e verso S e caratterizzate da più o meno rapide terminazioni,. Trattasi di strutture plicative di secondo ordine interpretabili come pieghe di scollamento che si esauriscono all'interno della *Scaglia cinerea*. Quest'ultime sono determinate da *splay-thrust* che si diramano dal sovrascorrimento principale verso le aree pedemontane orientali. Il più importante elemento tettonico a cinematica distensiva è costituito da una faglia normale orientata circa N-S, in località San Eusebio, che pone a contatto la formazione del *Bisciario* con i termini stratigraficamente medio-bassi della formazione della *Scaglia cinerea* per un valore del rigetto cumulativo stimato su base stratimetrica di qualche centinaio di metri

A partire dall'abitato di Montefortino e per tutto il settore orientale affiorano i termini flyscioidi silicoclastici riferibili alla *Formazione della Laga* in parte obliterati da potenti depositi continentali di natura eluvio-colluviale e alluvionale i quali celano quasi completamente l'assetto geometrico del substrato roccioso. In particolare si sussegue, in continuità stratigrafica, il membro *pre-evaporitico, evaporitico e post-evaporitico*.

3.4 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio esaminato si estende lungo una fascia orientata E-W caratterizzata morfologicamente dall'interazione progressiva ed a tratti ben evidente tra un sistema montuoso che interessa tutta l'area occidentale allineata intorno ad un'asse NNW-SSE e un sistema alto collinare che si sviluppa prevalentemente nella porzione centro-orientale.

Gli aspetti geomorfologici estremamente vari sono legati alle caratteristiche litostrutturali dei terreni e alla loro storia evolutiva. Le varie formazioni geologiche, tutte di tipo sedimentario, di un'età compresa tra il Triass sup. e l'attuale comprendono terreni calcarei, calcareo-marnosi, marnoso-argillosi arenacei e complessi detritici. Tali elementi si fondono tra loro, modellando alti morfologico-strutturali di tipo anticlinalico e linee vallive impostate su motivi plicativi di minor ordine. Volendo effettuare un inquadramento più generale sul modellato superficiale e condurre un confronto ed una correlazione tra la morfologia locale e la distribuzione delle formazioni geologiche, si possono distinguere 2 unità;

- Una zona montuosa occidentale
- Una zona alto collinare orientale

Per quanto riguarda l'assetto geomorfologico dell'area troviamo depositi di copertura, ai piedi dei versanti e nelle vallecole si rinvencono le coltri eluvio-colluviali di natura prevalentemente sabbioso-limosa e/o limoso-argillosa, derivanti dall'alterazione e disfacimento dei termini del substrato; le coltri risultano talora interessate da movimenti di massa antichi o recenti. Nell'area a nord-ovest del centro abitato del capoluogo, si rinvencono per lo più i depositi alluvionali del Fiume Tenna (Età: Olocene – Pleistocene sup.), costituiti prevalentemente da ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa a percentuale variabile, con intercalate lenti o livelli discontinui di limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie.

La morfologia dell'area è condizionata dalla diversa erodibilità dei litotipi da parte degli agenti esogeni: si rilevano dolci pendenze in corrispondenza delle coltri eluvio-colluviali, più facilmente erodibili; laddove invece affiorano i depositi del substrato, più resistenti, le pendenze divengono elevate. L'area di fondovalle a cavallo del Fiume Tenna è dominata da zone

alluvionali a morfologia sub-pianeggiante e da orli di terrazzo fluviale con scarpate che talora superano i 10 m di altezza.

Il principale elemento morfologico spettante il territorio è il F. Tenna che costituisce il principale collettore drenante dell'area. Nel tratto montano da cui trae origine il corso d'acqua si articola secondo un reticolo idrografico poco sviluppato verosimilmente condizionato dall'elevata permeabilità dei litotipi carbonatici su cui scorre. Caratteristiche forme geomorfologiche nell'area esaminata sono le profonde incisioni vallive dovute ad erosione selettiva che ha messo in luce i terreni più antichi e resistenti, generando delle vere e proprie forre, con il talweg incassato tra pareti verticali anche per centinaia di metri.

Nei settori esclusivamente orientali, dove affiorano i litotipi terrigeni, la principale asta fluviale è interessata da una fase di profonda incisione lineare la quale oltre ad aver scalzato il materasso alluvionale ha interessato anche il substrato favorendo lo sviluppo di scarpate fluviali che in talune zone raggiungono i 10m di altezza.

Per quanto riguarda i fenomeni d'instabilità dei versanti, sono stati evidenziati n. 4 dissesti, i cui limiti vengono riportati in maniera fedele rispetto alle cartografie del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Marche).

4.0 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1 DATI GEOTECNICI

Dati pregressi

Per lo studio di Microzonazione di livello 1 e 3 sono stati censiti ed inseriti n. 65 indagini puntuali.

Nello specifico geologico/geotecnico di seguito dettagliate:

Sondaggi a carotaggio continuo che intercettano il substrato (SS): 7

Sondaggi a carotaggio che non intercettano il substrato (S): 6

Prova penetrometrica dinamica media (DP): 15

Prova penetrometrica dinamica super pesante (DS): 3

Prova penetrometrica dinamica leggera (DL): 13

Prova penetrometrica statica (SCPT): 2

Trincea o pozzetto esplorativo (T): 19

Dati acquisiti

Ai dati pregressi, acquisiti per la realizzazione del livello 1 di MS, è seguita una nuova campagna di indagini geognostiche, consistenti nel dettaglio da:

Sondaggi a carotaggio continuo che intercettano il substrato (SS): 1

Sondaggio con prelievo di campioni (SC): 1

Prova penetrometrica in foro (SPT): 1

Per la caratterizzazione geotecnica si è fatto riferimento all'analisi di laboratorio su campioni estratti in talune indagini puntuali oltre che utilizzando la numerosa letteratura tecnica al riguardo che fornisce formule e relazioni di calcolo dei vari coefficienti geotecnici in funzione del parametro da computare e del tipo di strumento utilizzato (es. DPSH, DPM, ecc.).

Nel seguito si riportano i principali parametri geotecnici.

Parametri geotecnici		ELUVIO-COLLUVIALE	SUBSTRATO	SUBSTRATO
		ML-ec	SFLPS	SFALS
γ	(g/cm ³)	1.9	2.3 ÷ 2.4	2.3 ÷ 2.4
c_u	(Kg/cm ²)	0.3 ÷ 1.0	-	-
c'	(Kg/cm ²)	0.1 ÷ 0.2	-	-
ϕ'	(gradi)	23 ÷ 27	➤ 30°	27° ÷ 33°

4.2 DATI GEOFISICI

Dal punto di vista geofisico le prove catalogate, sia reperite che effettuate, sono risultate sia indirette (attive e passive) che dirette, quest'ultime finalizzate alla parametrizzazione delle velocità delle onde S in fori di sondaggio.

Dati pregressi

Per lo studio di Microzonazione sismica di livello 1 erano stati reperite ed archiviate n. 7 siti che hanno interessato n.7 indagini puntuali.

Nello specifico sismico, le indagini erano così di seguito costituite e catalogate:

- Tracce sismiche passive HVSR: 7

Dati acquisiti

Per gli studi di MS livello 3 è stata predisposta una nuova campagna di indagini geofisica mediante la quale si è provveduto alla realizzazione ex novo di:

- Tracce sismiche passive HVSR: 14
- Prova geofisica in foro Downhole: 1
- Tracce sismiche attive Masw: 11

Le nuove indagini sono state eseguite quasi sempre congiuntamente, al fine di meglio caratterizzare le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Vs con la profondità e di ridurre l'incertezza interpretativa che deriva dalle analisi di sismica di superficie.

Le misure HVSR a stazione singola sono state eseguite impiegando un tromografo digitale portatile modello Micromed Tromino® di proprietà dello scrivente soggetto attuatore.

Le misure MASW sono state eseguite utilizzando sismometro PASI GEA 24

Nel seguito sono tabulate le Frequenze fondamentali di risonanza dei terreni e relativa Ampiezza (F0 ed A0), nell'intervallo di campionamento d'interesse ingegneristico tra 0.2Hz e 20Hz ed Ampiezza superiore a 2, ricordando che la frequenza di risonanza fondamentale è quella relativa alla frequenza più bassa.

Name	Qualità	località	F0	A0	F1	A1	F2	A2	FR	AR
HVSR1	Alta	Capoluogo	5,7	2	17,2	3	0	0	5,7	2
HVSR2	Alta	Capoluogo	4	3,4	5,6	3,6	9,5	3	5,6	3,6
HVSR3	Alta	Piedivalle	6,1	4,2	0	0	0	0	6,1	4,2
HVSR4	Alta	Piedivalle	20	2,8	0	0	0	0	20	2,8
HVSR5	Alta	Santa Lucia	6,1	1,8	0	0	0	0	6,15	1,8

HVSR6	Alta	Santa Lucia	0	0	0	0	0	0	0	0
HVSR7	Alta	Capoluogo	4,2	1,9	10	2,1	0	0	4,2	1,9
HVSR8	Alta	Capoluogo	0,95	1,6	19,4	3	0	0	19,4	3
HVSR9	Alta	Montatteglia	8	1,7	20,3	2,2	0	0	20,3	2,2
HVSR10	Alta	Montatteglia	5,5	1,8	9	2,2	0	0	9,01	2,2
HVSR11	Alta	Cerretana	3	2	4,9	2,7	0	0	4,91	2,7
HVSR12	Alta	Cerretana	2,8	2	0	0	0	0	2,81	2
HVSR13	Alta	Bussonico	14	3,2	0	0	0	0	14	3,2
HVSR14	Alta	Bussonico	5,8	2,6	9,5	2,1	0	0	5,8	2,6
HVSR15	Alta	Regattola	6,4	3,1	13,3	3,8	0	0	6,42	3,2
HVSR16	Alta	Serra	6,8	3,1	0	0	0	0	6,8	3,1
HVSR17	Alta	Serra	15	4,5	0	0	0	0	15	4,5
HVSR18	Alta	Collina	6	1,9	0	0	0	0	6	1,9
HVSR19	Alta	Collina	5,9	2,8	9	4	17	3,5	9	4
HVSR20	Alta	Collina	2,2	1,2	0	0	0	0	2,2	1,2
HVSR21	Alta	Regattola	6,3	6,8	0	0	0	0	6,3	6,8

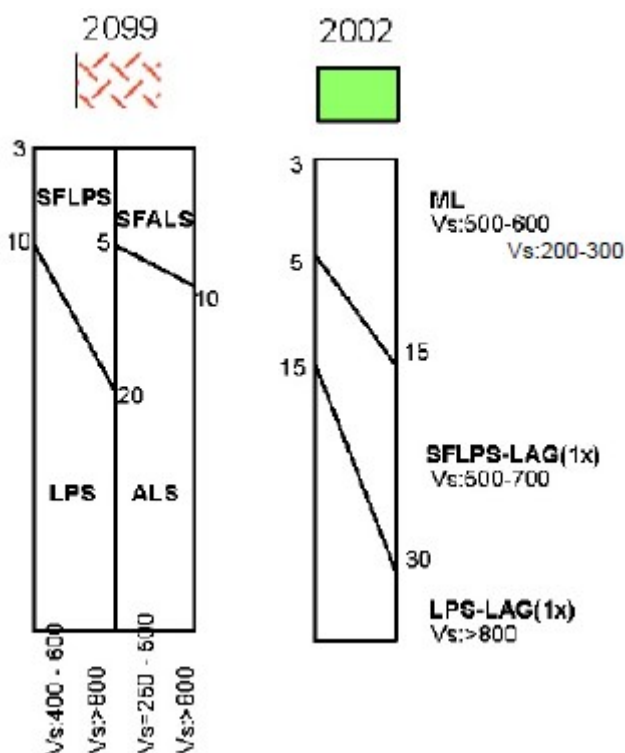
Per una migliore contestualizzazione delle misure, eseguite all'interno dei perimetri MS3 si rimanda agli elaborati cartografici parte integrante del presente studio, in particolare alla carta delle frequenze.

Per quel che riguarda le indagini geofisiche MASW, eseguite *ex novo*, si rimanda all'Allegato1 per i report dei risultati ottenuti.

5.0 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Le conoscenze stratigrafiche locali, derivate da una idonea campagna di rilevamento geologico e dove possibili anche dall'interpretazione di indagini puntuali e lineari, hanno consentito la definizione di un modello del sottosuolo secondo un livello di dettaglio soddisfacente. Segue, quindi, la descrizione del modello geologico di ogni singola microzona indagata coadiuvato da sezioni geologiche interpretative a diversa scala di rappresentazione (All. Sezioni geologiche e Sezioni geologiche del Quaternario):

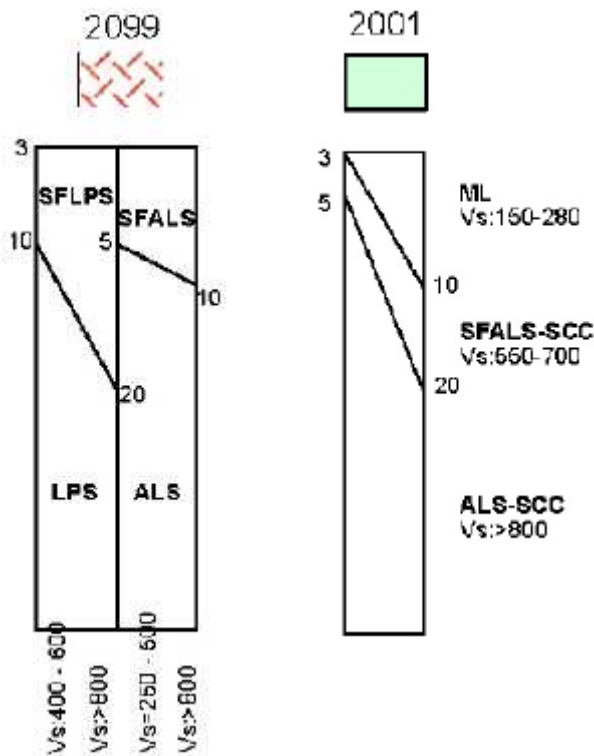
Capoluogo



Il substrato geologico, affiorante in continuità stratigrafica, è costituito rispettivamente dalle formazioni dalle *Marne con Cerrognia-Marne a Pteropodi* (SFALS) e dalla *Formazione della Laga* (SFLPS) in facies arenacea. Le unità emipelagiche e terregine risultano disposte secondo un assetto geometrico della stratificazione immergente verso est secondo differenti angoli di inclinazione, (Sezione Montefortino).

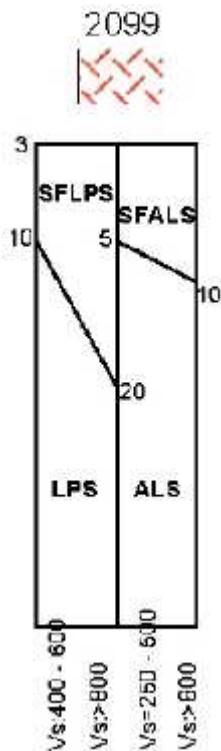
I depositi continentali quaternari, che obliterano soltanto in parte il bedrock geologico nella porzione orientale, sono rappresentati principalmente da coperture di genesi eluvio-colluviale (ML-ec), a geometria lenticolare, che insistono nelle zone impluviali per una potenza variabile (dedotta da indagini investigative) da pochi metri nei settori marginali ad un massimo circa 15m lungo gli assi depocentrali. La categoria di suolo determinata nella verticale del down-hole è la B, con una Vs_{30} pari a 570 m/s.

Piedivalle



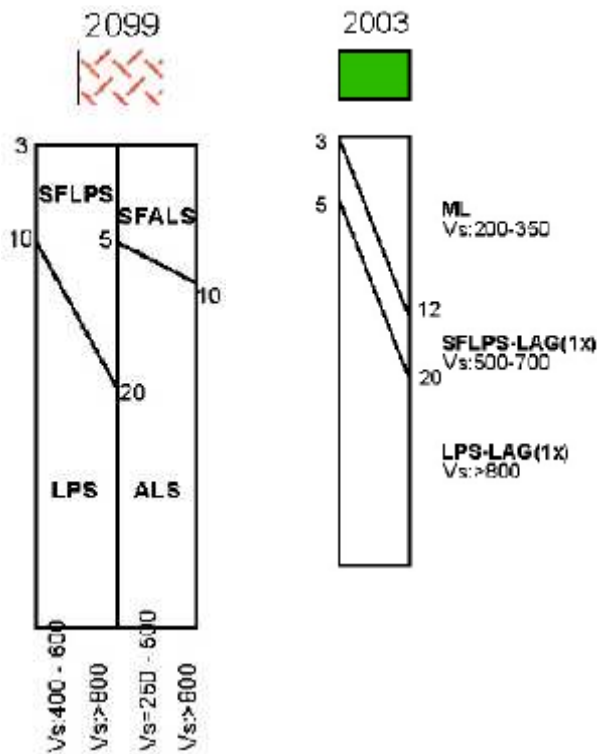
Nell' area di Piedivalle il substrato geologico è rappresentato esclusivamente dalla formazione della *Scaglia cinerea* (ALS) immergente verso NE con un angolo di inclinazione della stratificazione di circa 30°. I depositi continentali quaternari, che obliterano il bedrock geologico nella porzione nord-orientale, sono rappresentati principalmente da coperture di genesi eluvio-colluviale (ML-ec), a geometria lenticolare, che insistono nelle zone impluviali per una potenza variabile (dedotta da indagini investigative) da pochi metri nei settori marginali ad un massimo circa 10m lungo gli assi depocentrali.

Cerretana



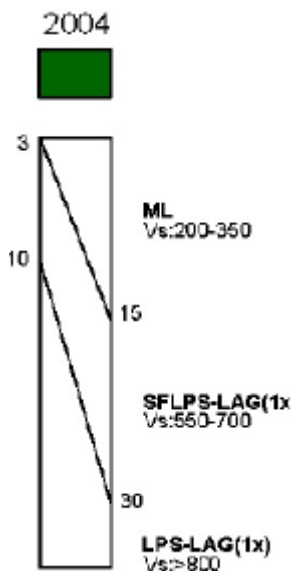
Nell' area dell'abitato di Cerretana il substrato geologico è rappresentato esclusivamente dalla formazione del Bacino della Laga – ass. arenacea (SFLPS) (membro pre-evaporitico) immergente verso NE con un angolo di inclinazione della stratificazione di circa 40°. I depositi continentali quaternari, che obliterano in alcuni punti il bedrock geologico sono di genesi eluvio-colluviale (ML-ec), e mostrano spessori inferiori a 3m.

Bussonico



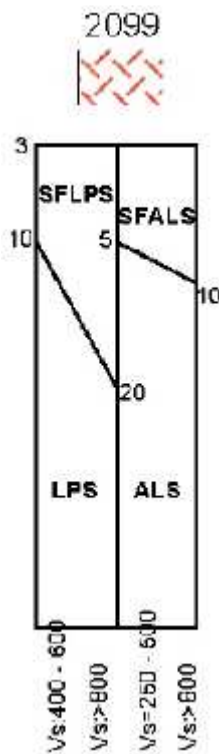
Nell' area dell'edificato di Bussonico il substrato geologico è rappresentato esclusivamente dalla formazione del Bacino della Laga – ass. arenacea (SFLPS) (membro pre-evaporitico) immergente verso NE con un angolo di inclinazione della stratificazione di circa 60°. I depositi continentali quaternari, che obliterano il bedrock geologico nella porzione orientale, sono rappresentati principalmente da coperture di genesi eluvio-colluviale (ML-ec), a geometria lenticolare, che insistono nelle zone impluviali per una potenza variabile (dedotta da indagini investigative) da pochi metri nei settori marginali ad un massimo circa 12m lungo gli assi depocentrali.

Regattola



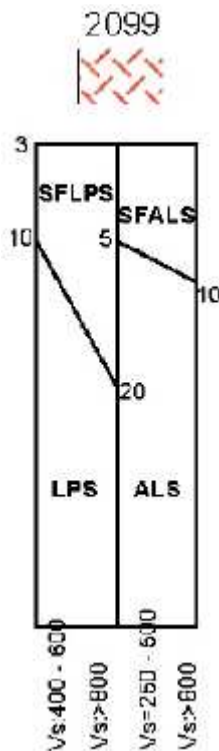
Nell' area della frazione di Bussonico il substrato geologico è rappresentato esclusivamente dalla formazione del Bacino della Laga – ass. arenacea (SFLPS) (membro pre-evaporitico) immergente verso NE con un angolo di inclinazione della stratificazione di circa 70°. I depositi continentali quaternari obliterano in maniera completa il bedrock geologico e sono rappresentati principalmente da coperture di genesi eluvio-colluviale (ML-ec), a geometria lenticolare, che insistono nelle zone impluviali per una potenza variabile (dedotta da indagini investigative) da pochi metri nei settori marginali ad un massimo circa 15m lungo gli assi depocentrali.

Serra



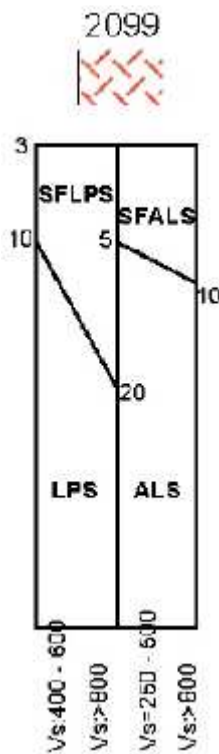
Nell' area dell'abitato di Serra il substrato geologico è rappresentato esclusivamente dalla formazione del Bacino della Laga – ass. arenacea (SFLPS) (membro pre-evaporitico) immergente verso NW con un angolo di inclinazione della stratificazione di circa 10°. I depositi continentali quaternari, che obliterano in alcuni punti il bedrock geologico sono di genesi eluvio-colluviale (ML-ec), e mostrano spessori inferiori a 3m.

