



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE
TOSCANA



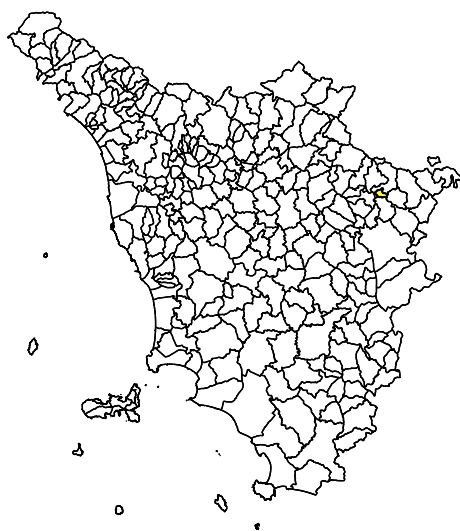
CONFERENZA DELLE REGIONI
E DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica illustrativa (MS3)

Regione Toscana
Comune di Chitignano



Regione Toscana	Soggetto realizzatore Progeo Engineering S.r.l. Referente e coordinatore attività: Geol. Massimiliano Rossi Geol. Fabio Poggi Collaboratori: Geol. Gabriele Menchetti Geol. Andrea Martini	Data Novembre 2022
--------------------	---	-----------------------

1.	PREMESSA.....	2
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE	3
2.1.	TESTI DI RIFERIMENTO TECNICO	3
2.2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3.	SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE D'INDAGINE	4
4.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	5
5.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	12
6.	CARTA DELLE INDAGINI	15
7.	CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI.....	16
8.	CARTA GEOLOGICO-TECNICA	17
9.	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA	19
9.1.	DESCRIZIONE DELLE ZONE MICROSISMICHE PRESENTI NELLA CARTA MOPS.....	20
10.	- ELABORAZIONI DELLO STUDIO DI MS3	23
11.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	28
12.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	29
12.1.	- MODELLAZIONI NUMERICHE E ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	30
12.1.1.	- <i>PARAMETRIZZAZIONE IN CHIAVE DINAMICA DEI TERRENI</i>	31
12.2.	- AREE IN FRANA MS3	38
12.3.	- RAPPRESENTAZIONE SU MAPPA ED ESTRAPOLAZIONE.....	38
12.4.	- REDAZIONE DELLA CARTA DI MS3	39
13.	- COMMENTI FINALI E CRITICITÀ	41
14.	BIBLIOGRAFIA	42



1. PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Chitignano (AR), sono stati eseguiti gli Studi di Microzonazione Sismica di livello 3 (di seguito MS3) per le aree urbane interne al territorio comunale suddivise nel capoluogo e nella località Rosina.

La presente Relazione Tecnica riporta i dati e le informazioni acquisite ed illustra i risultati degli studi e delle indagini di Microzonazione Sismica, in ottemperanza a quanto previsto dal DPGR n.5/R del 30 gennaio 2020 *“Regolamento di Attuazione dell'Art.104 della LR n. 65/2014 contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche”*, secondo le specifiche contenute nell'Allegato A *“Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche”* con particolare riferimento al punto B.6 del §2.

Il Comune di Chitignano ha avviato il procedimento amministrativo per l'aggiornamento dello strumento urbanistico vigente tramite il nuovo Piano Strutturale Intercomunale del Casentino ed ha manifestato l'interesse di accedere ai finanziamenti per la redazione degli studi di MS2.

Il Comune di Chitignano, a seguito della manifestazione d'interesse (Del. Dir. Toscana n°977 del 27/09/2021), è risultato al 4° posto nella graduatoria di assegnazione dei contributi relativi all'Ordinanza C.D.P.C. n.780/2021 (art. 2 comma 1), stabilita sulla base del valore di accelerazione minima al suolo “ag”.

Nell'Allegato 2A al DGRT n.22090/2021 *“Esito Istruttoria delle domande di contributo da parte di Enti locali per studi di Microzonazione sismica e analisi CLE. Approvazione graduatoria e impegno di spesa”* è visibile il finanziamento ottenuto, di seguito riportato.