S. Lucia



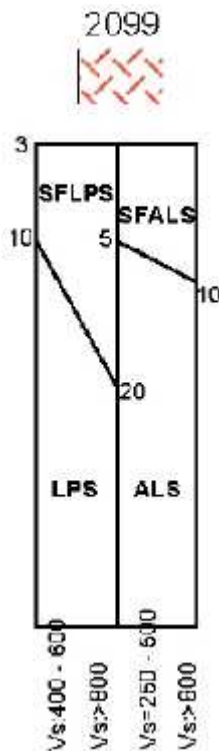
Nella frazione di S. Lucia il substrato geologico è rappresentato esclusivamente dalla formazione del Bacino della Laga – ass. arenacea (SFLPS) (membro pre-evaporitico) immergente verso NE con un angolo di inclinazione della stratificazione di circa 20°. I depositi continentali quaternari, che obliterano in alcuni punti il bedrock geologico sono di genesi eluvio-colluviale (ML-ec), e mostrano spessori inferiori a 3m.

Montatteglia



Nella frazione di S. Lucia il substrato geologico è rappresentato esclusivamente dalla formazione del Bacino della Laga – ass. arenacea (SFLPS) (membro pre-evaporitico) immergente verso NE con un angolo di inclinazione della stratificazione di circa 15°. I depositi continentali quaternari, che obliterano in alcuni punti il bedrock geologico sono di genesi eluvio-colluviale (ML-ec), e mostrano spessori inferiori a 3m.

Collina



Nell' area dell'abitato di Collina il substrato geologico è rappresentato esclusivamente dalla formazione del Bacino della Laga – ass. arenacea (SFLPS) (membro pre-evaporitico) immergente verso NW con un angolo di inclinazione della stratificazione di circa 20°. I depositi continentali quaternari, che obliterano in alcuni punti il bedrock geologico sono di genesi eluvio-colluviale (ML-ec), e mostrano spessori inferiori a 3m.

6.0 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Sulla base delle informazioni di natura geologica, geomorfologica e geotecnica precedentemente esposte, e seguendo le indicazioni provenienti dall'analisi geofisiche sono state dedotte alcune considerazioni di tipo qualitativo circa il comportamento sotto sollecitazione dinamica dei terreni che caratterizzano parte del territorio comunale di Montefortino.

Sin da subito è stata riconosciuta un'ottima coerenza tra i dati relativi alle indagini geognostiche, in alcune frazioni poche, e le risultanze delle prove geofisiche eseguite.

Per quanto concerne l'abitato di **Montefortino** si evince come le misure HVSR, eseguite sulle microzone delimitate, hanno messo in evidenza la presenza di netti contrasti di impedenza sismica a frequenze variabili tanto da poter distinguere diverse MOPS. La situazione sismostratigrafica è sufficientemente chiara grazie anche all'elevato numero di dati in possesso.

La frazione di **Bussonico** è caratterizzata dalla presenza di terreni di copertura nella porzione orientale (depositi eluvio-colluviali) poggianti su un substrato arenaceo che produce contrasti di impedenza chiari. La situazione sismostratigrafica è sufficientemente chiara.

La frazione di **Regattola** è caratterizzata dalla presenza di terreni di copertura (depositi eluvio-colluviali) poggianti su un substrato arenaceo che produce contrasti di impedenza marcati. La situazione sismostratigrafica è sufficientemente chiara.

La frazione di **Piedivalle** è caratterizzata dalla presenza di terreni di copertura nella porzione nord-est (depositi eluvio-colluviali) poggianti su un substrato calcareo-marnoso che produce contrasti di impedenza marcati. La situazione sismostratigrafica è sufficientemente chiara.

Le frazioni di **Cerretana, Serra, Collina, Montatteglia e S. Lucia** sono caratterizzate dalla presenza di un substrato arenaceo affiorante e/o sub-affiorante. Le misure HVSR, eseguite sulle microzone delimitate, pur non presentandosi perfettamente piate non risultano indicare livelli risonanti ben definiti, come evidenziato dallo scarso valore in ampiezza. La situazione sismostratigrafica è sufficientemente chiara.

Premettendo che ogni singola prova HVSr utilizzata nel presente studio, a prescindere dalle osservazioni sopra descritte, è stata confrontata con le risultanze di quelle adiacenti e riferite al medesimo contesto litostratigrafico e geomorfologico. Inoltre il loro utilizzo e la loro interpretazione è stata supportata dal confronto e dalla relativa taratura con altre prove geofisiche e profili stratigrafici derivanti dai sondaggi geognostici dove disponibili.

Alla luce delle osservazioni oggettive fin qui esposte è lecito considerare che nelle principali aree comunali, oggetto di approfondimento di livello 3, un contrasto di impedenza sismico è risultato quasi sempre presente in tutte le stazioni di misura pertanto tali configurazioni sismostratigrafiche rendono queste interfacce potenzialmente responsabili di maggiori fenomeni di amplificazione del moto.

In molti casi analizzati, l'amplificazione si può ricondurre a fenomeni di risonanza tra terreni incoerenti e/o non consolidati al di sopra del bedrock in intervalli di frequenza propri dei principali periodi di vibrazione delle civili abitazioni (*fig.14*): fenomeni di riflessione e rifrazione delle onde sismiche, alle interfacce di discontinuità tra i due tipi di terreno, portano infatti all'intrappolamento delle onde sismiche nello strato superficiale e alla successiva amplificazione; tale configurazione geomorfologica facilita anche la propagazione delle Onde di Love, che sono tra i tipi di onde sismiche più distruttive.

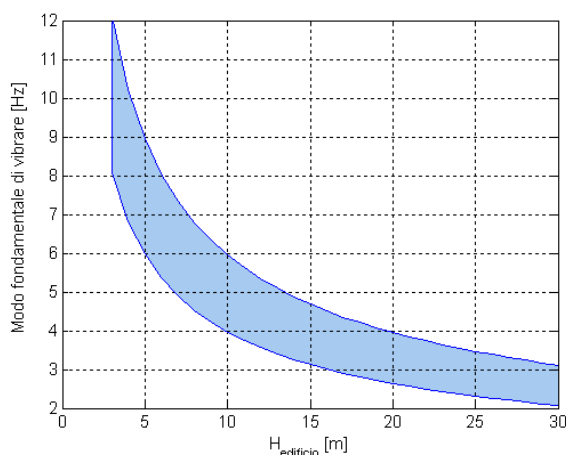


Fig.14 - Relazione tipica tra l'altezza di una struttura in c.a. e la frequenza del primo modo flessionale.

In altri casi, sebbene privi di livelli risonanti, è risultata di primaria importanza l'adeguata caratterizzazione di alcuni parametri rappresentativi tra cui la morfologia, il regime in cui si trovano le acque sotterranee, la natura del sottosuolo e le proprietà dinamiche dei terreni i quali rappresentano i principali attori del complesso fenomeno di amplificazione che racchiude i cosiddetti "effetti di sito".

7.0 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE DEI RISULTATI

Gli Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica indicano come valutare i fattori di amplificazione stratigrafica dell'azione sismica in un sito stabile e potenzialmente soggetto a fenomeni di amplificazione sismica locale, sulla base del particolare ambito geomorfologico, geologico e geotecnico in cui ricade l'area in esame. Di conseguenza sono stati realizzati studi di risposta sismica locale con l'obiettivo di definire, attraverso simulazioni numeriche della propagazione del moto sismico dal basamento roccioso di origine alla superficie, gli accelerogrammi attesi a piano campagna, i relativi spettri di risposta ed i fattori di amplificazione rappresentativi.

Lo studio di risposta sismica locale è stato condotto utilizzando il codice di calcolo STRATA (Alber Kottke), che consente di eseguire simulazioni di propagazione monodimensionale del moto sismico in depositi di terreno stratificati orizzontalmente ed in condizioni di campo libero. Il modello di strati orizzontali e paralleli è stato ritenuto rappresentativo delle reali condizioni del sottosuolo in corrispondenza dei siti oggetto di studio.

Il codice Strata opera nel dominio delle frequenze trasformando, attraverso l'algoritmo FFT (Fast Fourier Transformer), una storia temporale generica di input in una somma di sollecitazioni armoniche di ampiezza, frequenza e fase variabile, e valutando la risposta del deposito di terreno alla sollecitazione casuale applicata come somma delle risposte alle singole sollecitazioni armoniche. In particolare, attraverso la soluzione teorica del modello a strati continui e paralleli, il codice calcola la funzione di trasferimento tra strati successivi; lo spettro di Fourier del moto allo strato i -esimo è ottenuto dalla convoluzione tra lo spettro di Fourier del moto di input e la funzione di trasferimento; infine tramite l'algoritmo IFFT lo spettro di Fourier dell' i -esimo strato è trasformato nel corrispondente accelerogramma.

Il comportamento non lineare e dissipativo del terreno (riduzione della rigidezza a taglio, G e incremento dello smorzamento, D all'aumentare delle deformazioni di taglio, γ indotte dal sisma) è tenuto in conto attraverso un approccio lineare equivalente, ovvero il codice esegue una serie di analisi lineari complete in tensioni totali aggiornando iterativamente la rigidezza e lo smorzamento del terreno al crescere delle deformazioni, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. È pertanto stato importante determinare sperimentalmente con la massima accuratezza possibile la rigidezza iniziale di ogni strato di terreno, le curve di decadimento del modulo $G(\gamma)$ e di incremento del damping $D(\gamma)$.

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 γ_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 γ = deformazione a taglio ;
- gli accelerogrammi di input.

7.1 Sequenze litostratigrafiche, peso dell'unità di volume

Le sequenze litostratigrafiche utilizzate per le simulazioni numeriche sono state dedotte dall'analisi critica delle indagini geologiche, geotecniche e geofisiche e ricondotte alle microzone determinate (Cap. 5 Modello del sottosuolo). I terreni presenti in corrispondenza dei siti oggetti di studio sono stati suddivisi in 7 gruppi litologici:

- Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi a bassa plasticità (ML-ec);
- Substrato geologico alternanza di litotipi stratificati (ALS)
- Substrato geologico lapideo stratificato (LPS)

Il peso volume delle unità delle coperture e del substrato geologico non rigido è stato posto pari a un valore variabile tra $18.5 \div 20 \text{ kN/m}^3$.

Il bedrock sismico è pari a 23 kN/m^3 . Quest'ultimo, a volte non coincidente con il substrato geologico, è stato identificato con il primo strato in corrispondenza del quale la V_s calcolata è risultata maggiore di 800 m/s .

7.2 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 fornite dai referenti della macroarea Marche 2 e riguardano misure su litotipi simili provenienti dai comuni limitrofi e dalla letteratura tecnica esistente.

Le coperture ML-ec del capoluogo sono state oggetto di prove geomeccaniche da parte dell'unità operativa di Marche 3, nello specifico dal Politecnico di Torino, i cui risultati sono visibili nell'Allegato 1.

Mentre per i substrati sono stati utilizzati dati da bibliografia come da indicazioni fornite dai referenti del raggruppamento Marche 3.

7.3 Accelerogrammi di input

Sono stati utilizzati come moti di input (applicati su affioramento rigido) i sette accelerogrammi naturali, forniti dal Centro MS opportunamente estratti per il comune di Montefortino.

Gli spetti di risposta in pseudoaccelerazione nonché le storie temporali dell'accelerazione e le principali caratteristiche di tali segnali sono riportati in Figura 16.

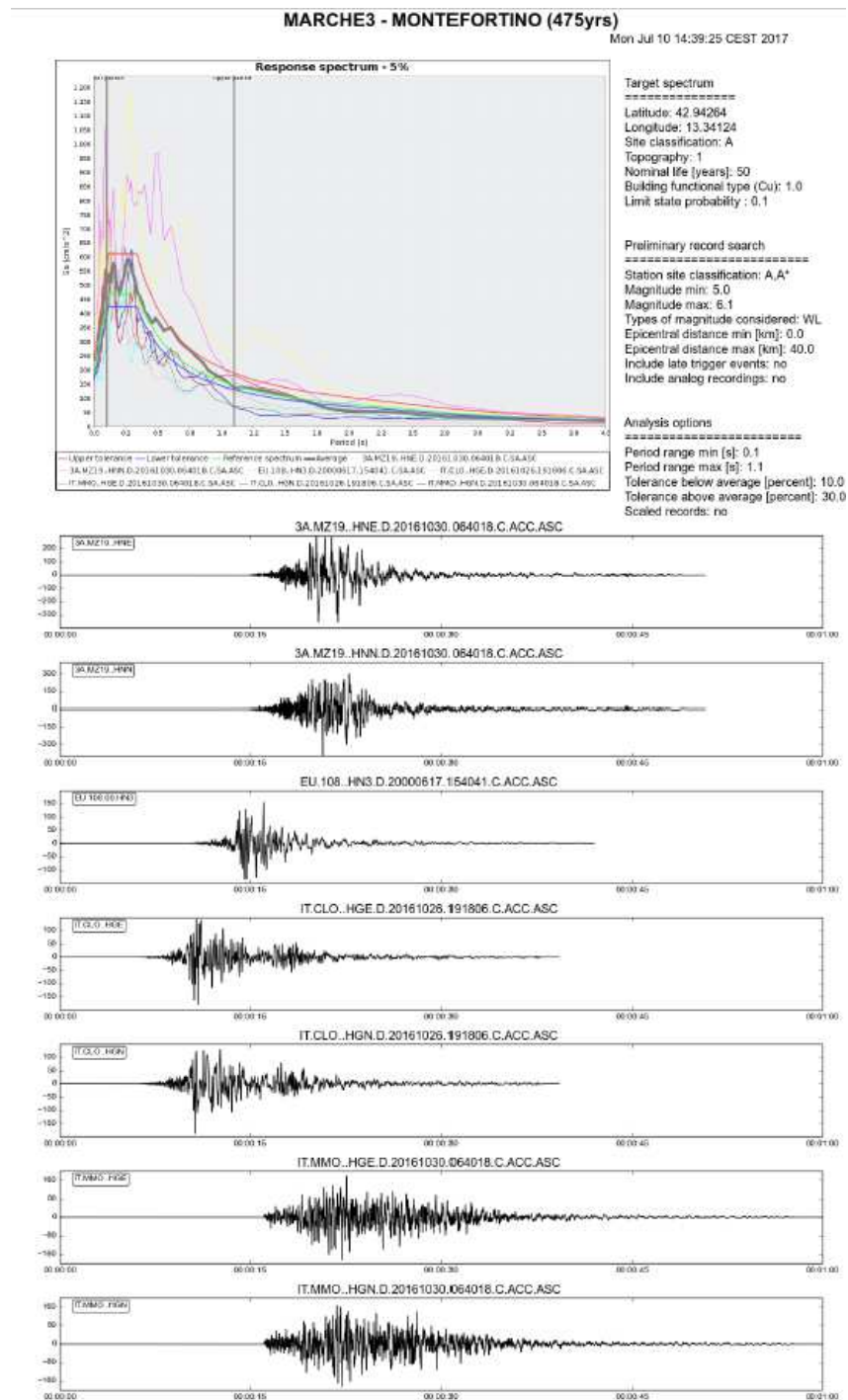


Fig.16- Spettri di risposta in pseudoaccelerazione e storie temporali dei singoli eventi sismici

7.4 Risultati

I risultati delle analisi di risposta sismica locale monodimensionale 1D sono rappresentati nel seguito in termini di spettri di risposta di pseudoaccelerazione PSA dei moti sismici calcolati in superficie e per mezzo dei fattori di amplificazione del moto sismico, definiti secondo tre intervalli di periodo come:

$$FA_{0,1 - 0,5} = \frac{SI_{0,1 - 0,5} \text{ PSA output}}{SI_{0,1 - 0,5} \text{ PSA input}}$$

$$FA_{0,4 - 0,8} = \frac{SI_{0,4 - 0,8} \text{ PSA output}}{SI_{0,4 - 0,8} \text{ PSA input}}$$

$$FA_{0,7 - 1,1} = \frac{SI_{0,7 - 1,1} \text{ PSA output}}{SI_{0,7 - 1,1} \text{ PSA input}}$$

dove:

PSA output = spettro di risposta di pseudo-accelerazione del moto sismico, calcolato in superficie;








PSA input = spettro di risposta di pseudo-accelerazione del moto sismico di input.

Per le microzone in cui non si è raggiunto il bedrock sismico con le prove geofisiche MASW sono state effettuate analisi congiunte tra misure HVSR e MASW al fine di identificare la profondità del bedrock sismico, fatto coincidere con l'inizio delle Vs pari a 800m/s.

Per le microzone relative al capoluogo è stata predisposta, in aggiunta all'analisi 2D, una risposta sismica locale 2D eseguita sulla sezione geologica di riferimento e finalizzata alla quantificazione del contributo in termini di amplificazione indotta anche dal fattore topografico.

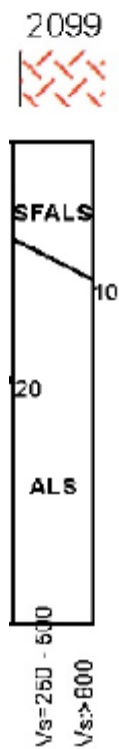
Per questo motivo il computo dell'analisi bidimensionale viene visualizzato a parte con la dicitura "**2D**" in termini di fattori di amplificazione, i risultati ottenuti sono stati forniti direttamente dal referente del gruppo di lavoro Marche 3 (Allegato 2).

Per semplicità gli accelerogrammi di output e gli spettri di output verranno indicati con la nomenclatura semplificata come sotto riportata

Acc. Input	Acc Output	Spettro Output
 3A.MZ19..HNE.D.20161030.064018.C.ACC.ASC	Acc.1	Spettro 1
 3A.MZ19..HNN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC	Acc.2	Spettro 2
 EU.108..HN3.D.20000617.154041.C.ACC.ASC	Acc.3	Spettro 3
 IT.CLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC	Acc.4	Spettro 4
 IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC.ASC	Acc.5	Spettro 5
 IT.MMO..HGE.D.20161030.064018.C.ACC.ASC	Acc.6	Spettro 6
 IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC	Acc.7	Spettro 7

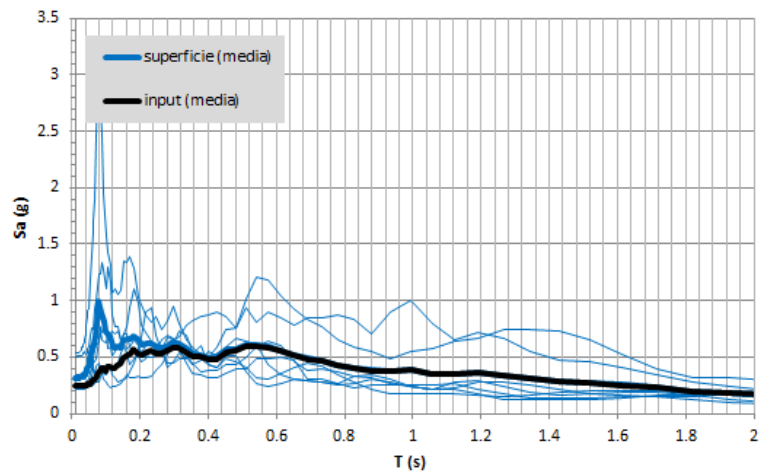
I risultati sono organizzati secondo lo schema che segue:

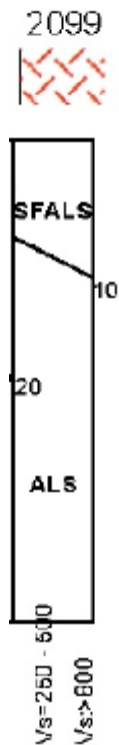
Montefortino capoluogo



Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.13	1.02	1.01





Modellazione 2d

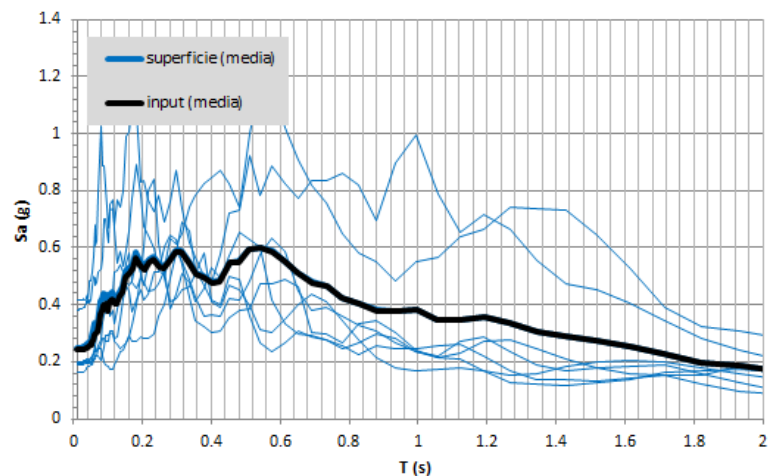
FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.44	1.60	1.40

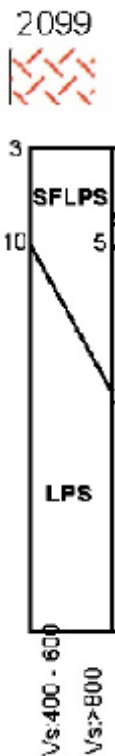
La modellazione 2d è stata fornita allo scrivente dal gruppo di supporto Marche 3. La differenza riscontrata tra la modellazione 1d e 2d è sostanzialmente dovuta agli effetti topografici del sito che nella modellazione 1d vengono trascurati. Visto il confronto tra le due modellazioni è stata presa a riferimento quella 2d nella stesura delle cartografie degli Fa perché ritenuta più cautelativa. Si veda l'Allegato 2



Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.02	1.00	1.00

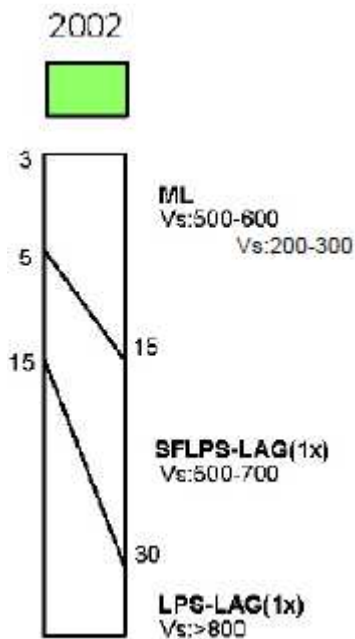




Modellazione 2d

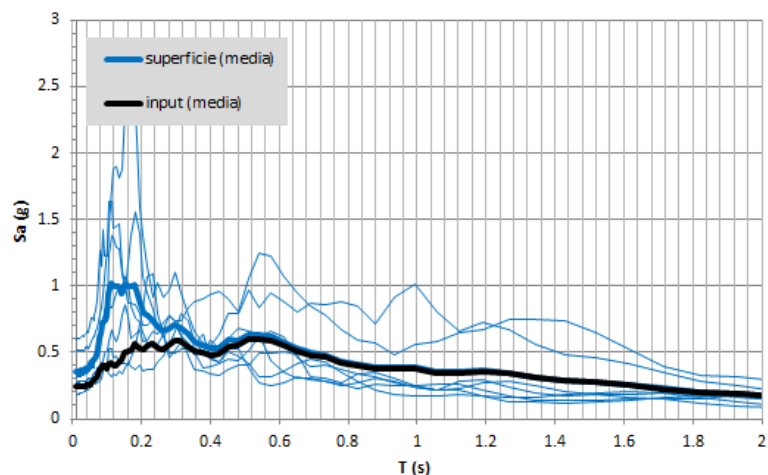
FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.21	1.13	1.16

La modellazione 2d è stata fornita allo scrivente dal gruppo di supporto Marche 3. La differenza riscontrata tra la modellazione 1d e 2d è sostanzialmente dovuta agli effetti topografici del sito che nella modellazione 1d vengono trascurati. Visto il confronto tra le due modellazioni è stata presa a riferimento quella 2d nella stesura delle cartografie degli Fa perché ritenuta più cautelativa. Si veda l'Allegato 2.



Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.35	1.05	1.02

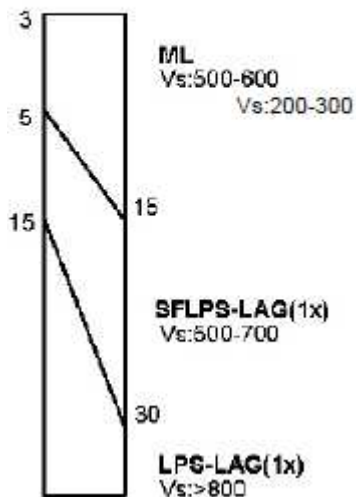


2002



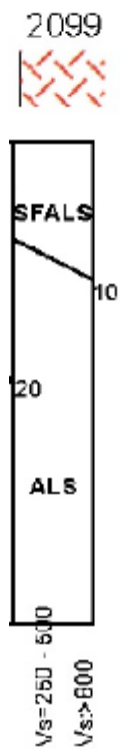
Modellazione 2d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.62	1.09	1.12



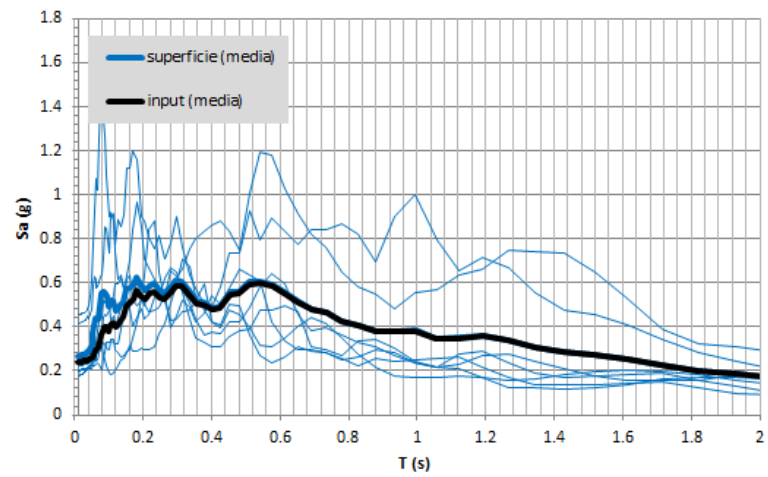
La modellazione 2d è stata fornita allo scrivente dal gruppo di supporto Marche 3. La differenza riscontrata tra la modellazione 1d e 2d è sostanzialmente dovuta agli effetti topografici del sito che nella modellazione 1d vengono trascurati. Visto il confronto tra le due modellazioni è stata presa a riferimento quella 2d nella stesura delle cartografie degli Fa perché ritenuta più cautelativa. Si veda l'Allegato 2.

Piedivalle



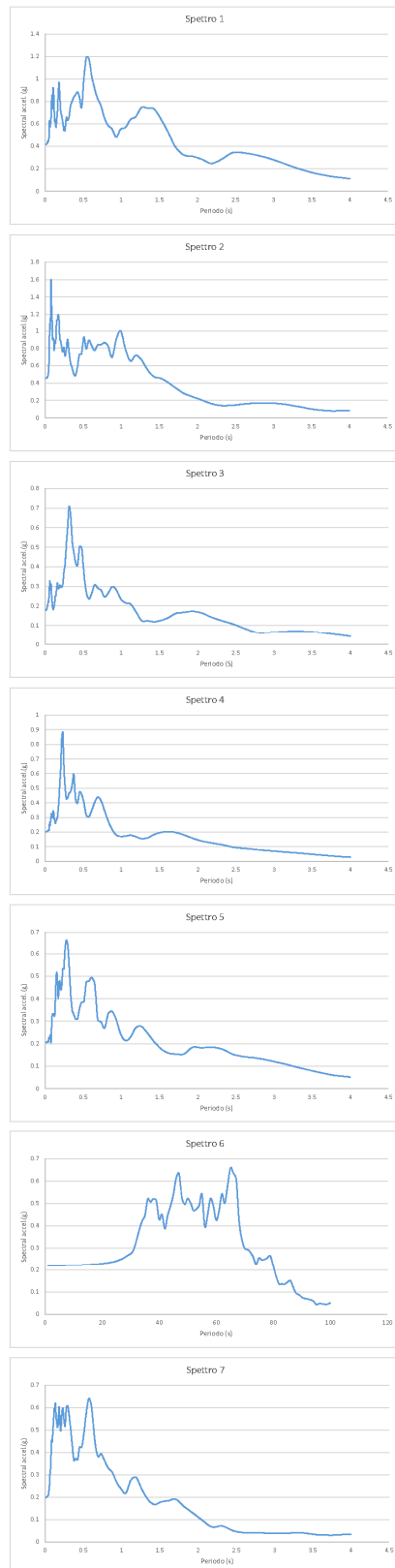
Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.06	1.01	1.01

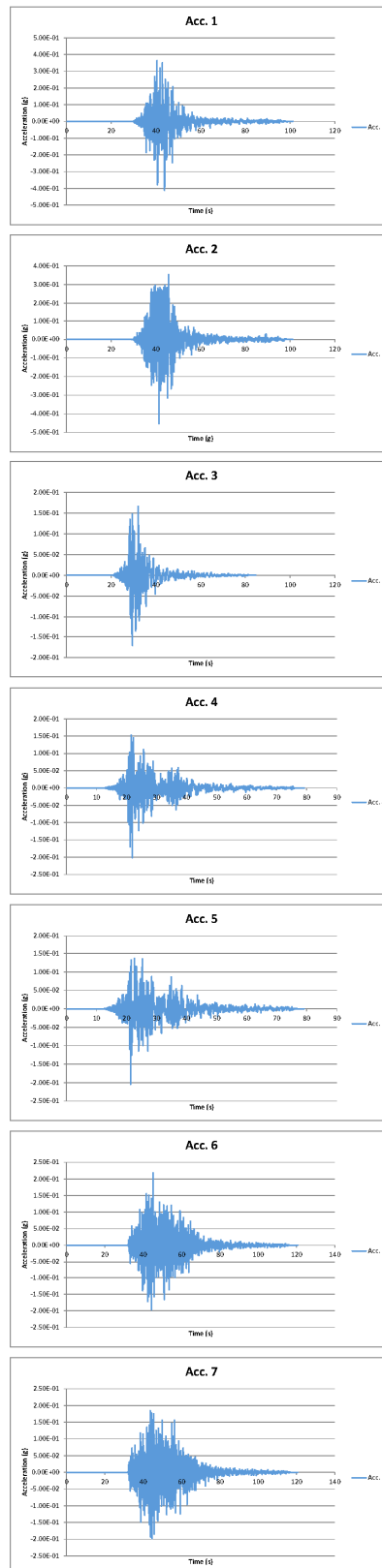


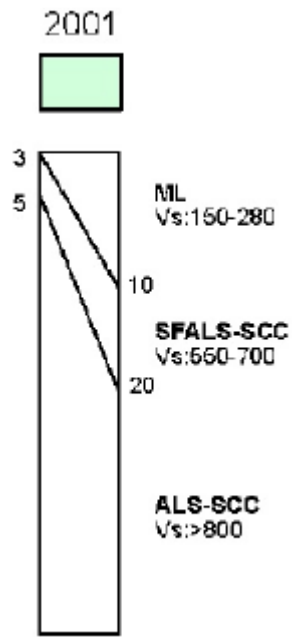
Di seguito gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in forma grafica

Spettro Output



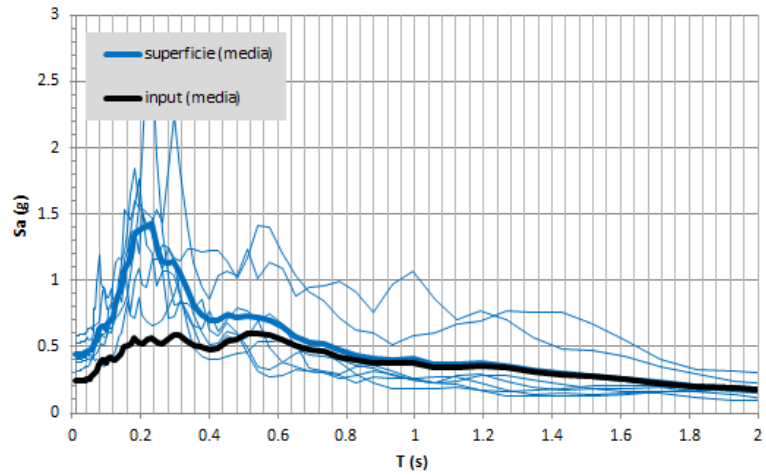
Accelerogramma Output





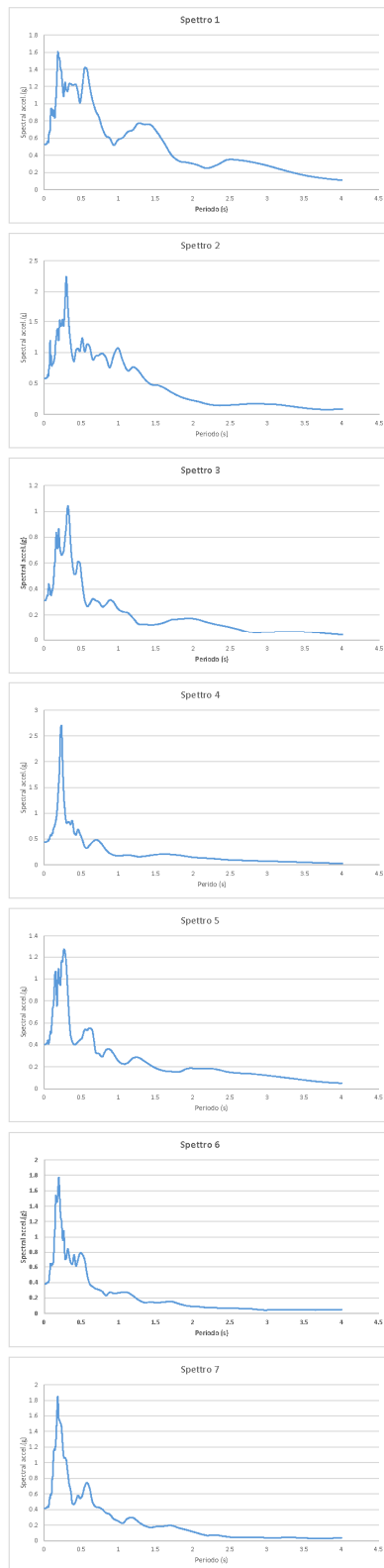
Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.86	1.19	1.08

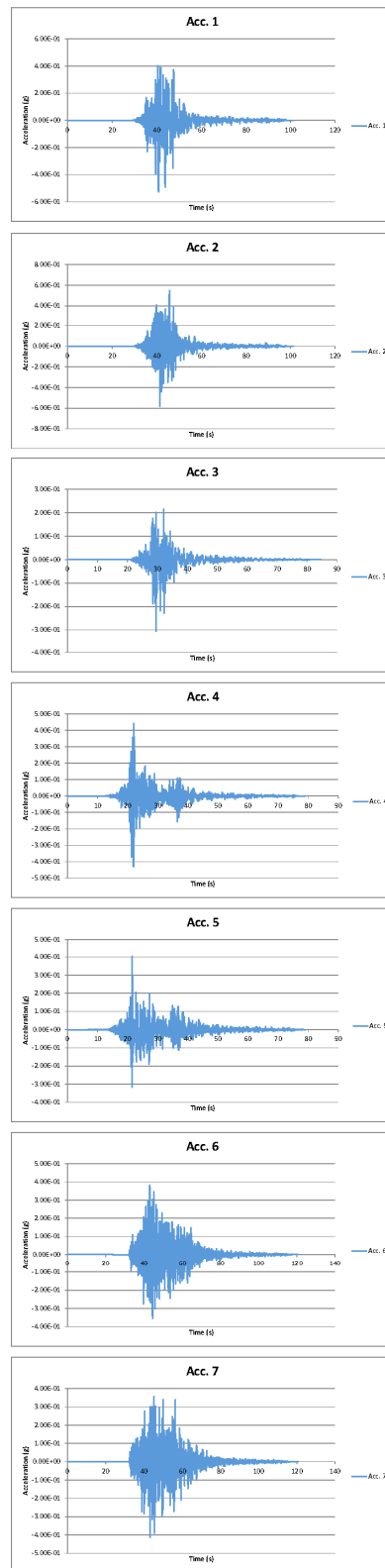


Di seguito gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in forma grafica

Spettro Output



Accelerogramma Output



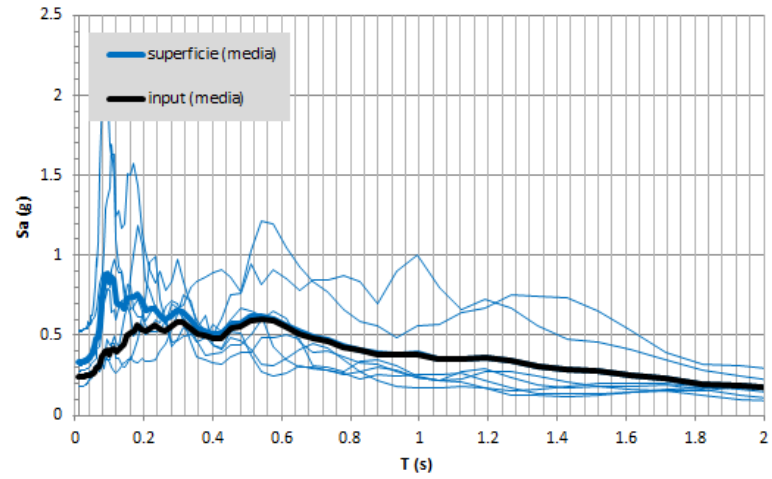
Cerretana

2099



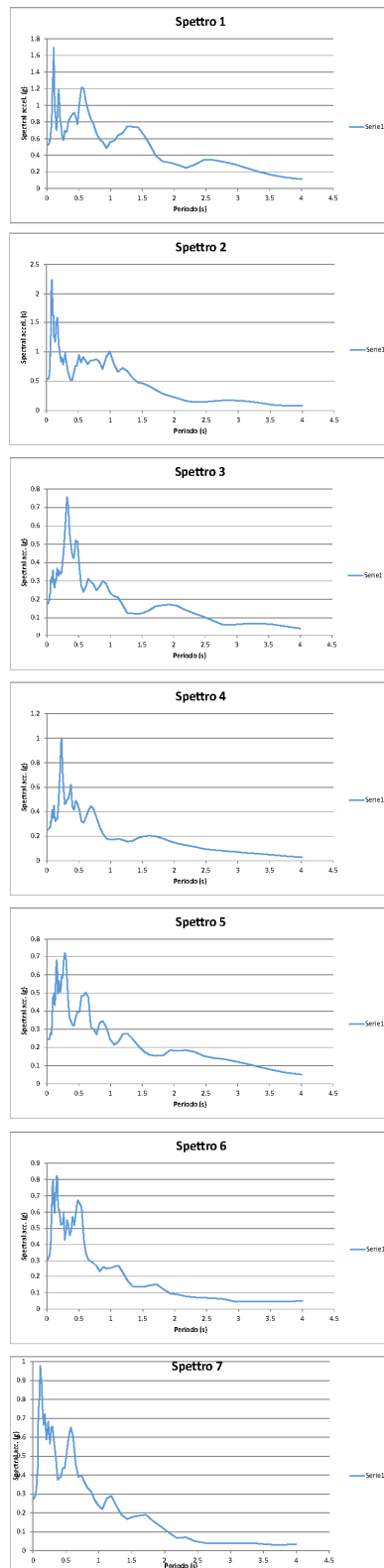
Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.19	1.03	1.01

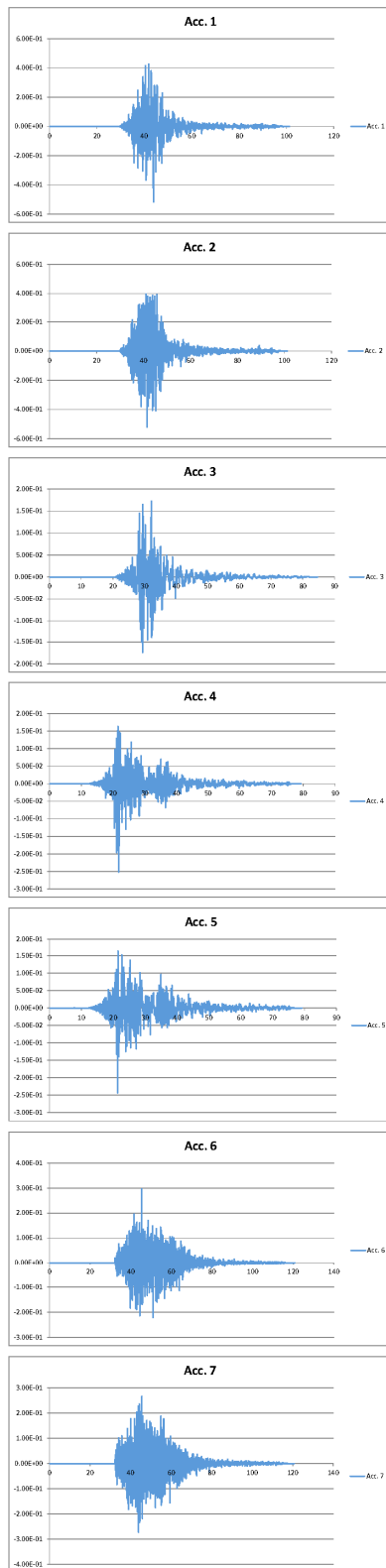


Di seguito gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in forma grafica

Spettro Output



Accelerogramma Output

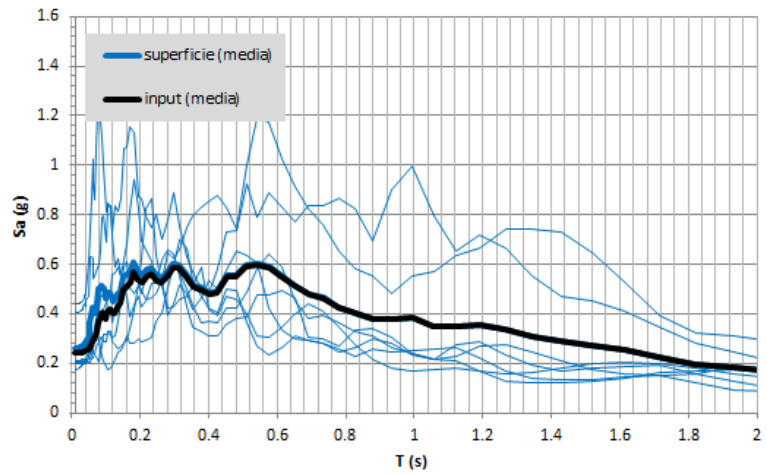


Bussonico



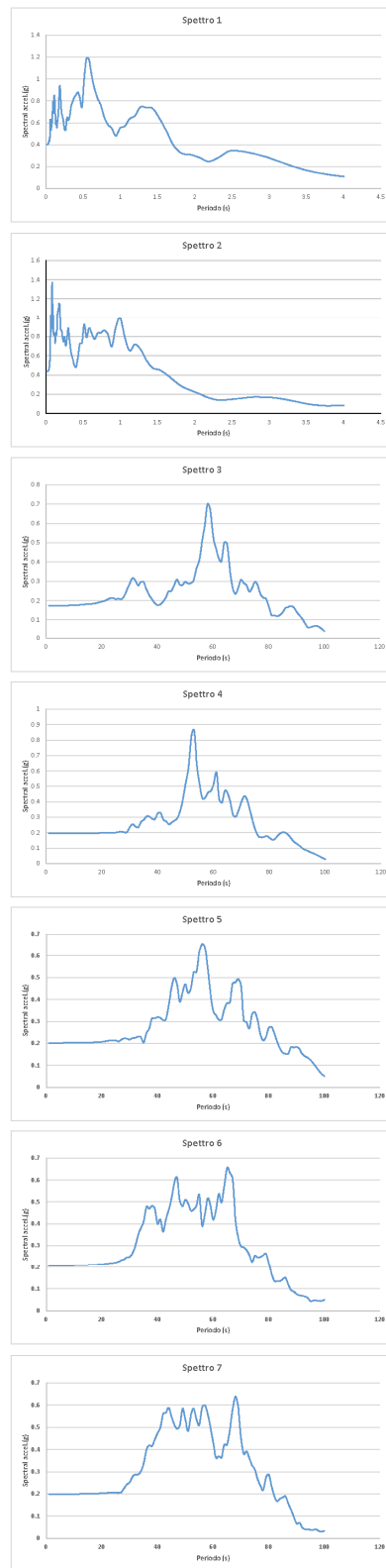
Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.04	1.01	1.00