N.	Prov.	Ente	ag	Popolazione	Contributo Nazionale (75%)	Confinamento Ente locale (25%)
4	AR	Chitignano	0,193397	< 2.500	€ 5.625,00	€ 1.875,00

Nell'Allegato 1 al Decreto era riportata una nota dove veniva prescritto di redigere anche lo studio di MS3, in quanto il Comune rientrava tra quelli della Tab.3 del Bando. A seguito di incontro tecnico con il Servizio Sismico della Regione Toscana è stato deciso, in base all'estensione dell'area di studio ed al contesto geologico e sismostratigrafico, di effettuare esclusivamente lo studio di MS3, con modellazione 1D.



2. RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE

Lo studio e le indagini geofisiche sono state condotte secondo le specifiche tecniche contenute nei seguenti testi di riferimento:

2.1. TESTI DI RIFERIMENTO TECNICO

- **Indirizzi e Criteri generali per la Microzonazione Sismica** – GdL DPC/Regioni. Documento approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni nella seduta del 13 novembre 2008.
- **Istruzioni Tecniche per le indagini geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche**, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana - Programma VEL Toscana – Del. GRT. n. 1343 del 18 dicembre 2000 e s.m.e.i.
- **Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica** – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 4.2 – Dicembre 2020
- **Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)** – Conferenza delle Regioni e Provincia Autonome – Presidenza Consiglio dei Ministri (DPC) - Versione 1.0 – Giugno 2015.
- **Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ)** – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 1.0 – Marzo 2017
- **Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)** – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 2.1 – Gennaio 2018.
- **Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazione (AMPL)** – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 2.0 (ancora in bozza non definitiva) – 2021.
- **Studi di RSL 2D** secondo le procedure e gli standard operativi definiti negli ICMS di cui al par. 3.1.7 e riportate al par. 7.11.3 del DM 17.01.2018.
- **“Indicazioni sulla valutazione dell’amplificazione sismica in riferimento agli studi di microzonazione sismica di III livello in Regione Toscana”**, redatto dal Settore sismica regionale.

2.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- **Del.G.R.T. n. 977 del 27 settembre 2021**, All. 1 – Redazione delle specifiche tecniche regionali per l’elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica e prescrizioni per le analisi della Condizione Limite per l’Emergenza.



- **O.C.D.P.C.780/2021** Interventi di prevenzione del rischio sismico Finanziamenti per indagini di Microzonazione Sismica e Analisi delle Condizioni Limite per l'emergenza (art. 2, comma 1, lett. a).
- **L.77/2009** “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile” (art. 11 l'istituzione del “Fondo Nazionale per la Prevenzione del Rischio Sismico”).
- **L.R. 16 OTTOBRE 2009 N. 58** “Norme in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico” art. 2 comma 1 lett. a) – promozione, programmazione e svolgimento di attività di studio, analisi e ricerca sul rischio sismico; art.3 comma b)- indagini ed analisi di microzonazione sismica per la valutazione degli effetti locali nei centri urbani.

3. SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE D'INDAGINE

Come prima fase la Struttura Regionale competente, in accordo con l'Amministrazione Comunale ha indicato la perimetrazione delle aree dei centri urbani maggiormente significative, su cui eseguire lo studio di MS3.

Tali aree, sono state individuate secondo le specifiche tecniche di cui al par. 1.B.1.2 delle Istruzioni Tecniche del Programma VEL e secondo i criteri definiti al par. 3.4.2 degli ICMS.

Su di esse, si concentrano la maggior parte delle infrastrutture esistenti e la quasi totalità delle residenze e delle attività artigianali, industriali e commerciali e sono suddivisi nelle seguenti località:

1. Chitignano (capoluogo e sede comunale);
2. Rosina

L'area di studio comprende un intorno significativo ai suddetti centri urbani e riprende le zone riportate nello studio di MS1, previo leggero adeguamento in relazione al nuovo perimetro delle aree di urbanizzazione. Lo studio MS1 venne approvato dalla Commissione nazionale per la microzonazione sismica nella seduta del 23/05/2014.



4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

L'attività neotettonica, caratterizzata dal forte sollevamento della catena e dallo sprofondamento del settore che ospita l'alto corso dell'Arno e la relativa sismicità (Figura 4.1) sono imputate al regime estensionale indotto dal meccanismo tettonico che ha generato il bacino del Casentino (*Mantovani et al., 2012*).

Questa interpretazione descrive la formazione della depressione casentinese come effetto della parziale separazione tra le dorsali Pratomagno e Alpe di Catenaia, causata dalla compressione longitudinale che ha agito sulla parte settentrionale del cuneo RMU (Romagna-Umbria-Marche), come descritto in Mantovani et al. (2011). La storia della sedimentazione è simile a quella di altri bacini intermontani toscani, in particolare il Mugello. Tuttavia, a differenza dei settori vicini, la documentazione sulla tettonica attiva e le sue connessioni con la sismicità è scarsa.