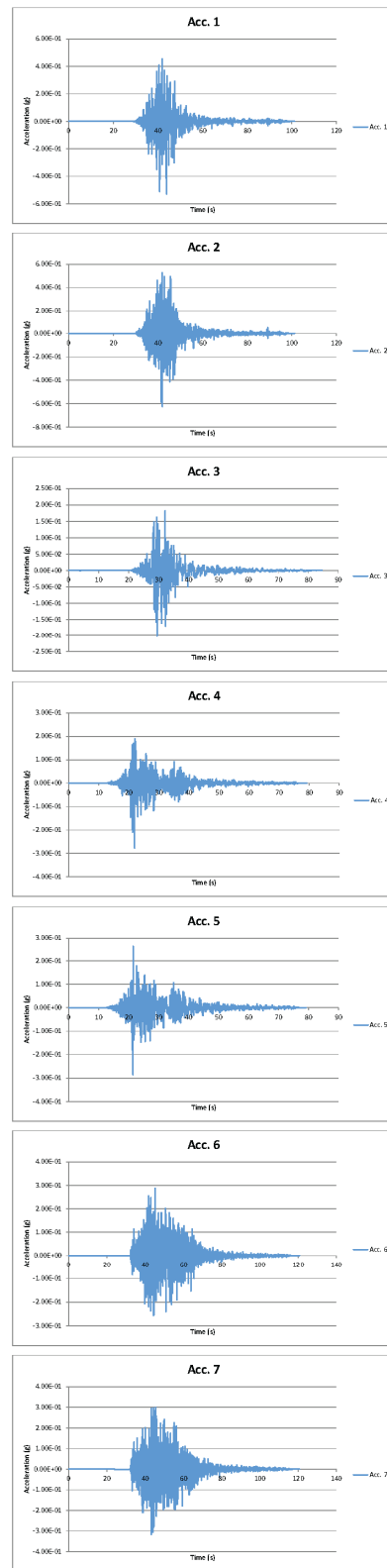


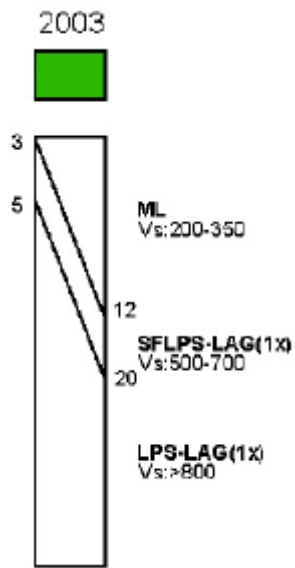
Di seguito gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in forma grafica

Spettro Output



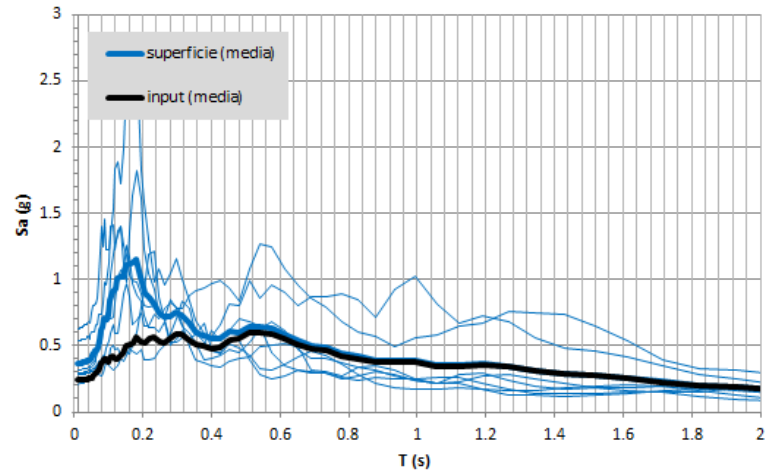
Accelerogramma Output





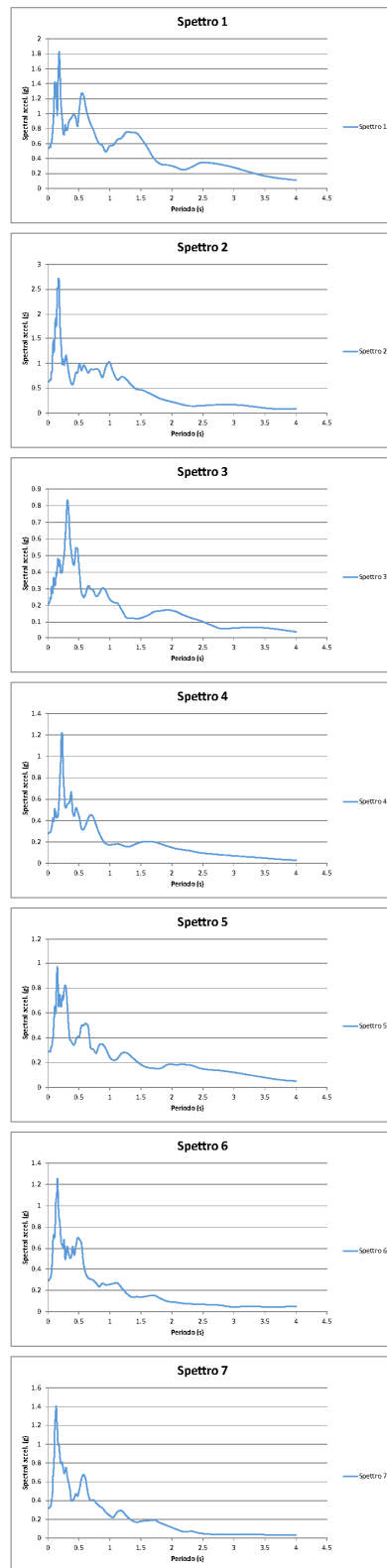
Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.43	1.07	1.03

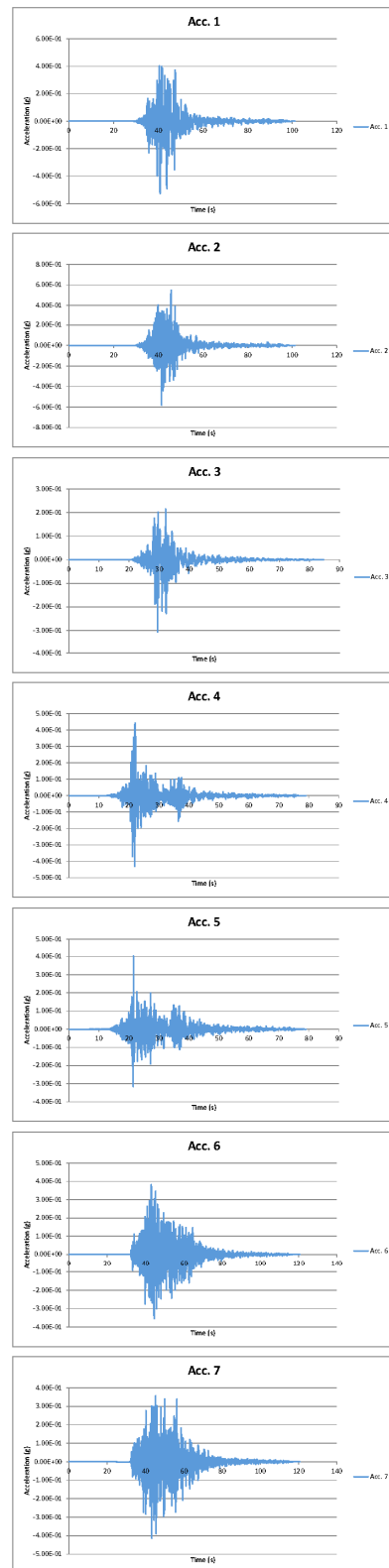


Di seguito gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in forma grafica

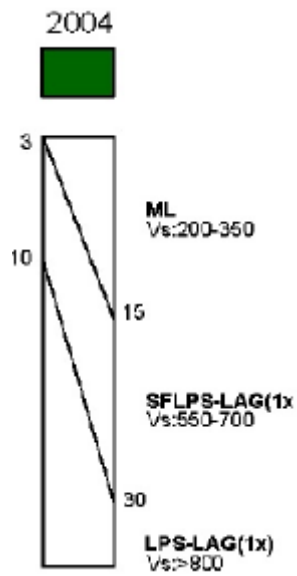
Spettro Output



Accelerogramma Output

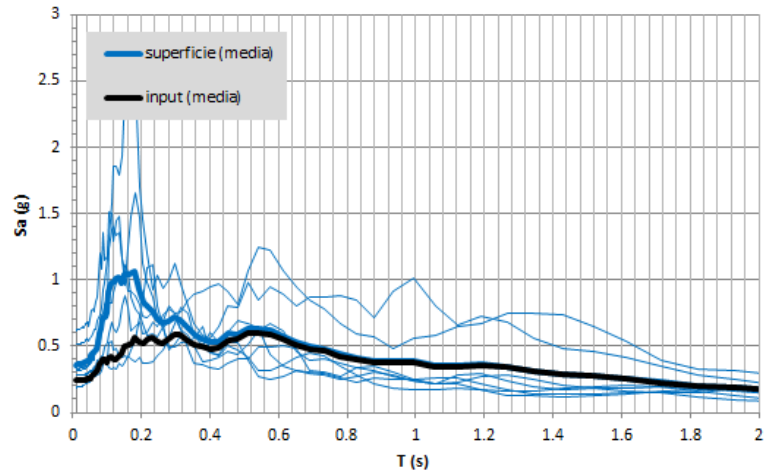


Regattola



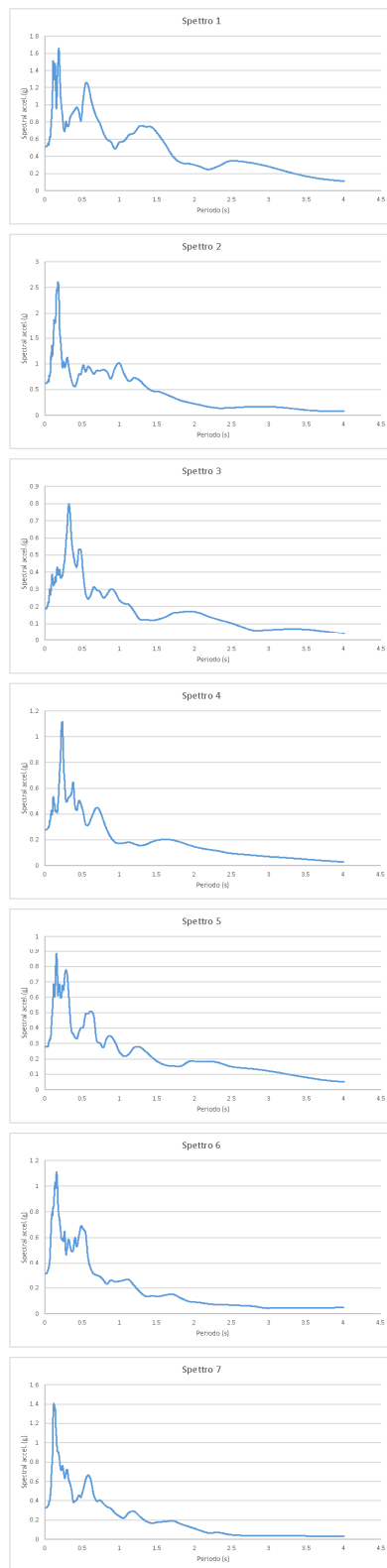
Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.37	1.06	1.03

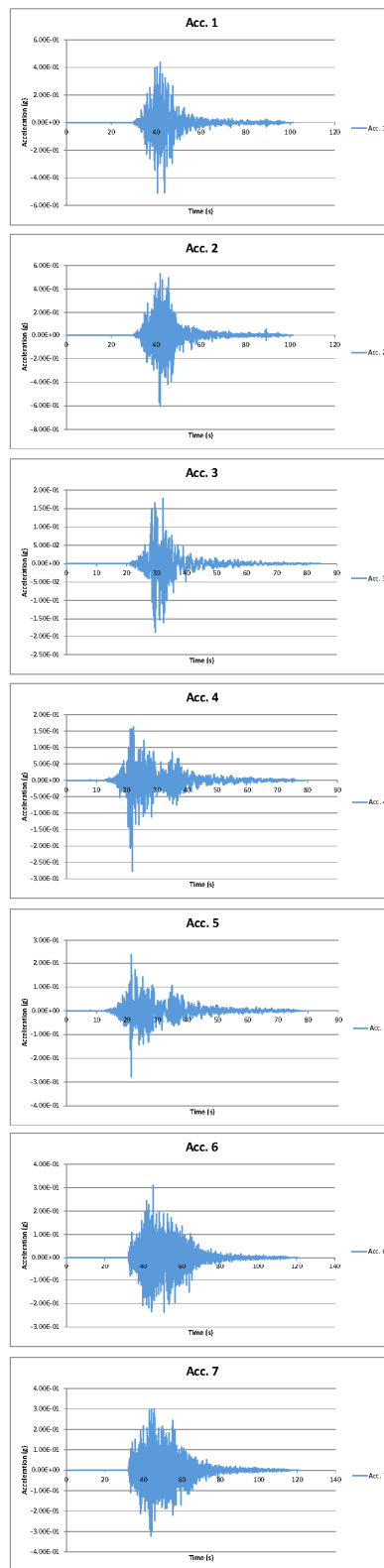


Di seguito gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in forma grafica

Spettro Output



Accelerogramma Output



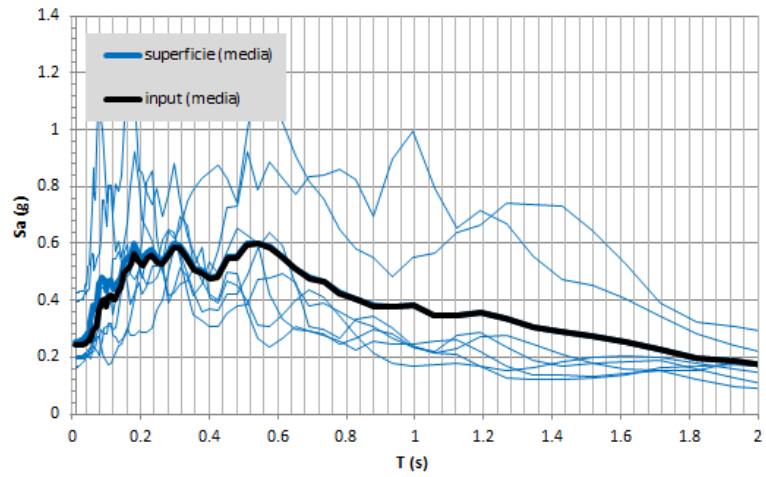
Collina e Serra

2099



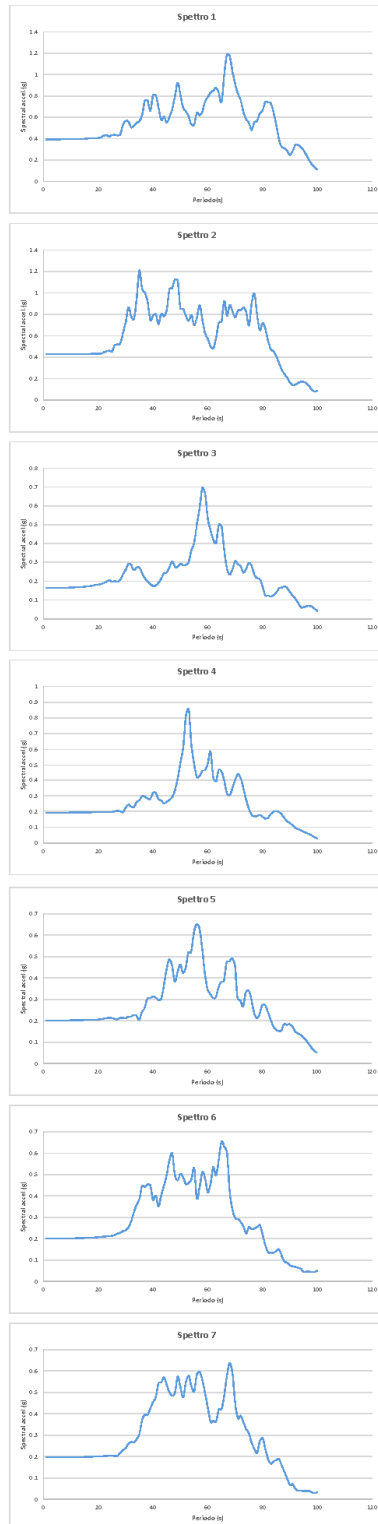
Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.03	1.01	1.00

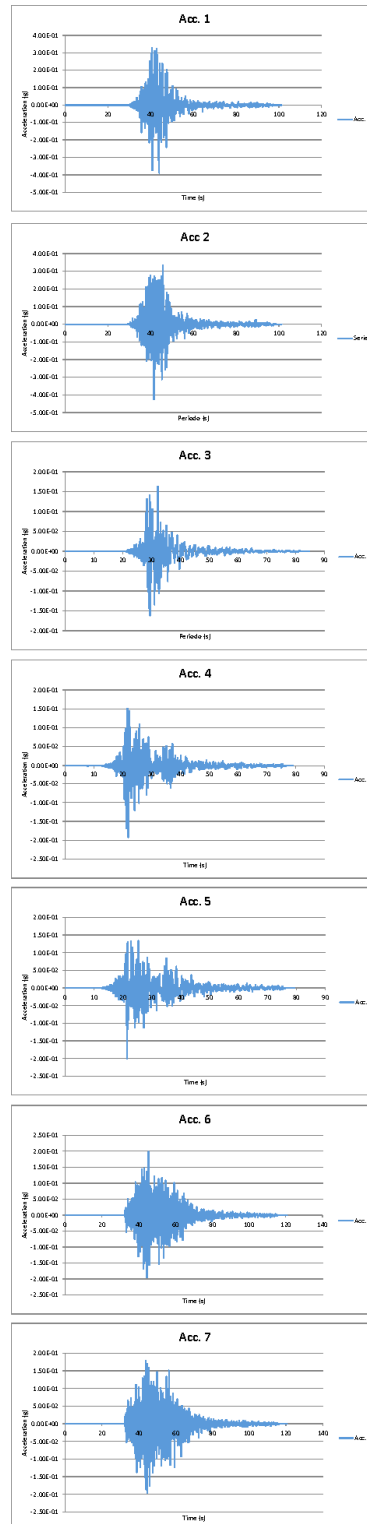


Di seguito gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in forma grafica

Spettro Output



Accelerogramma Output

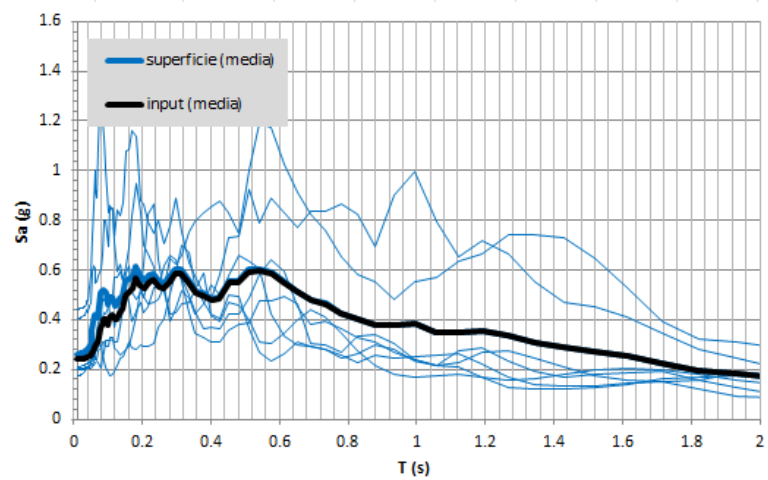


S. Lucia



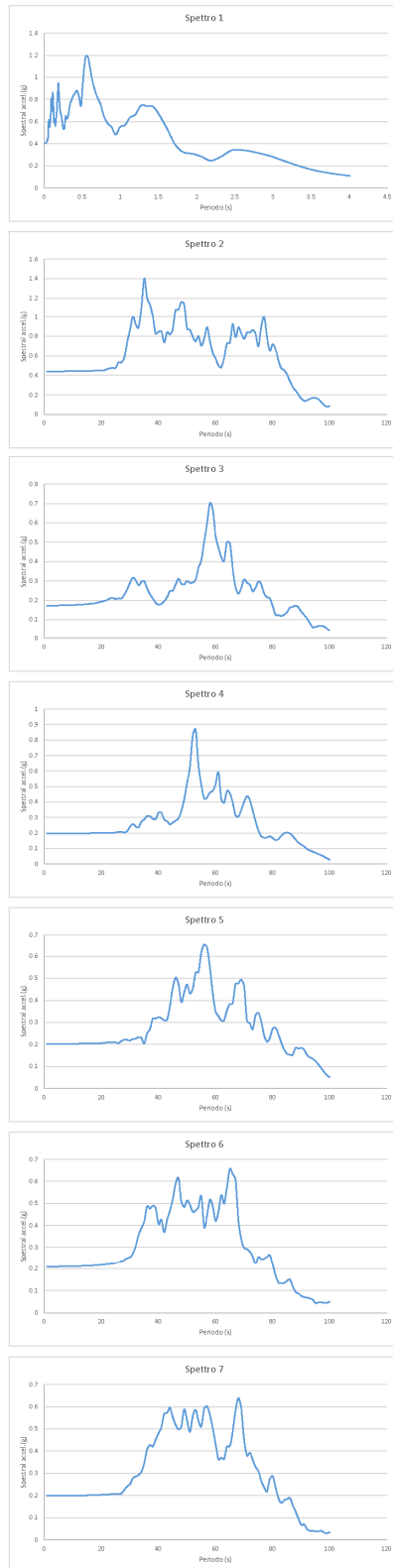
Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.05	1.01	1.00

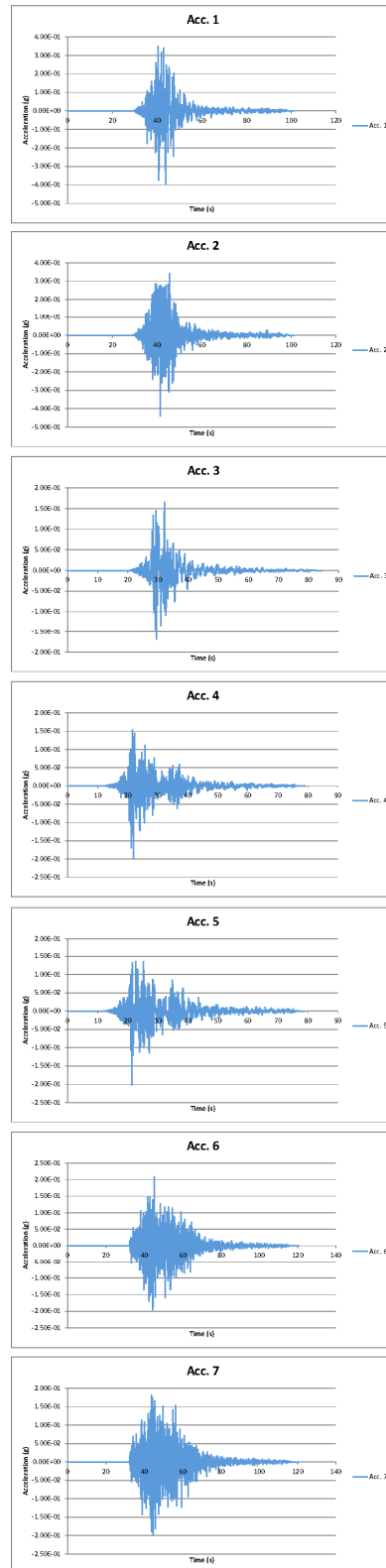


Di seguito gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in forma grafica

Spettro Output



Accelerogramma Output



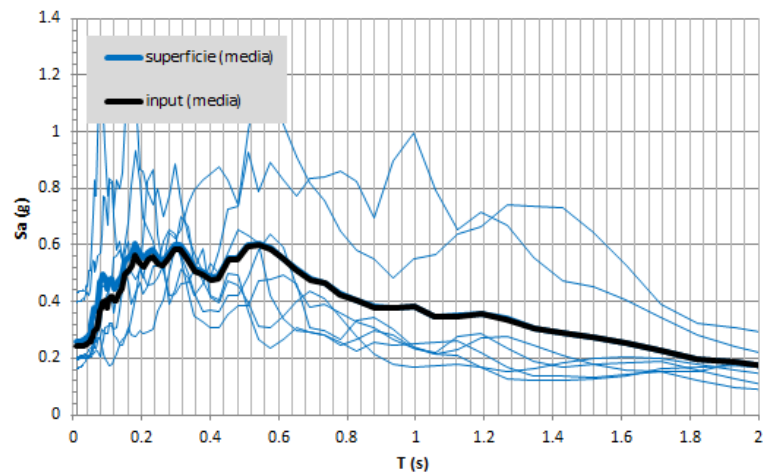
Montatteglia

2099



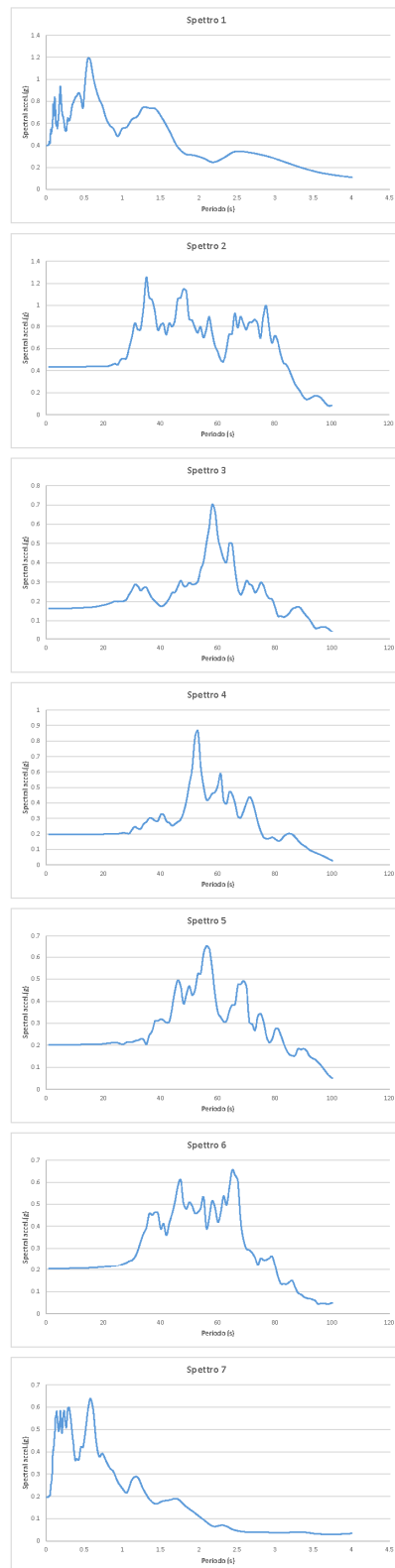
Modellazione 1d

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.04	1.01	1.00

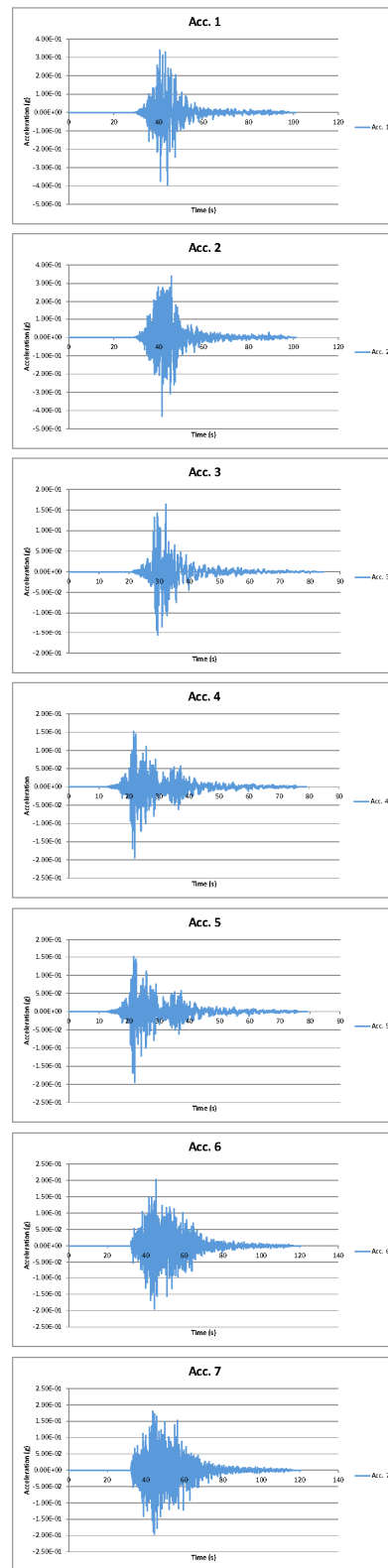


Di seguito gli accelerogrammi e gli spettri di risposta in forma grafica

Spettro Output



Accelerogramma Output



8.0 ELABORATI CARTOGRAFICI

CARTA DELLE INDAGINI

Nella carta sono state riportate le indagini utilizzate e prese come riferimento per il presente studio. Nello specifico sono state utilizzate sia le indagini pregresse derivanti dagli studi di microzonazione sismica di livello I, integrate con le indagini reperite successive agli studi suddetti, inoltre sono state realizzate indagini ex-novo concordate con i referenti della macroarea Marche 3. Le ubicazioni non presentano margini di errore significativi; in alcuni siti dove sono disponibili diverse tipologie di indagini si è cercato di “posizionare” i punti di misura nella maniera più adeguata possibile per la leggibilità della carta.

- La Carta delle indagini si autocommenta con legenda a fronte.

CARTA GEOLOGICO-TECNICA

Si tratta di un elaborato di fondamentale importanza per la definizione dei caratteri litotecnici delle unità geologiche affioranti e rappresenta lo strumento di base per la redazione della carta delle MOPS (Microzone Omogenee in prospettiva Sismica).

Tale cartografia è stata realizzata considerando la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni che contraddistinguono le varie unità litostratigrafiche, differenziando i terreni di copertura da quelli del substrato geologico.

Per la sua definizione, sono state valutate quindi le caratteristiche geotecniche dei diversi complessi e formazioni litologiche, i parametri geomeccanici che fanno riferimento a dati relativi alla composizione litologica, alla densità specifica, al contenuto d’acqua, allo stato di consistenza e compattezza dei terreni, intesa come grado d’addensamento, grado di fratturazione e di alterazione, ecc.. A tal proposito sono stati utilizzati sia i dati ricavati dalle numerose indagini in sito reperite per lo studio, sia utilizzando dati provenienti dalla letteratura (Cfr. Cap. 4).

La descrizione delle unità geologiche e litotecniche individuate, nonché le caratteristiche geotecniche delle stesse, sono ampiamente discusse nei Capitoli 3 e 4 del presente studio.

- La Carta geologico-tecnica si autocommenta con legenda a fronte.

SEZIONI GEOLOGICHE

Al fine di meglio comprendere il modello geologico del sottosuolo, sono state realizzate n° 2 sezioni geologiche, redatte alla scala 1:5.000, utili per la rappresentazione dell’assetto geologico

strutturale nonché dell'andamento del contatto stratigrafico tra i terreni di copertura ed il substrato geologico.

CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA O CARTA DELLE MOPS.

L'elaborato in argomento è un prodotto di estrema importanza ai fini delle scelte di pianificazione territoriale, rappresentando uno strumento che consente di dare informazioni sintetiche ottenute dalla sovrapposizione di informazioni di dati geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici attraverso la suddivisione del territorio in zone che presentano un medesimo potenziale di suscettibilità o meno a fenomeni di amplificazione locale indotto dal sisma.

La carta così redatta evidenzia ambiti omogenei dove si può prevedere l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica come amplificazioni e instabilità.

Nel contesto della porzione di territorio comunale studiato sono state identificate diverse situazioni che, per le specifiche condizioni, possono dare luogo ad incrementi della fase sismica e dare origine a fenomeni di instabilità locale.

Sono state pertanto distinte:

A) zone stabili suscettibili di amplificazione locale: Tipo_z (suddivise in zone da Z1 a Z4)

B) zone di attenzione per instabilità; nello specifico è stato possibile distinguere zone di attenzione per instabilità di versante ($Z_{A_{FR}}$) che interessano i terreni di copertura (Zona 3) da zone di attenzione per instabilità di versante ($Z_{A_{FR}}$) che riguardano il substrato geologico alterato e/o fratturato.

- La Carta delle MOPS si autocommenta con legenda a fronte.

CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

In questa mappa, realizzata alla scala 1:5.000, sono riportati i valori, derivanti dalle registrazioni di rumore ambientale (HVSr), delle frequenze fondamentali (f_0) e quelli dell'ampiezza massima del rapporto spettrale H/V.

In generale si osservano importanti contrasti di impedenza sismica tra le coperture ed il substrato ma anche all'interno della stessa formazione (presenza di livelli a comportamento rigido), in virtù di un graduale miglioramento delle proprietà elastiche man mano in profondità.

- La Carta delle frequenze naturali si autocommenta con legenda a fronte.

CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA O CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Per le aree oggetto di microzonazione sismica di terzo livello sono stati attribuiti indici quantitativi che definiscono, in base alle condizioni stratigrafiche e topografiche, l'amplificazione sismica attesa ($T_r = 475$ anni; $\zeta = 5\%$).

La carta di microzonazione sismica assegna ad ognuna delle microzone individuate valori dei Fattori di Amplificazione (F.A.) calcolati mediante modellazione numerica (codice di calcolo STRATA).

Nello specifico, la carta di microzonazione sismica si compone per ogni microzona individuata di tre fattori di amplificazione, calcolati per differenti intervalli di periodo (Par. Risultati) ed è stata elaborata con i valori della modellazione 1D e 2D.

La modellazione 2D è stata fornita allo scrivente dal gruppo di supporto Marche 3, i valori degli Fa ottenuti con tale modellazione risultano in linea con quelli ottenuti dalla modellazione 1D; tuttavia la modellazione 2D essendo stata effettuata considerando gli effetti topografici, che nella modellazione 1D vengono tralasciati, si è dimostrata più cautelativa e pertanto nella realizzazione della carte degli Fa sono state presi in considerazione i valori della 2D.

In linea generale si può affermare che i valori dei fattori di amplificazione evidenziano comportamenti di risposta sismica sensibilmente differenziati in rapporto alle caratteristiche litologiche del substrato, ed al tipo di copertura (velocità delle onde di taglio Vs e caratteristiche fisico-meccaniche) e agli spessori che ad esso competono.

- Le Carte di microzonazione sismica si autocommentano con legenda a fronte.

9.0 CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI CON GLI EVENTI PASSATI

Il territorio comunale di Montefortino ricade ora nella “simbolica” zona sismica 2, zone nella quali il valore di A(g) accelerazione orizzontale al suolo espressa come frazione della accelerazione di gravità (g) risulta pari a:

ZONA	A(g) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme tecniche)	A(g) con probabilità di superamento della soglia pari al 10% in 50 anni
2	0,25g	0,15÷0,25

Sulla base dei dati di letteratura (Prg. 2.0 e successivi), non si hanno dati storici relativi a zone epicentrali ricadenti nell’ambito del territorio comunale e/o in zone prossimali entro 10 Km. La sorgente sismogenetica più vicina è individuabile nel sistema di faglie distensive ubicate nel comprensorio del Monte Vettore (PG) al confine Umbria-Marche, responsabile della recente crisi sismica dell'Appennino centrale a partire dall'estate del 2016.

L’unica “evidenza” riguarda l’intensità dei sismi che hanno confermato l'approssimarsi di massimali di 6/6,5 di Magnitudo caratterizzanti da un intensità dell' VIII grado della scala Mercalli sottesa al territorio al Comune di Montefortino.

I maggiori danni riscontrati all’interno del territorio comunale rispecchiano in modo chiaro gli andamenti dei fattori amplificati riportati nelle carte di microzonazione sismica.

Alla luce di quanto emerso dal confronto tra i fattori amplificati e il livello di danneggiamento presente nella varie zone si può affermare che vi è un chiaro riscontro tra Fa e danno.

Gli esiti prodotti dallo studio di microzonazione sismica di livello III, in quanto finalizzati alla valutazione del livello di pericolosità sismica alla scala dell’abitato, non possono essere considerati sostitutivi di una specifica analisi di risposta sismica locale finalizzata alla progettazione o alla verifica sismica del singolo manufatto.

Il tecnico incaricato
Geol. LUCARELLI Costantino

10.0 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1991) – Ambiente fisico delle Marche – Geologi – Geomorfologia – Idrogeologica. Carta Geologica delle Marche- Regione Marche - S.E.L.C.A. s.r.l. Firenze, 255 pp.
- ALBARELLO D., BOSI V., BRAMERINI F., LUCANTONI A., NASO G., PERUZZA L., REBEZ A., SABETTA F. & SLEJKO D., 2000 – Carte di pericolosità sismica del territorio nazionale. Quaderni di Geofisica, 12, 1-7.
- ALFONSI L, SAGNOTTI L and GALADINI F 1995 – Paleomagnetism of the Plio-Pleistocene continental sediments from the north-eastern edge of the Fucino basin (Central Italy). Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, Italy.
- APAT (2005) - PROGETTO IFFI Inventario dei Fenomeni Franosì in Italia.
- Calamita F. (1990) - *Thrusts and fold related structures in the Umbria-Marche Apennines (Central Italy)*. Annales tectonicae, 4, 83-177.
- CENTAMORE, E., NISIO, S., (2003). Significant events in the Periadriatic foredeeps evolution (Abruzzo-Italy). Studi Geol. Camerti, Numero speciale 2003, 39-48.
- Centamore E., Crescenti U. & Dramis F. Eds. (2006) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 304, Servizio Geologico d'Italia, APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, pp. 115, Firenze.
- Ciotoli, G., M. Guerra, S. Lombardi, and A. Annunziatellis (2007) – Geostatistical analysis of soil gas data in a high seismic intermontane basin: Fucino Plain, central Italy. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112,.
- D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le costruzioni” e CIRCOLARE 02.02.2009.
- GALLI P. (2000): New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction. Tectonophysics 324 (2000) 169–187.
- Gruppo di Lavoro CPTI, 1999. Catalogo Parametrico Dei Terremoti Italiani, ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 92 pp. (<http://emidius.itim.mi.cnr.it/CPTI/home.html>).
- Gruppo di Lavoro MS (2008) – Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom.
- Gruppo di Lavoro MS–AQ (2010) Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana. Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L'Aquila, 3 vol. e Cd-rom.
- <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI-> a cura di A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi - 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna.
- <http://sgil.isprambiente.it/GeoMapView/index.html>.
- INGV - Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale.
- Piano Stralcio di Baicno per l'Assetto idrogeologico PAI della Regione Marche - Norme di Attuazione e misure di Salvaguardia.
- Vezzani L. & Ghisetti F. (1998) - Carta Geologica delle Marche, scale 1:100,000. S.EL.CA., Firenze.
- IL MANUALE INTERNAZIONALE TC4 PER LA ZONAZIONE DEI RISCHI GEOTECNICI: UN ESEMPIO DI APPLICAZIONE AL CONTESTO ITALIANO – Claudia Madiati - Dipartimento di Ingegneria Civile – Università di Firenze, 2010.
- Ambraseys, N. (1988). Engineering Seismology. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol 17.
- Arboleda, R.A., Punongbayan, R.S. (1991). Landslides induced by the 16 July 1990 Luzon, Philippines, Earthquake. Landslide News. N. 5.
- Association for the Development of Earthquake Prediction (1990). A Reconnaissance Report on the 1989 Loma Prieta Earthquake. (in giapponese)
- Astroza, M., Monge, J. (1991). Regional Seismic Zonation in Central Chile. Proc. IV Int. Conf. on Seismic Zonation. Vol 3.
- Barrow, B.L., Stokoe K.E.II. (1983). Field Investigation of Liquefaction Sites in Northern California. Geotechnical Engineering

Thesis. GT83-1. Civil Engineering Department University of Texas at Austin.

- Borchardt, R. D., Gibbs, G. F. (1976). Effects of Local Geological Conditions in the S. Francisco Bay Region on Ground Motion and the Intensities of the 1906 Earthquake. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 66
- Building Research Institute (1969). Draft for Revision of the Building Standard Lowe and the Enforcement Order. B.R.I. Regulation Draft N.1.
- Calamita F., Deiana G. (1986) - *Geodinamica dell'Appennino Umbro- Marchigiano*. Mem. Soc. Geo. It., vol. 35, 311-316, fasc. 1,
- Calamita F., Deiana G., Invernizzi C., Matrovincenzo S. (1987) - *Analisi strutturale della linea "Ancona-Anzio" Auct. Tra Cittareale e Micigliano (Rieti)*. Boll. Soc. Geo. It. Vol 106, 365-375, fasc 3.

CANTALAMESSA G., CASNEDI R., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., COLALONGO M. L., CRESCENTI U., MICARELLI A., NANNI T., PASINI G., POTETTI M. & RICCI LUCCHI F. (1986) – *Il Plio-Pleistocene marchigiano-abruzzese. Guida all'escursione del 7-10 Ottobre. 73° Congresso della Soc. Geol. It., Camerino, 43 p.p*

CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DIDASKALOU P., MICARELLI A., NAPOLEONE G. & POTETTI M. (2002) – *Elementi di correlazione nella successione marina plio-pleistocenica del bacino periadriatico marchigiano. Studi Geologici Camerti, 1, 33-49.*

CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., MICARELLI A., PICCINI M. & POTETTI M., With Contribution Of DIDASKALOU P., PENNESI T. & PICCINI M. (1993) - *Neogene Quaternary evolution of the Marche-Abruzzi periadriatic basin in the stretch between the Musone and Pescara rivers. International Symposium on dynamics of fluvial-coastal system and environmental changes. Field Trip Guide Book, I-I 9.*

• Carrubba, P., Maugeri, M. (1988). Determinazione delle proprietà dinamiche di un'argilla mediante prova di colonna risonante. Riv. Ital. di Geotecnica. N. 2.

• Chiocchini M., Deiana G., Micarelli A., Moretti A., Pieruccini U. (1976) - *Geologia dei Monti Sibillini Nord-Orientali*. Studi Geologici Camerti, II, 7-44.

• Chinese Building Code (1974). Earthquake resistant design code for industrial and civil buildings. TJ11-74. China Build. Publ. House. Pechino (tradotto da Chang A.C.S.)

• Crespellani, T., Ghinelli A., Vannucchi, G. (1989). An Evaluation of the Dynamic Shear Modulus of a Cohesive Deposit near Florence, Italy. Proc. XII ICSMFE. Rio de Janeiro.