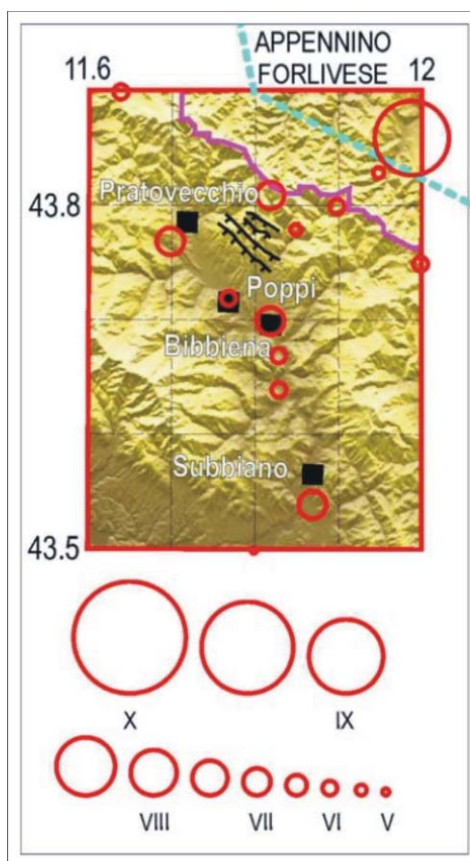


Figura 4.1 – Sismicità storica dell'area del Casentino. I cerchi rossi indicano i terremoti avvenuti dopo il 1000. I principali elementi tettonici sono in nero. La linea celeste tratteggiata è il confine della zona sismica Appennino forlivese. Da Mantovani et al., 2012

Il Comune di Chitignano è classificato, ai sensi della DGRT n.421 del 26.05.2014, in attuazione dell’Ord. P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006 e D.M. 14 gennaio 2008 (Figura 4.2), in classe 2 ($ag/g \geq 0.15$). Maggiori informazioni sulla classificazione sismica della regione Toscana sono reperibili al link: <https://www.regione.toscana.it/-/classificazione-sismica-della-toscana>

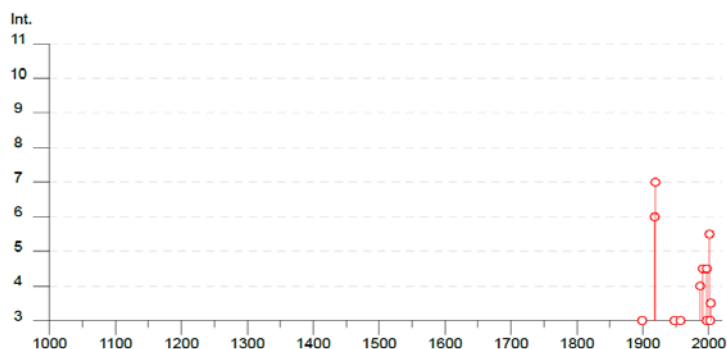


Figura 4.2 – Classificazione sismica della Regione Toscana DGRT n.421 del 26/05/2014

Il primo passo per la definizione della pericolosità è la conoscenza dei dati macrosismici presenti nel Database Macrosismico Italiano la cui ultima versione è il DBMI 2015 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>) messo a disposizione dall’INGV; all’interno del catalogo possono essere selezionati gli eventi di maggiore rilevanza che hanno interessato una data località. Nel caso di Chitignano vengono evidenziati 31 eventi a partire dal 1899 e con relativa Magnitudo di Momento (M_w) dell’epicentro della scossa (Figura 4.3).