• Crespellani, T., Vannucchi, G., Zeng, X. (1992). Seismic Hazard Analysis in the Florence Area. Eur. Earth. Eng. N. 3.

• Crespellani, T., Madiati, C., Marcellini, A., Maugeri, M., Vannucchi, G. (1997). Zonation of geotechnical seismic hazards in Tuscany, Italy. In: Seco e Pinto P. S. (Ed.): Seismic Behaviour of Ground and Geotechnical Structures.

• Crespellani, T. (1998). Convegno Nazionale degli Ingegneri. Ancona.

• Deiana G., Pierantoni P.P., Centamore E. & Cantalamessa G. (2002) - *Cartografia Geologica – Nota illustrativa. Progetto N. 2 Zona Sud (Realizzazione della Cartografia Geologica e Geotematica e dei relativi supporti informatici alla scala 1:10000. Regione Marche. Servizio Urbanistica e Cartografia.*

• Deiana G., Centamore E. (1986) – *La geologia delle Marche. Carta Geologica delle Marche – Studi geologici Camerti, Dipartimento di Scienze della Terra Università di Camerino, 145 pp..*

• D'Elia, B. (1998). Stabilità dei pendii in zona sismica. Atti del Corso di aggiornamento su "Ingegneria Geotecnica in Zona Sismica". Pesaro.

• Eurocode 8 (1993): Earthquake Resistant Design of Structures. Second Draft CEN/TC250/SC8. PT1: General Rules.

• Eva, C., Giglia, C., Graziano, F., Merlanti, F. (1978). Seismicity and its relation with surface structures in the North-Western Apennines. Boll. Geop. Teor. Appl. XX. 79.

• Evernden, J., Hibbard, R., Schneider, J. (1973). Interpretation of Seismic Intensity Data. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 63.

• Evernden, J., Thomson, J.M. (1985). Predicting Seismic Intensities. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1360.

• Faccioli, E. e al. (1986). Elementi per una guida alle indagini di Microzonazione Sismica Quaderni de "La Ricerca Scientifica". N. 114. CNR. Roma.

• Faccioli, E. (1995). Induced Hazard: Earthquake Triggered Landslides. Proc. of the 5th Int. Conf. on Seismic Zonation. Nice.

• Fukushima, Y., Tanaka, T. (1990). A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground

- Grandori, G., Perotti F., Tagliani, A. (1987). On the attenuation of macroseismic intensity with epicentral distance. Ground motion and Eng. Seism. A.S. Cakmak ed. Elsevier.
- Iaccarino, E. (1968). Attività sismica dal 1500 al 1965 in Garfagnana, Mugello e Forlivese. NEN. TR/GEO. 19. 24. Imai, T. (1977). P and S Wave Velocities of the Ground in Japan. Proc. 9th ICSMFE, Vol.2.
- Imbesi, G., Marcellini, A., Petrini, V., Di Passio, C., Ferrini, M. (a cura di) (1986). Progetto Terremoto In Garfagnana e Lunigiana. CNR - Regione Toscana. La Mandragora Ed. Firenze.
- Ishihara, K. (1991a). Manjil Earthquake of 21 June, 1990, Iran. Landslide News. N.5.
- Ishihara, K. (1991b). Earthquake-induced Landslides near Spitak, Armenia, USSR. Landslide News. N.5.
- Ishihara, K., Nakamura, S. (1987). Landslides in Mountain Slopes during the Ecuador Earthquake of March 5, 1987. US-Asia Conference on Engineering for Mitigating Natural Hazards Damages.
- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabw, S., Yasuda, S., Sato, H. (1982).
- Microzonation for Soil Liquefaction Potential using Simplified Methods. Proc. rd Int. Conference on Microzonation. Vol. 3. Seattle. 30. Joyner, W.B., Boore, D.M. (1981). Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong-Motion Records including Records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 71.
- Kagami, H., Okada, S., Ohta, Y. (1988). Versatile Application of Dense and Precision Seismic Intensity data by an Advance Questionnaire Survey. Proc. 9th World Conf. on Earthquake Engineering. Vol. 8.
- Kanagawa Prefectural Government (1986). Prediction of Seismic Damage in Kanagawa Prefecture. (in giapponese)
- Kanai, K., Tanaka, T. (1961). On Microtremors. VIII, Bull. Earthq. Res. Inst., University of Tokyo. Vol. 39.
- Keefer, D.K., Wilson, R.C. (1989). Predicting Earthquake-induced Landslides with Emphasis on Arid and Semi-arid Environments. Publications of the Inland Geological Society. Vol. 2.
- Komak Panah, A., Hafezi Mogaddas, N. (1993). Lesson learned from induced landslides in Gilan due to Manjil Earthquake. In Ishihara K. (Ed.): Performance of Ground and Soil Structures During Earthquake. Japan. Soc. Soil Mech. Found. Eng. Tokio.
- Kuribayashi, E., Tatsuoka, F. (1975). Brief Review of Soil Liquefaction during Earthquakes in Japan. Soils and Foundations. Vol. 15, N. 4.
- Lee, S. H. (1992). Analysis of the Multicollinearity of Regression Equations of Shear Wave Velocities. Soils and Foundations. Vol. 32, N. 1.
- Marcellini, A., Tinto, A. (1986). Ricostruzione dello scuotimento. In: Progetto Terremoto in Garfagnana e Lunigiana. CNR - Regione Toscana. La Mandragora Ed. Firenze.
- Mayne, P. W., Rix, G.J. (1995). Correlation between Shear Wave Velocity and Cone Tip Resistance in Natural Clays. Soils and Foundations. Vol. 35, N. 2.
- Medvedev, J. (1962). Engineering Seismology. Academia Nauk Press. Moscow.
- Midorikawa, S. (1987). Prediction of Iseismic Map in the Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake. Journal of Structural Engineering. Vol. 33B
- Ministero dei LL.PP. Servizio Idrografico. Annali idrologici Anni 1940-1987.
- Mora S., Vahrson, W. (1994). Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination. Bull. Assoc. Engin. Geologist. XXXI (1). 45. Muzzi, F. (1984). Personal communication.
- Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremors on Ground Surface. QR of RTRI. Vol. 30.
- Nardi, R. (coord.) (1985÷1992). Carta geologica e carta della franosità della Garfagnana e della media valle del Serchio (Lucca), scala 1 : 10.000. CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti. S.E.L.C.A. Firenze.
- Nardi, R. (coord.) (1990). Carta geologica e carta della franosità della Lunigiana, scala 1 : 10.000. CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti. S.E.L.C.A. Firenze.

-
- Ohta, Y., Goto, N. (1978). Empirical Shear Wave Velocity Equations in terms of Characteristic Soil Indexes. *Earthquake Eng. and Struct. Dyn.* Vol. 6.
 - Patacca, E., Scandone, P., Petrini, V., Franchi, F., Sargentini, M., Vitali, A. (1986). Revisione storica. In: Progetto Terremoto in Garfagnana e Lunigiana. CNR - Regione Toscana. La Mandragora Ed. Firenze.
 - 51. Peruzza, L., Monachesi, G., Rebez, A., Slejko, D., Zerga, A. (1996). Specific macroseismic intensity attenuation of the seismogenic sources, and influences on hazard estimates. In: Thorkelsson B. (ed). *Seismology in Europe*. Icelandic Meteorological Office. Reykjavik.
 - Petrini, V. (a cura di) (1995). *Pericolosità sismica e prime valutazioni di rischio in Toscana*. CNR-IRRS e Regione Toscana. Ed. Landini. Firenze.
 - Pierantoni P.P., Deiana G., Galdenzi S (2013). Stratigraphic and structural features of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy) *Ital. J. Geosci.* (Boll. Soc. Geol. It.), Vol. 132, No. 3 (2013), pp. 497-520, 11 figs., 2 extra pls.
 - Pierantoni P.P., Deiana G., Romano A., Paltrinieri W., Borracini F., Mazzoli S. (2005) - *Geometrie strutturali lungo la thrust zone del fronte montuoso umbro-marchigiano-sabino*. Boll. Soc. Geo. It., 124, 395-411, 4 ff., 2 tav. f.t..
 - Postpischl, D. (1985a). Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980. CNR. Quaderni della Ricerca Scientifica, N. 114. Vol. 2B. Bologna.
 - Postpischl, D. (1985b). Atlas of isoseismal maps of the Italian earthquakes. CNR. Progetto Finalizzato Geodinamica.
 - Rebez, A., Peruzza, L., Slejko, D. (1996). Characterization of the seismic input in the seismic hazard assessment of Italian territory. In: Thorkelsson B. (ed). *Seismology in Europe*, Icelandic Meteorological Office. Reykjavik.
 - Règles de construction parasismique (1995). - Règles PS applicables aux batiments – PS92. Normes NF P 06-013. Eyrolles. Paris.
 - Sabetta, F., Pugliese A. (1987). Attenuation of Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Italian Strong-motion Records. *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 77.
 - Scandone P. (1997). Linea di ricerca 2: "Sismotettonica". Rapporto sull'attività del GNDT nel triennio 1993-1995. CNR. Roma
 - Shima, E. (1978). Seismic Microzoning Map of Tokyo. *Proc. Second Int. Conf. on Microzonation*. Vol. 1.
 - Stucchi, M. (1997). Catalogo dei Terremoti Italiani. <http://emidius.itim.mi.cnr.it>.
 - Tamura, T. (1978). An Analysis of the Relationship between the Areal Distribution of Earthquake-induced Landslides and the Earthquake Magnitude. *Geographical Review of Japan*. 51-8
 - Technical Committee For Earthquake Geotechnical Engineering TC4 – ISSMFE (1993).
 - Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
 - Tenta, A., Franceschina L., Marcellini, A. (1992). Expected Ground Motion Evaluation for Italian Sites. 10th World Conf. on Earthquake Engineering. Vol. 1.
 - Wakamatsu, K. (1992). Evaluation of Liquefaction Susceptibility Based on Detailed Geomorphological Classification. Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan. Vol. B. (in giapponese)
 - Wakamatsu, K. (1997). Application of the TC4 Manual for Soil Liquefaction Assessment to the 1995 Hyogoken-Nambu (Kobe) Earthquake. In: Seco e Pinto P. S. (Ed.): *Seismic Behaviour of Ground and Geotechnical Structures*.
 - Yasuda, S. (1993). Zoning for Slope Instability around Mt. Ontake In Japan (v. TC4 (1993))
 - Yasuda, S. (1997). A Study on the Adaptability of Two Zoning Methods for Slope Instability. In: Seco e Pinto P. S. (Ed.): *Seismic Behaviour of Ground and Geotechnical Structures*.
 - Yasuda, S., Sugitani, T. (1988). Case Histories of Slope Failure during Past Earthquakes in Japan. *Proc. of the 23th JSSMFE*. (in giapponese)
 - Yasuda, S., Tohno, I. (1988). Sites of Reliquefaction caused by the 1983 Nihonkai-Chubu Earthquake. *Soils and Foundations*. Vol. 28, N. 2.

ALLEGATO 1



Studi di microzonazione sismica di III livello dei Comuni
interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto
2016

(OPCM n. 24 del 12 maggio 2017)

Prove geotecniche di laboratorio condotte dal

Politecnico di Torino

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica

Comune di Montefortino

Responsabile Scientifico

Prof. Ing. Sebastiano Foti

Responsabile di Laboratorio

Ing. Oronzo Pallara

Tecnico di Laboratorio

Giovanni Bianchi

Torino, Dicembre 2017



Indice

Premessa.....	4
Prove eseguite.....	4
Prova di colonna risonante – Apparecchiature e modalità di prova	4
Norme di riferimento	5
Presentazione dei risultati.....	5
Campione indisturbato: S DH 2 C1	6
Descrizione.....	6
Classificazione.....	7
Curva granulometrica	8
Prova di Colonna Risonante: RC_0162_MSC.....	9
Risultati della prova	9
Grafici di colonna risonante: curve di variazione del modulo di rigidezza a taglio G e del rapporto di smorzamento D.	10
Grafici di colonna risonante: curve di risposta in frequenza al variare del livello deformativo.	11
Grafici di colonna risonante: oscillazioni libere.....	14



Premessa

Il presente rapporto descrive i risultati delle prove di classificazione e colonna risonante eseguite dal Laboratorio Geotecnico del Politecnico di Torino. Le prove sono state condotte sui campioni provenienti dal sondaggio eseguito nel comune di Montefortino (FM) nell'ambito del progetto di microzonazione sismica di III Livello.

Prove eseguite

I campioni indisturbati utilizzati, le prove di classificazione e le prove meccaniche eseguite, sono elencati rispettivamente nelle Tabelle 1, 2 e 3.

Tabella 1 Elenco dei campioni indisturbati

<i>Sito</i>	<i>Sondaggio</i>	<i>Campione</i>	<i>Profondità</i>
Montefortino (FM)	S DH 2	C1	5.00÷5.50 m

Tabella 2 Prove di classificazione

<i>Sondaggio</i>	<i>Campione</i>	<i>Peso di volume</i>	<i>Contenuto d'acqua</i>	<i>Peso specifico</i>	<i>Limiti di Atterberg</i>	<i>Prova granulometrica</i>	<i>Carbonati</i>
S DH 2	C1	1	2	1	1	1	1

Tabella 3 Prove meccaniche

<i>Sondaggio</i>	<i>Campione</i>	<i>Prova Edometrica IL</i>	<i>Prova Triassiale</i>	<i>Prova Colonna Risonante</i>	<i>Prova Taglio Torsionale</i>
S DH 2	C1	-	-	1	-

Prova di colonna risonante – Apparecchiature e modalità di prova

Le prove di colonna risonante sono state eseguite su provini di dimensioni pari a 50 mm di diametro e 100 mm di altezza, utilizzando un'apparecchiatura del tipo fixed-free che utilizza un motore elettrico a 4 magneti e 8 avvolgimenti di capacità massima pari a 1.1 Nm (SBEL Arizona), innestato direttamente sulla testa del provino. Il motore è comandato da una scheda A/D (NI PCI-6259 – National Instruments) collegata ad un amplificatore di potenza (HP 6824A).

La fase di consolidazione è stata eseguita applicando ai provini una tensione isotropa, mentre la fase di risonanza è stata condotta in condizioni non drenate.

La condizione di risonanza è stata ottenuta come valore massimo dell'accelerazione all'interno di un intervallo di frequenza.



Le prove di colonna risonante sono state interpretate secondo la norma ASTM D4015 ed in particolare lo smorzamento è stato determinato con il metodo del decremento logaritmico.

Norme di riferimento

Le prove sono state eseguite secondo le norme di seguito riportate:

- Determinazione del contenuto d'acqua ASTM D2216-05
- Determinazione del peso specifico dei grani ASTM D854-05
- Analisi granulometrica per vagliatura ASTM D422-63(2007)
- Analisi granulometrica per sedimentazione ASTM-D1140-00
- Determinazione dei Limiti di Atterberg ASTM D4318-05
- Determinazione del contenuto di carbonati ASTM D4373-96
- Prova di colonna risonante ASTM D4015

Presentazione dei risultati

In seguito vengono presentati i risultati delle prove eseguite sui campioni. Per ogni fustella viene allegato il foglio di apertura con relativa fotografia, una tabella con i risultati delle prove di classificazione e il diagramma relativo alla curva granulometrica ottenuta. Vengono poi riportati i risultati della prova di colonna risonante.



Campione indisturbato: S DH 2 C1

Descrizione

Cantiere:	Montefortino (FM)	Sondaggio:	S DH 2	Campione:	C1	Profondità:	5.00÷5.50 m
Attrezzatura di sondaggio	<input checked="" type="checkbox"/> Rotazione ϕ	<input type="checkbox"/> Percussione ϕ	<input type="checkbox"/> Elica ϕ				
Attrezzatura di prelievo	<input type="checkbox"/> Parete sottile con pistone	<input type="checkbox"/> Parete sottile senza pistone	<input type="checkbox"/> Continua				
	<input type="checkbox"/> Parete spessa	<input type="checkbox"/> Carotiere rotativo	<input type="checkbox"/> Curetta/Cucchiaia				
Modalità di prelievo	<input type="checkbox"/> Percussione	<input type="checkbox"/> Pressione	<input type="checkbox"/> Osterberg				
Contenitore del campione	<input checked="" type="checkbox"/> Acciaio trattato	<input type="checkbox"/> Ferro	<input type="checkbox"/> P.V.C.				
	<input type="checkbox"/> Lamiera aperta	<input type="checkbox"/> Sacchetto	<input type="checkbox"/> Cassetta Cubica				
Dimensioni del campione	Cilindrico <input type="checkbox"/> < 2"	<input checked="" type="checkbox"/> 3 ÷ 4"	<input type="checkbox"/> > 4"				
	Cubico <input type="checkbox"/> < 20 cm	<input type="checkbox"/> 20 ÷ 40 cm	<input type="checkbox"/> > 40 cm				
Condizioni del materiale estruso dal campionatore	<input type="checkbox"/> Buone	<input checked="" type="checkbox"/> Mediocri	<input type="checkbox"/> Cattive				
	<input type="checkbox"/> Rammollito	<input type="checkbox"/> Strati piegati	<input checked="" type="checkbox"/> Rimescolato				

Aspetto del campione

Limo argilloso di colore grigio/verde con inclusioni di colore ocre.

Tra le profondità 5.00÷5.15 m il campione risulta rammollito.

Legenda

Att	limiti di Atterberg
Gr	granulometria
G _s	Peso specifico dei grani
CaCO ₃	Carbonati
Ed	prova edometrica
Tx	prova triassiale
CR	prova colonna risonante
TTC	prova taglio torsionale ciclico

Schizzo	Consistenza kPa		Prove eseguite
	Scissometro	Penetrometro	
0		0 49	
10		58.8 127.5	
20		196.1 196.1	
30		255 264.8	CR
40		264.8 186.3	
50			
60			
cm			

Classificazione

Cantiere: Montefortino (FM) **Sondaggio:** S DH 2 **Campione:** C1 **Profondità:** 5.00÷5.50 m

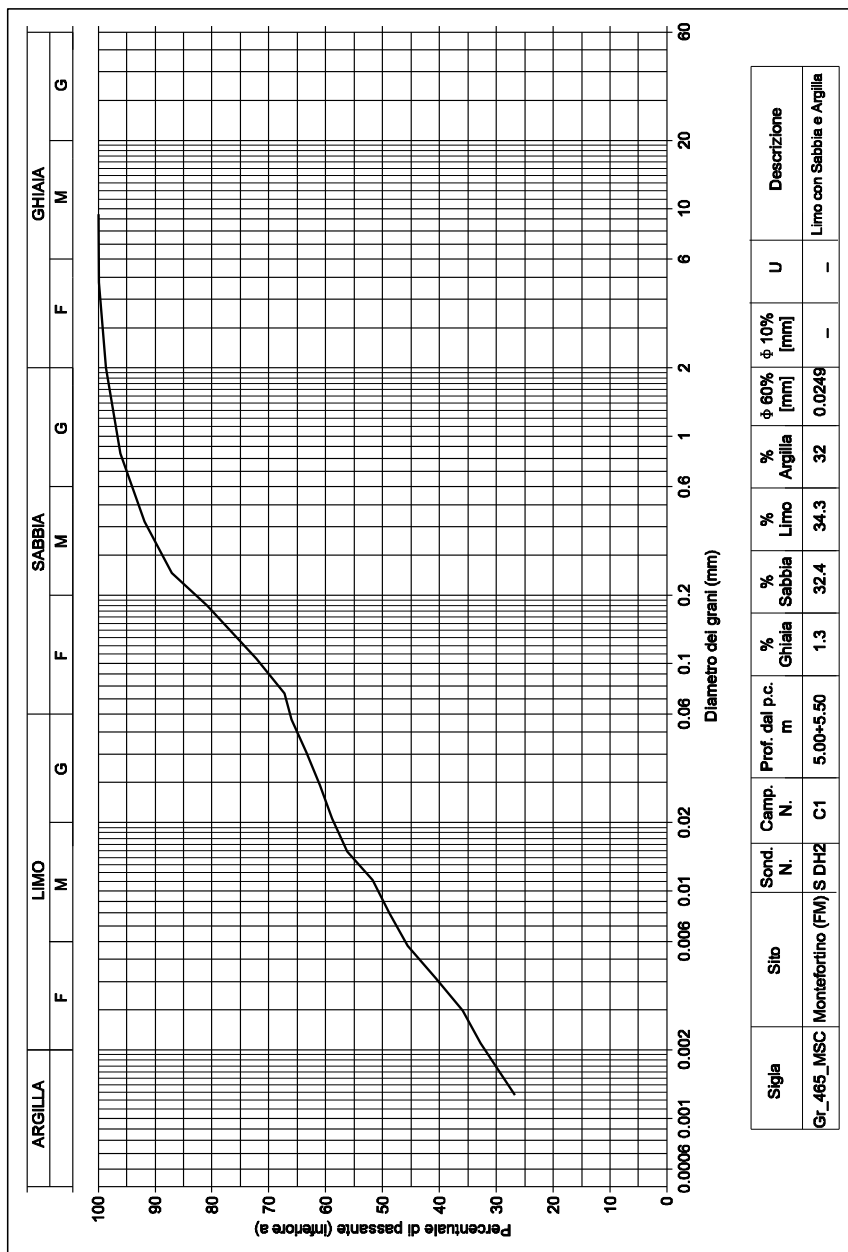


Prova	Prof. [m]	w_n [%]	γ [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	G_s	w_L [%]	PI [%]	IC	$CaCO_3$ [%]
Classificazione	5.00÷5.50 m	21.8	-	-	2.722	41	20	1	32.8
RC_0162_MSC	5.30÷5.45 m	21.9	20.01	16.41	-	-	-	-	-



Curva granulometrica

Cantiere: Montefortino (FM) Sondaggio: S DH 2 Campione: C1 Profondità: 5.00÷5.50 m





Prova di Colonna Risonante: RC_0162_MSC

Caratteristiche del provino

Prova	Prof. [m]	w _n [%]	γ [kN/m ³]	γ _d [kN/m ³]	G _s [-]	w _L [%]	PI [%]	IC [-]	CaCO ₃ [%]
RC_0162_MSC	5.4	21.9	19.10	15.42	2.703	45.1	21.7	0.9	2.3

Dimensioni del provino

Diametro [mm]		Altezza [mm]		Indice dei vuoti		σ' _i [kPa]	OCR
Iniziale	Fine consolidazione	Iniziale	Fine consolidazione	Iniziale	Fine consolidazione		
50.00	49.37	100.00	99.49	0.626	0.578	109.9	-

Risultati della prova

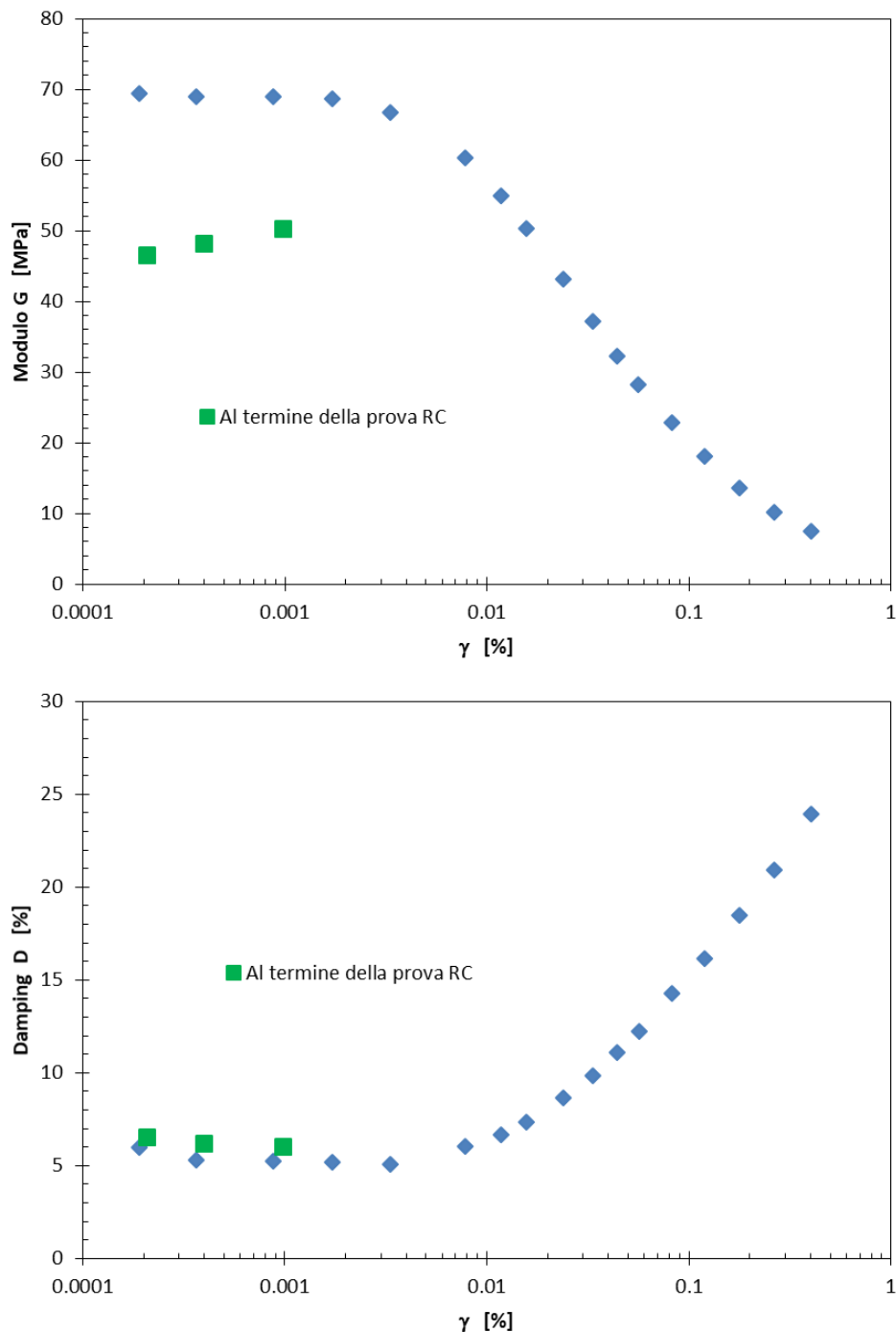
N.	Diametro [mm]	Altezza [mm]	e	G [MPa]	γ [%]	D [%]	Δu [kPa]
1	49.37	99.49	0.578	69.45	0.00019	5.99	0.00
2	49.37	99.49	0.578	68.91	0.00036	5.29	0.14
3	49.37	99.49	0.578	68.91	0.00088	5.22	0.16
4	49.37	99.49	0.578	68.64	0.00171	5.18	0.18
5	49.37	99.49	0.578	66.78	0.00333	5.08	0.15
6	49.37	99.49	0.578	60.33	0.00786	6.05	0.25
7	49.37	99.49	0.578	54.93	0.01172	6.64	0.65
8	49.37	99.49	0.578	50.24	0.01574	7.37	1.13
9	49.37	99.49	0.578	43.17	0.02396	8.67	2.37
10	49.37	99.49	0.578	37.22	0.03336	9.84	4.34
11	49.37	99.49	0.578	32.27	0.04418	11.11	6.84
12	49.37	99.49	0.578	28.18	0.05645	12.24	9.85
13	49.36	99.49	0.577	22.81	0.08254	14.25	16.92
14	49.36	99.49	0.577	18.00	0.11902	16.15	25.00
15	49.34	99.50	0.576	13.65	0.17818	18.49	36.72
16	49.32	99.52	0.575	10.11	0.26463	20.95	48.82
17	49.35	99.53	0.577	7.41	0.40112	23.94	54.07
18*	49.32	99.54	0.575	46.63	0.00021	6.54	48.70
19*	49.32	99.54	0.575	48.20	0.00040	6.21	48.03
20*	49.32	99.54	0.575	50.24	0.00097	6.04	47.23

Note

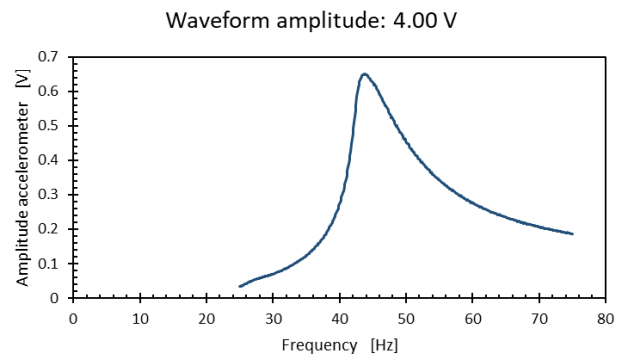
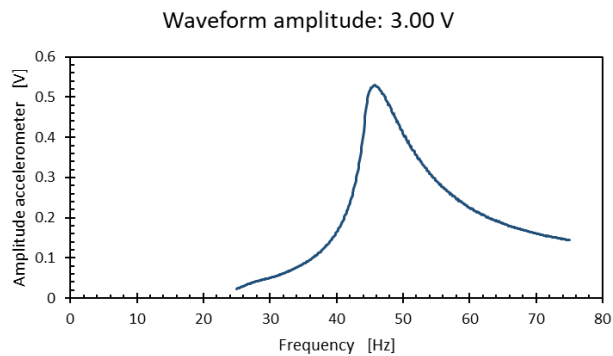
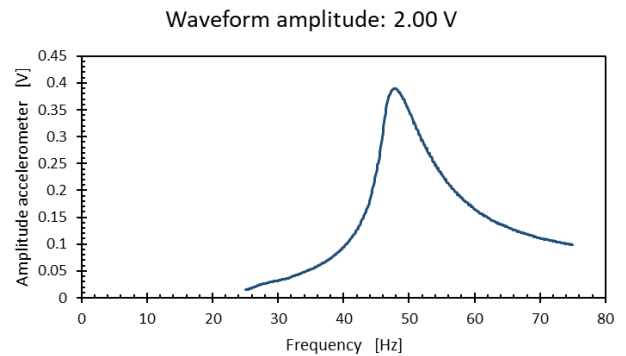
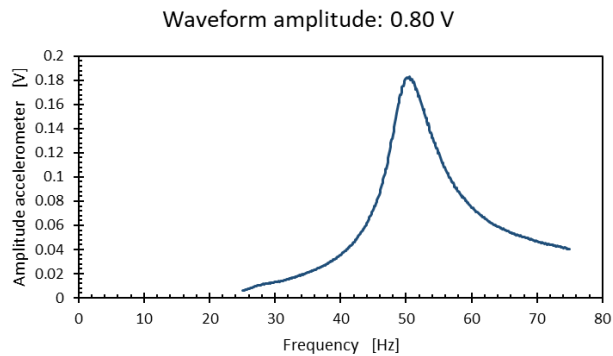
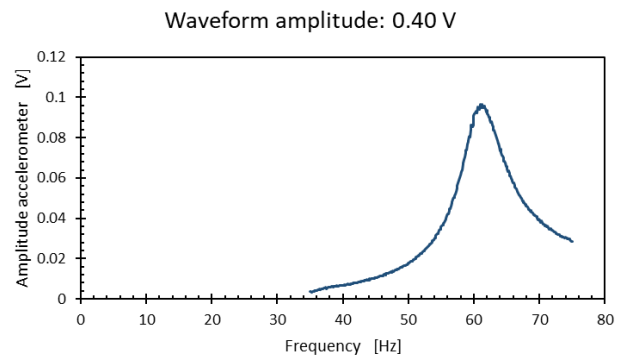
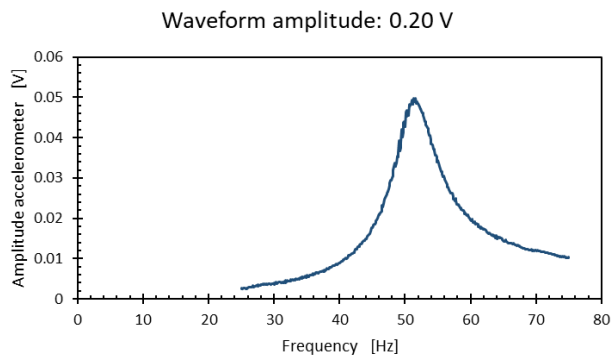
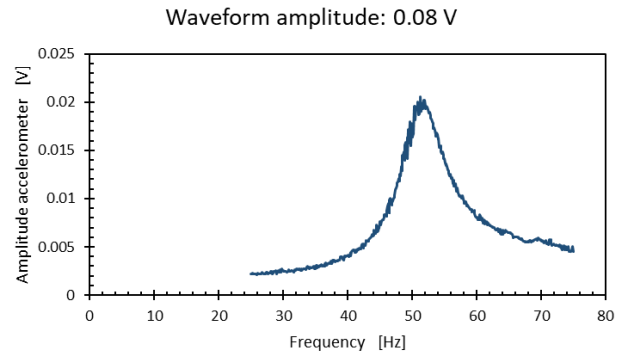
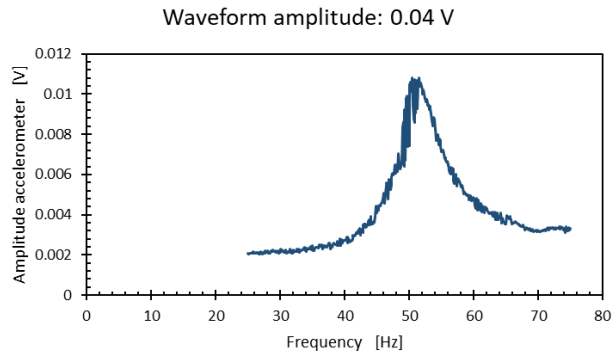
* Misure di G₀ eseguite al termine della prova di colonna risonante.



Grafici di colonna risonante: curve di variazione del modulo di rigidezza a taglio G e del rapporto di smorzamento D .

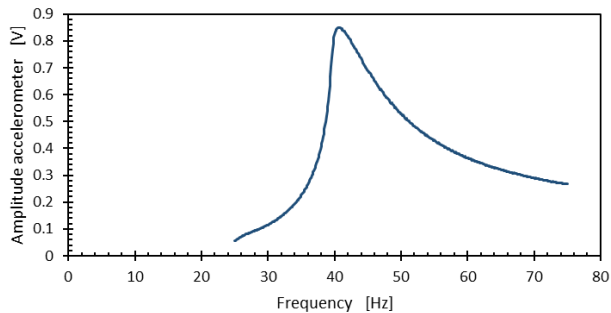


Grafici di colonna risonante: curve di risposta in frequenza al variare del livello deformativo.