Chitignano

PlaceID IT_47063
Coordinate (lat, lon) 43.661, 11.882
Comune (ISTAT 2015) Chitignano
Provincia Arezzo
Regione Toscana
Numero di eventi riportati 31



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	1899	07	08	22	56	5	Bagno di Romagna	37	4	4.02
2	1902	06	27	16	48		Casentino	13	6	4.46
NF	1907	12	20	10	29	1	Chianti	35	6	4.44
6	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9	5.96
7	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
3	1948	06	13	06	33	3	Alta Valtiberina	142	7	5.04
2	1956	06	03	01	45	5	Appennino forlivese	62	6	4.51
3	1957	04	30	06	05	0	Alta Valtiberina	57	5	4.23
4	1987	07	05	13	12	3	Montefeltro	90	6	4.44
NF	1989	07	09	03	54	3	Montefeltro	48	5	4.09
NF	1990	05	08	22	33	1	Alta Valtiberina	64	5	3.77
4-5	1991	01	14	07	38	3	Casentino	62	5	4.26
NF	1993	01	17	10	51	2	Alta Valtiberina	76	5	4.26
NF	1993	06	05	19	16	1	Valle del Topino	326	6	4.72
NF	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
3	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4-5	1997	10	02	19	38	0	Alta Valtiberina	55		4.42
2-3	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
NF	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
NF	1999	01	25	22	45	5	Appennino forlivese	97	5	4.36
NF	2000	05	08	12	29	5	Faentino	126	5	4.67

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6	4.82
NF	2000	06	22	12	16	3	Bacino di Gubbio	107	5	4.47
NF	2000	08	01	02	34	3	Montefeltro	84	5-6	4.27
5-6	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
3	2002	02	21	14	36		Casentino	43	5	4.09
3-4	2003	01	26	20	15	0	Appennino forlivese	63	5-6	4.50
NF	2003	01	29	23	50	1	Appennino forlivese	71	4-5	4.06
NF	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29
NF	2006	10	21	07	04	1	Anconetano	287	5	4.21



Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Rosina	2	1
Taena	1	1
Poggio d'Acona	2	3
Rassina	3	4
Santa Mama	1	4
Chiusi della Verna	31	6
Santa Maria del Sasso	1	6
La Verna	3	6
Bibbiena	53	7
Castel Focognano (Rassina)	22	8
Caprese Michelangelo	33	9
Memmenano	2	9
Subbiano	29	10

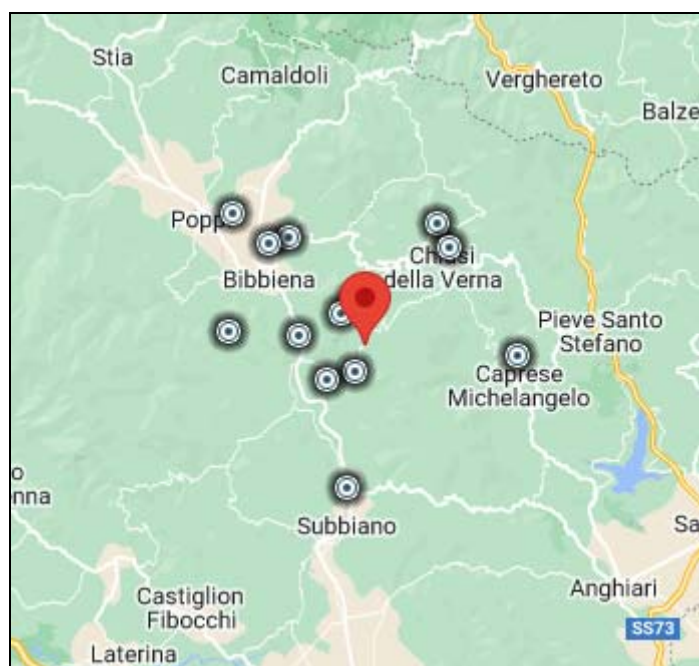


Figura 4.3 - consultazione per località Castel Focognano CPT115-DBMI15 v4



Il Database Macrosismico è utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2015. CPTI11, la versione 2022 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>).

Dal catalogo ASMI (Archivio Storico Macrosismico Italiano) sono stati evidenziati i terremoti avvenuti a partire dall'anno 1000 d.C. entro un raggio di 35 km da Castel Focognano (Figura 4.4), 56 terremoti, in blu quelli con $M_w > 5$).