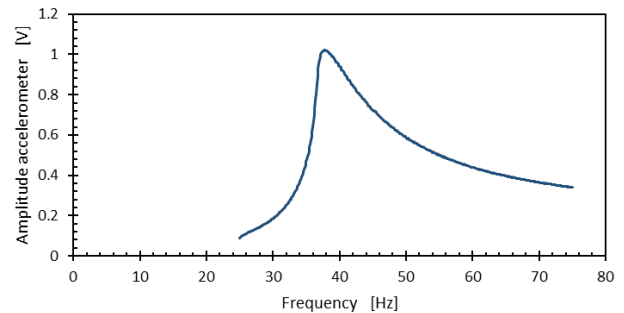




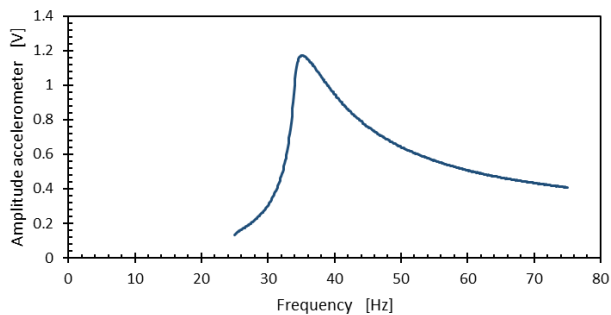
Waveform amplitude: 6.00 V



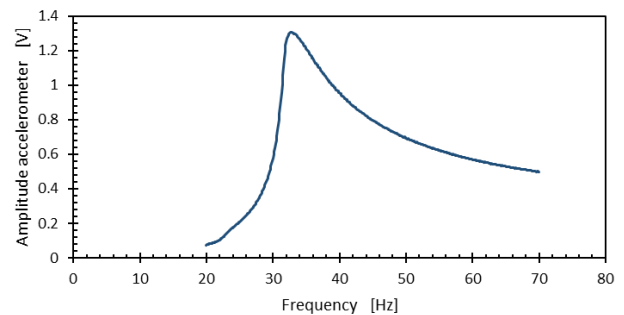
Waveform amplitude: 8.00 V



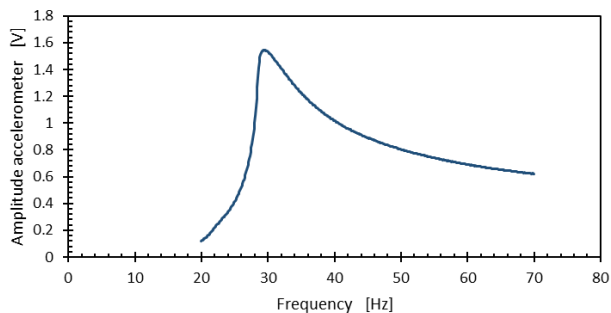
Waveform amplitude: 10.00 V



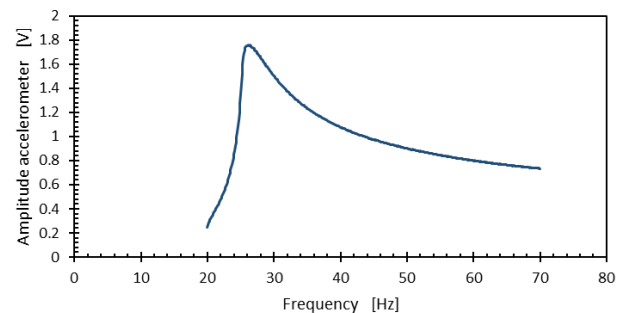
Waveform amplitude: 12.00 V



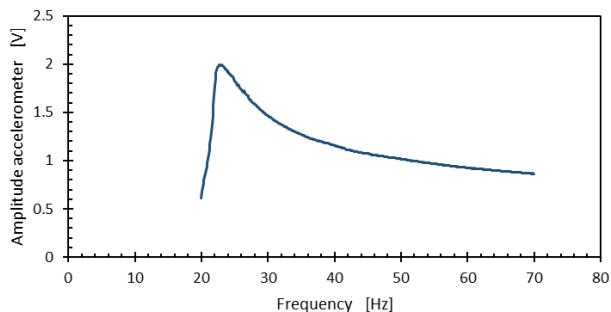
Waveform amplitude: 16.00 V



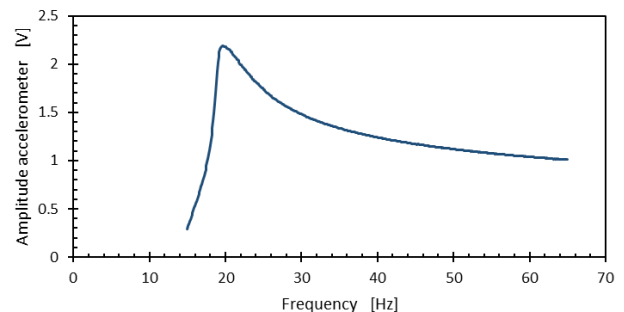
Waveform amplitude: 20.00 V



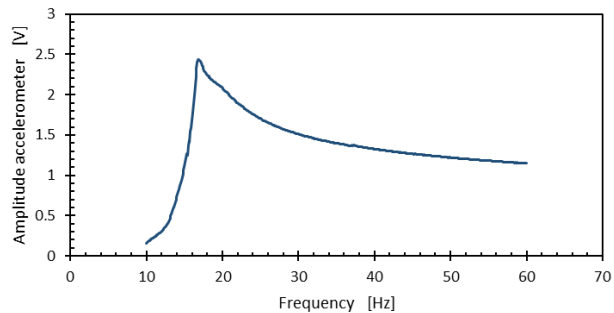
Waveform amplitude: 20.00 V



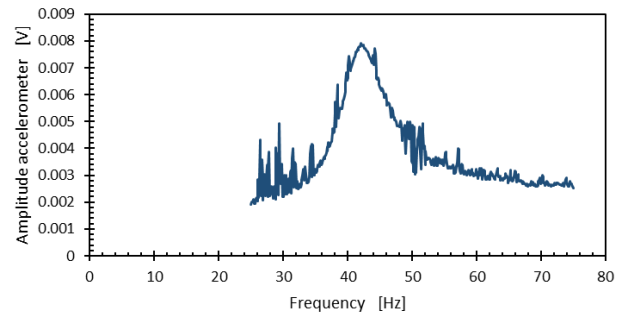
Waveform amplitude: 20.00 V



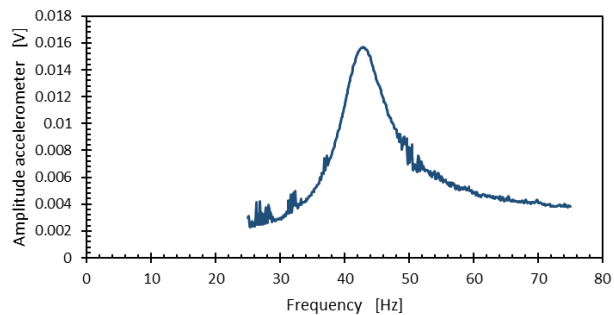
Waveform amplitude: 20.00 V



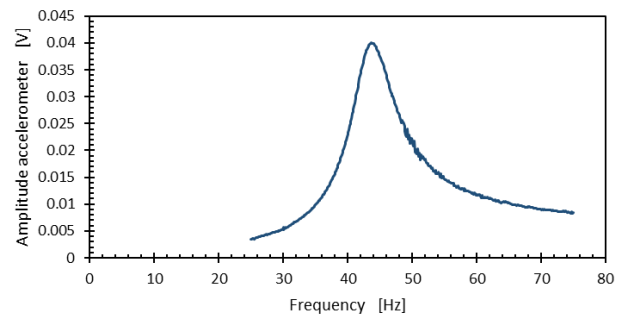
Waveform amplitude: 0.04 V



Waveform amplitude: 0.08 V

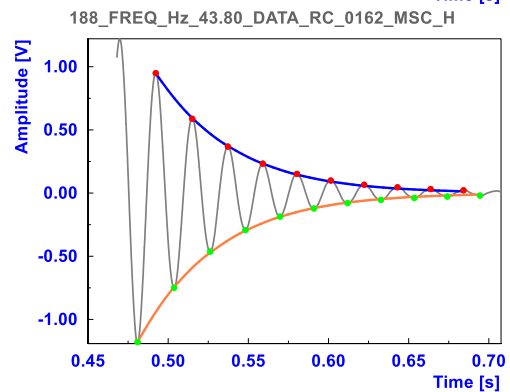
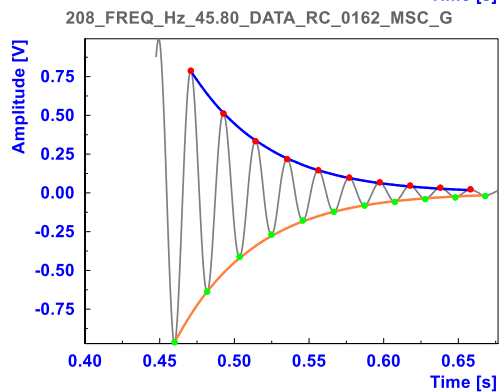
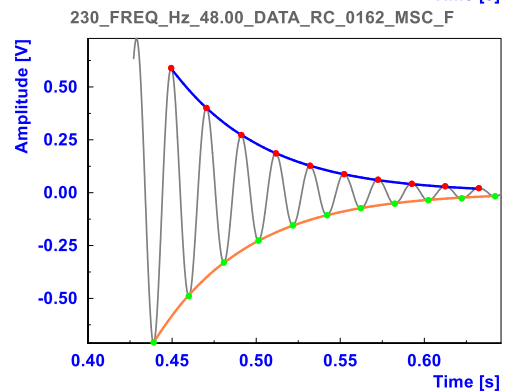
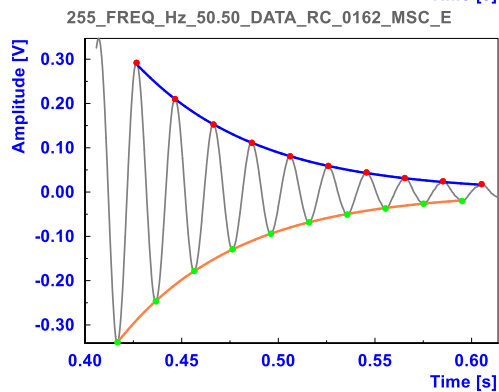
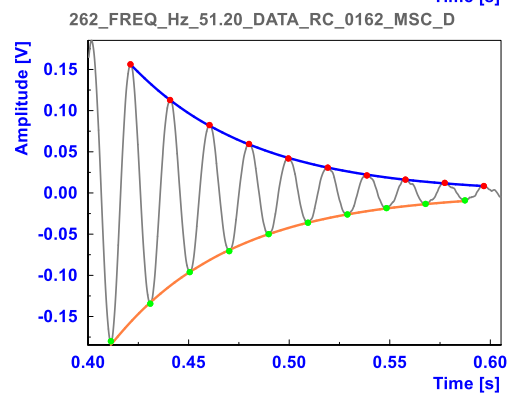
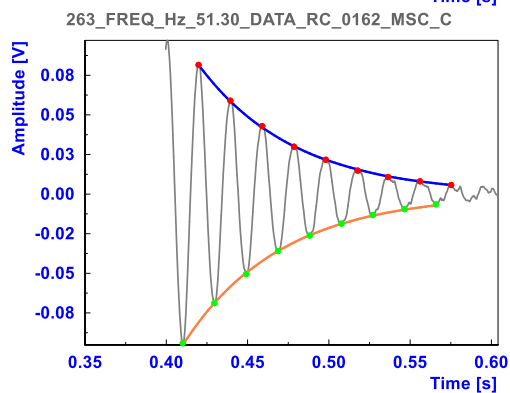
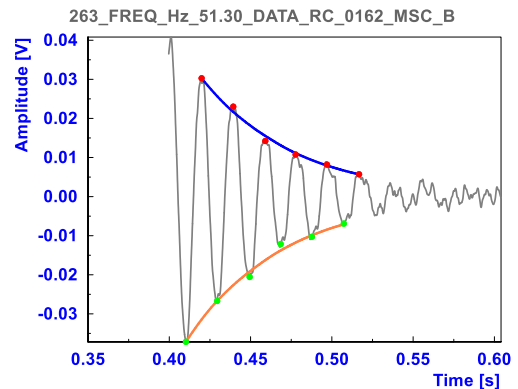
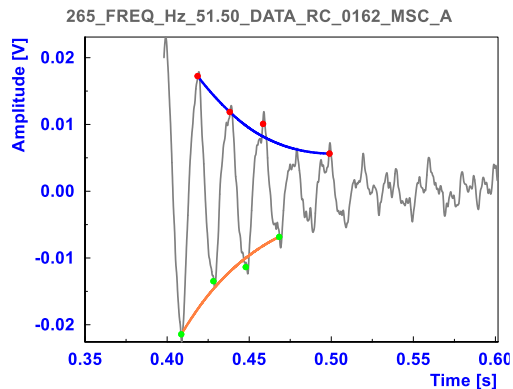


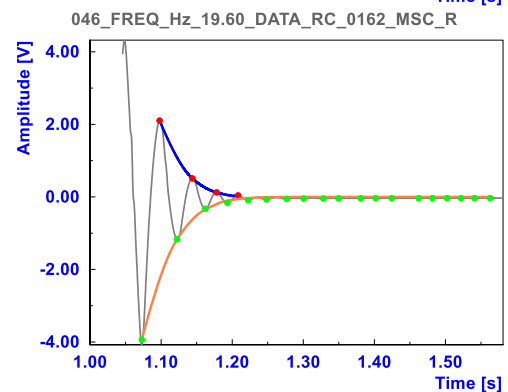
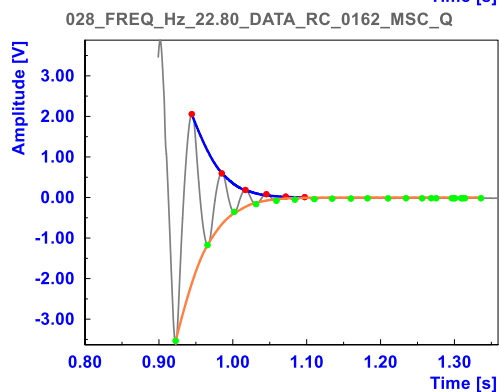
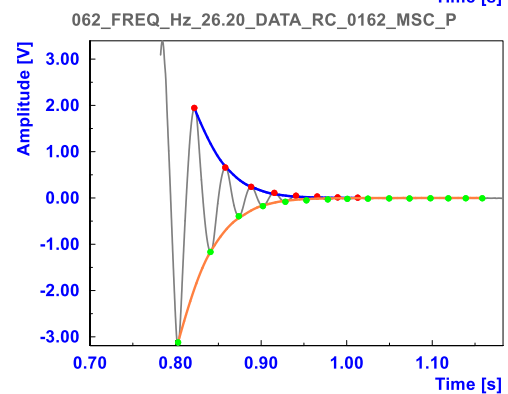
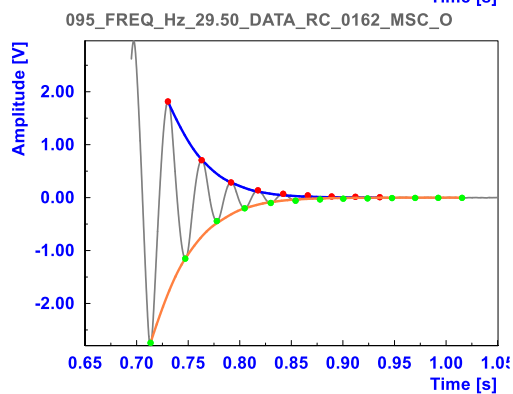
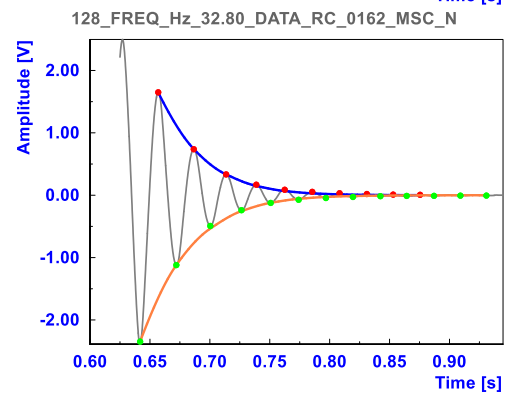
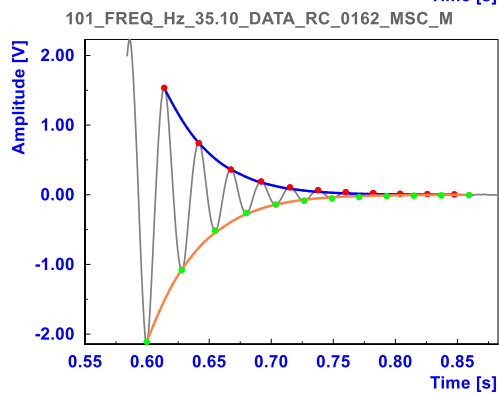
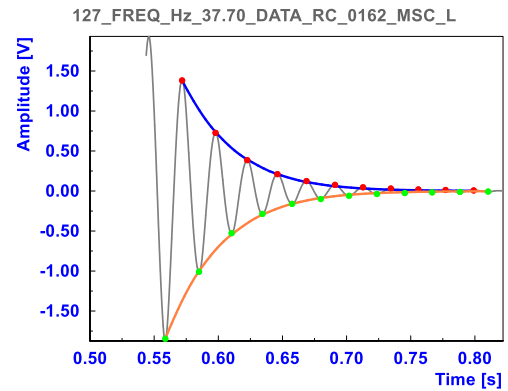
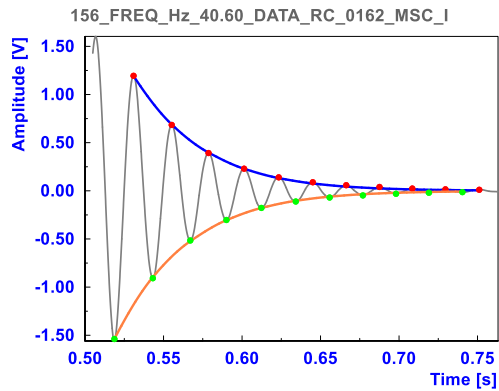
Waveform amplitude: 0.20 V

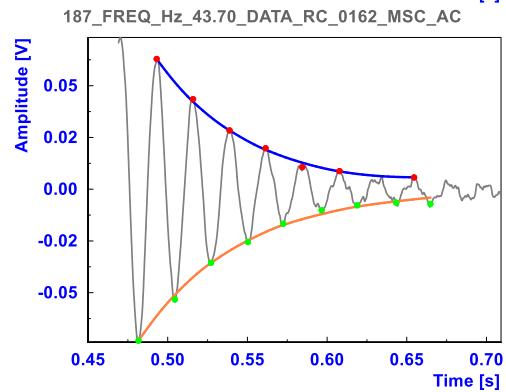
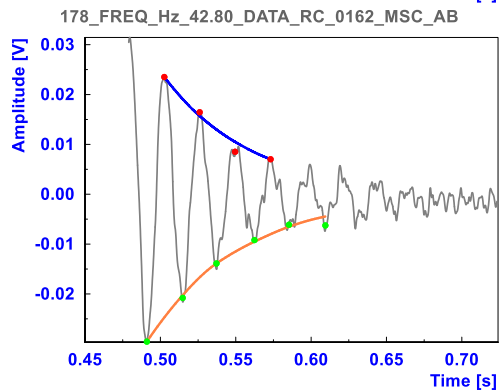
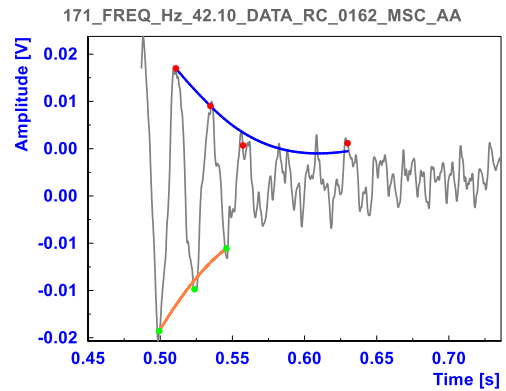
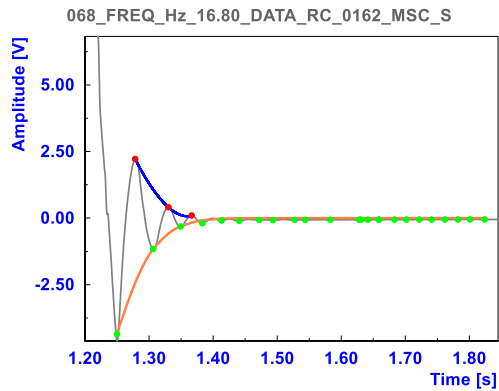




Grafici di colonna risonante: oscillazioni libe.







ALLEGATO 2

Montefortino

Le analisi di risposta sismica locale sono state eseguite in assetto bidimensionale, mediante l'ausilio del codice di calcolo **LSR2D** che ha implementato mediante una interfaccia di pre e post processo il codice QUAD4M (Hudson et al., 1994) effettuando un'analisi di risposta sismica locale di tipo bidimensionale, lineare equivalente, con il metodo agli elementi finiti. Il deposito viene discretizzato in una mesh di elementi di forma triangolare o quadrangolare, consentendo una efficace modellazione della variazione geometrica del contatto deposito-basamento, così come delle irregolarità della superficie topografica e dei contatti stratigrafici. Dalla generazione della mesh, dipendendo l'accuratezza della soluzione e l'onere computazionale. E' stato utilizzato il noto criterio per cui l'altezza h di ogni elemento risulti:

$$h \leq \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{5} \right) \frac{V_s}{f_{max}}$$

dove:

- h : passo della mesh;
- V_s : velocità di propagazione delle onde di taglio nel mezzo discretizzato;
- f_{max} : frequenza massima considerata nell'analisi preso pari a 20 Hz.

Il passo utilizzato è compreso tra i 3 e 8 metri in funzione della V_s

L'equilibrio globale è espresso dal sistema di equazioni: $\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}_b$

dove:

- \mathbf{u} è il vettore degli spostamenti nodali;
- \mathbf{M} la matrice delle masse globale;
- \mathbf{K} la matrice delle rigidezze globale;
- \mathbf{C} la matrice di smorzamento globale
- $\ddot{\mathbf{u}}_b$ la storia temporale dell'accelerazione di input.

Il moto sismico di input $\ddot{\mathbf{u}}_b$ viene applicato simultaneamente a tutti i nodi della base sotto forma di onde trasversali SV e/o onde di compressione P (*in plane motion*) con direzione di propagazione verticale ed ha il significato fisico di un moto registrato su affioramento piano del basamento (*outcropping bedrock*).

Infine il *bedrock*, corrispondente in quest'area alla formazione della Laga è stato modellato come materiale a comportamento lineare con valore del fattore di smorzamento pari a 1%. La velocità delle onde di taglio è stata attribuita sulla base dei risultati delle prove MASW.

Ai limiti del modello sono stati applicati degli smorzatori viscosi per simulare le perdite di energia per radiazione di energia appena evidenziate.

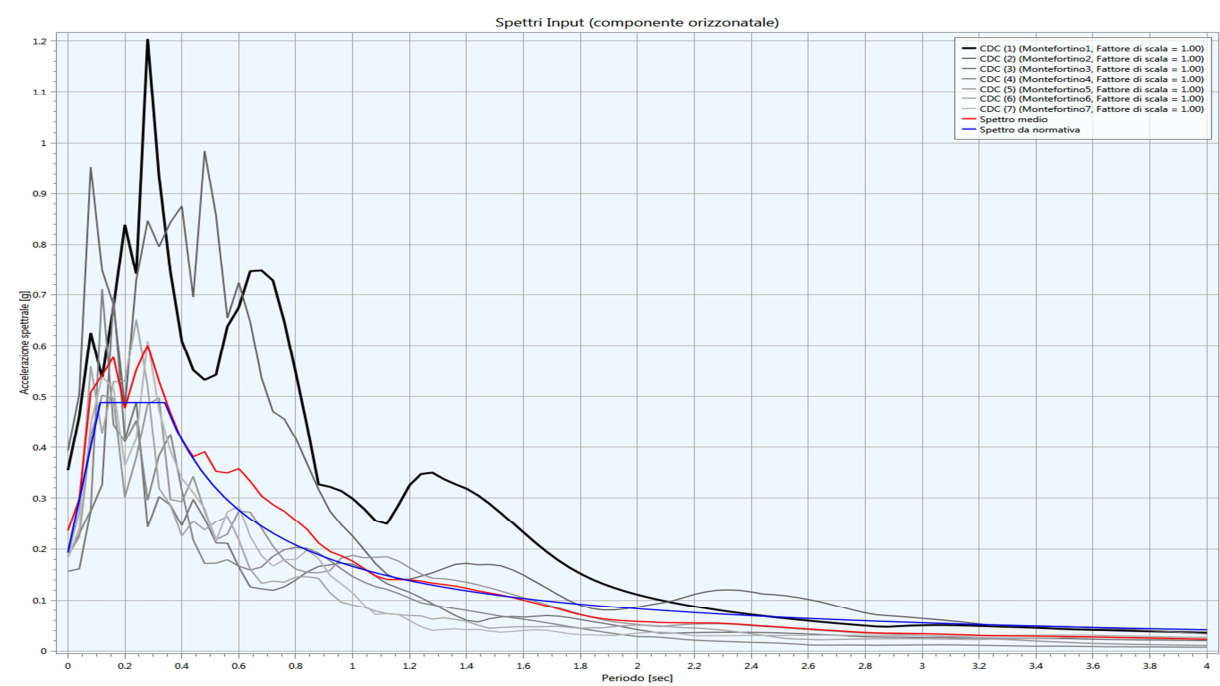
La non linearità del terreno viene tenuta in conto attraverso l'esecuzione di analisi lineari equivalenti. Il modulo di taglio G e il rapporto di smorzamento D vengono fatti dipendere dal livello della deformazione tangenziale γ indotta dalle sollecitazioni sismiche. A partire dai valori iniziali dei parametri di rigidezza e smorzamento, con una prima analisi si determina, per ciascun elemento, un primo valore caratteristico (o effettivo) della deformazione tangenziale γ_{eff} . Dalle curve $G/G_0 - \gamma$ e $D - \gamma$ si determinano nuovi valori dei parametri dinamici, le matrici di rigidezza e smorzamento di ciascun elemento vengono aggiornate e si esegue una nuova analisi determinando un nuovo valore caratteristico

Le proprietà dissipative del terreno sono modellate attraverso la matrice di dissipazione \mathbf{C} . Essa deriva dall'assemblaggio delle matrici di dissipazione dei singoli elementi calcolate secondo la formulazione di Rayleigh completa: $\mathbf{C}_i = \alpha \mathbf{R}_i \mathbf{M}_i + \beta \mathbf{R}_i \mathbf{K}_i$

dove αRi e βRi sono i coefficienti di *Rayleigh* ed Mi , Ci e Ki le matrici locali del *singolo* elemento.

Le elaborazioni effettuate sono state ottenute come media di 7 analisi lineari equivalenti eseguite con altrettanti accelerogrammi spettro-compatibili in media con lo spettro su roccia con tempo di ritorno 475 anni (INGV, 2017).

Nella figura sottostante gli accelerogrammi sono presentati in forma spettrale e messi a paragone con lo spettro da normativa



Per quanto riguarda i terreni di copertura sono state utilizzate le prove di colonna risonante effettuate dal Laboratorio del Politecnico di Torino ottenute dall’analisi è stato utilizzato un campione prelevato in sondaggio

Le altre litologie hanno un comportamento e gli è stato attribuito un comportamento lineare elastico

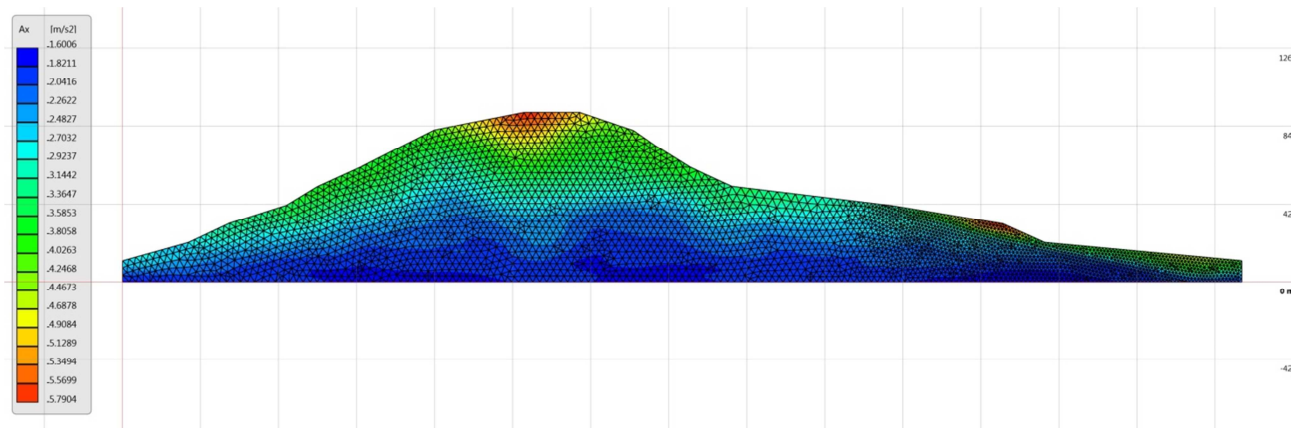
Nella tabella sottostante sono riportati i parametri fisico-meccanici e di smorzamento adotta adottati

Litologia	Vs (m/s)	γ (kN/m ³)	ν	Curve dinamiche
1- Terreni di Copertura ML	300	20.1	0.40	Polito
2- Formazione della Laga SFLPS Arenarie	750	23	0.30	Lineare D= 1%
3- Marne a Cerroghna SFALS	600	23	0.30	Lineare D= 1%

La valutazione dei fattori di amplificazione FHa. Questi sono calcolati come rapporto tra l’integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output in un dato intervallo e il corrispondente parametro di input fatta utilizzando intensità di Housner sono state calcolate con uno smorzamento convenzionale del 5% e tre intervalli di periodi compreso tra 0.1 e 0.5, tra 0.4 e 0.8 e tra 0.7 e 1.1 sec.

La sezione sottoposta a verifica è la A-A' che interessa l'abitato di Montefortino ed è presentata nella figura sottostante in cui sono indicate le accelerazioni massime.

Si nota nella RSL un effetto di amplificazione dovuto a un effetto topografico nella sommità del rilievo e una amplificazione del moto in corrispondenza delle coperture sciolte



I risultati sono i seguenti

MOPS	$T_{0.1-0.5}$	$T_{0.4-0.8}$	$T_{0.7-1.1}$
2002	1.62	1.09	1.12
2099 Lag1x	1.21	1.13	1.16
2099 SFALS CRR	1.44	1.60	1.40