Year	Mo	Da	EpicentralArea	MdpN	I _{max}	LatM	LonM	Io	M _w M
1005			Arezzo	4	7-8	43.464	11.882	6-7	4.86
1352	12	25	Alta Valtiberina	7	9	43.469	12.127	9	6.31
1358			Alta Valtiberina	1	6-7	43.57	12.141	6-7	4.86
1456	12	9	Sansepolcro	1	5-6	43.57	12.141	5-6	4.4
1484			Sansepolcro	1	7	43.57	12.141	7	5.1
1489			Sansepolcro	1	7	43.57	12.141	7	5.1
1504	11	1	Casentino	2	7	43.697	11.816	7	5.1
1520	1	9	Alta Valtiberina	1	6-7	43.541	12.054	6-7	4.86
1558	4	13	Valdarno superiore	29	9	43.456	11.564	9	5.97
1559	4	11	Alta Valtiberina	3	7	43.62	12.091	6-7	4.86
1584	9	10	Appennino forlivese	17	9	43.862	11.992	9	5.97
1599	11	16	Casentino	2	7	43.774	11.716	7	5.1
1668	8	22	Alta Valtiberina	2	6	43.514	12.19	5	4.16
1694	4	8	Alta Valtiberina	6	7-8	43.62	12.091	7-8	5.4
1729	6	23	Casentino	7	7	43.773	11.486	6	4.63
1731	3	29	Alta Valtiberina	9	7	43.67	12.041	6	4.76
1761	6	20	Appennino forlivese	2	7	43.834	11.96	6	4.63
1772	10	12	Alta Valtiberina	1	6	43.57	12.141	6	4.63
1774	1	31	Alta Valtiberina	3	7	43.61	12.128	6	4.63
1778	8	3	Alta Valtiberina	1	6	43.57	12.141	6	4.63
1783	6	29	Casentino	4	D	43.774	11.716	5-6	4.4
1787	12	26	Casentino	6	6-7	43.723	11.767	5-6	4.4
1796	2	5	Aretino	9	7	43.534	11.873	7	4.96
1810	9	30	Valle del Metauro	2	5	43.608	12.239	4-5	3.93
1824	8	12	Appennino forlivese	2	6-7	43.867	12.01	6	4.63
1856	6	5	Alta Valtiberina	2	6-7	43.67	12.041	5-6	4.4
1889	12	12	San Piero a Sieve	4	6	43.898	11.643	5	4.16
1902	6	27	Casentino	13	6	43.643	11.832	6	4.46
1911	3	26	Casentino	8	7	43.811	11.816	6	4.54
1913	7	29	Casentino	16	6	43.814	11.89	5-6	4.54



Year	Mo	Da	EpicentralArea	MdpN	Imax	LatM	LonM	Io	MwM
1917	4	26	Alta Valtiberina	134	9-10	43.467	12.129	9-10	6.09
1918	11	10	Appennino forlivese	187	9	43.917	11.933	9	6
1919	10	25	Alta Valtiberina	30	6	43.571	12.132	6	4.8
1948	6	13	Alta Valtiberina	142	7	43.598	12.127	7	5.02
1957	4	17	Appennino forlivese						
1957	4	30	Alta Valtiberina	57	6	43.733	12.013	5	4.23
1965	8	4	Alta Valtiberina	44	6	43.695	12.112	5	4.4
1969	8	9	Appennino toscoro-	33	5	43.76	11.962	5	4.24
			romagnolo						
1985	11	24	Appennino forlivese	29	5-6	43.92	12.053	5-6	4.48
1987	7	5	Montefeltro	90	6	43.749	12.313	6	4.63
1989	7	9	Montefeltro	48	5-6	43.742	12.35	5	4.16
1990	5	8	Alta Valtiberina	64	5-6	43.732	12.297	5	4.15
1990	5	8	Alta Valtiberina	1	5-6	43.57	12.141	5-6	4.4
1991	1	14	Casentino	62	5-6	43.802	11.894	5	4.32
1993	1	17	Alta Valtiberina	76	5	43.584	12.318	5	4.17
1997	10	2	Alta Valtiberina	55	6				
1997	10	2	Alta Valtiberina						
2001	11	26	Casentino	211	6	43.627	11.991	5-6	4.55
2002	2	21	Casentino	43	5	43.76	12.033	5	4.16
2003	1	26	Appennino forlivese	35	6-7	43.952	12.018	6	4.72
2003	1	26	Appennino forlivese						
2003	1	26	Appennino forlivese	63	5-6	43.928	11.992	5-6	4.47
2003	1	29	Appennino forlivese	71	4-5	43.932	11.947	4-5	4.09
2011	5	24	Appennino forlivese						
2011	7	12	Appennino forlivese						
2013	7	11	Appennino forlivese						

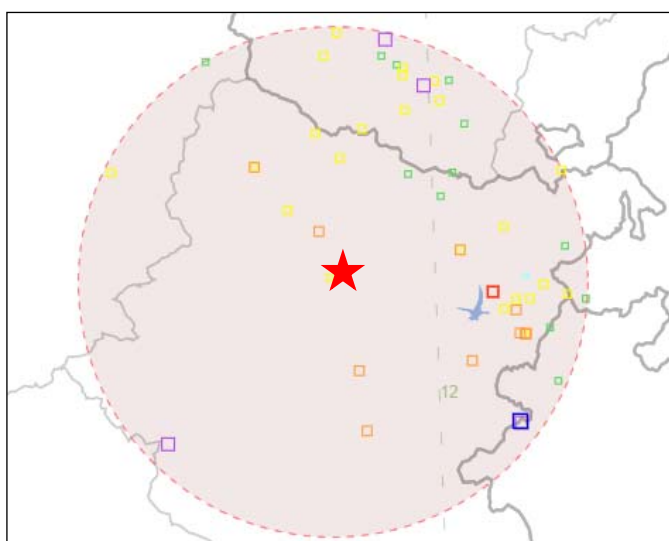


Figura 4.4 - Ubicazione dell'epicentro dei terremoti entro un raggio di 35 km da Castel Focognano (catalogo ASMI)



Il territorio del Comune di Chitignano è compreso all'interno della zona 916 come definita all'interno della “Zonazione Sismogenetica ZS9” (Meletti C., Valensise G., 2004 - Figura 4.5); tale zona, assieme alla 920 coincide con il settore in distensione tirrenica definito dal modello sismo tettonico di Meletti et al. (2000). Tali zone sono caratterizzate da una sismicità di bassa energia, che sporadicamente può raggiungere valori di magnitudo relativamente elevati; la zona 916 è distinta dalla zona 920 per la minor frequenza di questi eventi (Meletti C., Valensise G., 2004). Mentre le adiacenti zone a est della 916 (915, 919, 923) racchiudono faglie e sistemi di faglie legati all'estensione appenninica, la zona 916 assieme alla zona 920 rappresenta una transizione alla distensione peritirrenica.

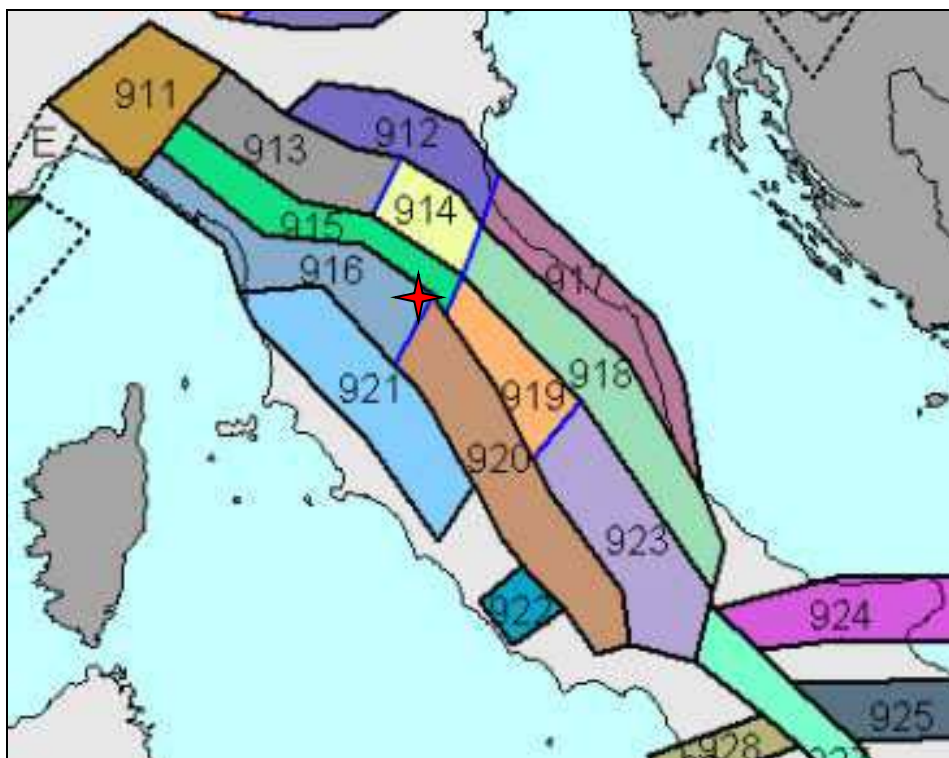


Figura 4.5 Zonazione sismogenetica ZS9

Nella tabella seguente vengono riassunte le principali caratteristiche della zona 916:

Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
916	140	83	16	4.6	5-8	6 *

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

La cartografia geologica e geomorfologica è visibile nelle relative carte di Piano Strutturale Intercomunale del Casentino.

I territori oggetto del presente studio, in cui affiorano unità litostratigrafiche appartenenti a terreni di età compresa tra il Cretaceo inf. e l'Olocene, da un punto di vista morfologico è interna all'area collinare e montana, generatesi in conseguenza della natura litologica delle formazioni geologiche presenti. Quest'area, talvolta coperta da coltre detritica, è costituita dai depositi torbiditici arenacei e marnosi costituenti l'Unità Cervarola-Falterona, appartenente al Dominio Toscano e da torbiditi calcareo-marnose appartenenti al Dominio Ligure Esterno. In seguito al regime compressivo che ha interessato la catena appenninica durante il Paleogene, le formazioni appartenenti al dominio ligure esterno risultano stratigraficamente sovrapposte al Dominio Toscano.

Relativamente alle forme e processi geomorfologici, presenti nelle aree interessate dal presente studio, si rimanda alla legenda inserita nella carta geomorfologica allegata al PSI del Casentino.

Tettonicamente, l'area è caratterizzata da una fase in regime compressivo-plicativo che si svolge con il meccanismo delle falde sovrapposte fino al Miocene medio-superiore, a cui segue una fase distensiva che scompone l'edificio delle falde e caratterizza un periodo di sedimentazione fino al Quaternario.

La genesi del bacino fluvio-lacustre del Casentino si può considerare di origine tettonica in relazione ad una fase distensiva pliocenica alla quale sono associate principalmente le faglie normali con sistema generale a gradinata ed un graduale abbassamento relativo verso SO (subsidenza), che ha portato, nella zona adiacente, all'apertura del bacino intramontano del Valdarno Superiore.

In seguito nel Pleistocene riprenderanno i movimenti di sollevamento del bacino, legati ad un modello tipo Horst e Graben.

Nel territorio oggetto del presente studio la tettonica prevalente è quella tipica di una catena a thrust, con fronti di accavallamento che si sono spostati dall'interno verso l'esterno, anche se le faglie normali presenti sono numerose e per lo più raggruppabili in due sistemi, aventi rispettivamente direzione NE-SO e NO-SE.



Di seguito si riporta la descrizione delle unità stratigrafiche presenti, riprendendo la legenda utilizzata per la realizzazione della cartografia geologica e geomorfologica relativamente alle aree del Casentino, inserita nel database Regionale.

DEPOSITI PLIO-QUATERNARI

- Depositi alluvionali (bn)

Depositi di piana alluvionale: ciottolami in matrice limoso-sabbiosa, ghiaie, sabbie e limi talora variamente pedogenizzati. Questi depositi sono numerati a partire dal terrazzo morfologicamente più alto fino alla pianura alluvionale recente. Quest'ultima può essere localmente soggetta a fenomeni di esondazione. (Pleistocene Medio-Olocene)

- Detrito di versante (dt)

Detrito di versante costituito da elementi eterometrici prevalentemente grossolani, dispersi in matrice sabbiosa, accumulato lungo i versanti principalmente per gravità. (Pleistocene Medio/Superiore-Olocene)

DOMINIO LIGURE ESTERNO

UNITA' TETTONICA MORELLO

- Formazione di Sillano (SIL)

Argilliti e siltiti di colore grigio scuro, verdi e rossastre, con intercalazioni di arenarie calcaree da medio-fini a grossolane e di torbiditi calcareo marnose. (Cretaceo Superiore-Eocene Inferiore)

- Formazione di Monte Morello (MLL)

Alternanza di marne giallo-brune con frattura a saponetta, calcari marnosi bianco-giallastri a grana finissima e frattura concoide, argilliti ed argilliti marnose grigie, arenarie calcarifere micacee avana e rare calcareniti biancastre; lo spessore degli strati varia da pochi centimetri ad alcuni metri. (Eocene Inferiore-Medio)

DOMINIO TOSCANO

UNITA' TETTONICA CERVAROLA - FALTERONA

Successione del Pratomagno

- Arenarie del Monte Falterona (FAL)

Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche-micacee, grigie al taglio fresco, giallastre all'alterazione, con granulometria da media a grossolana, alternate a siltiti, argilliti e marne



grigio scure, giallastre se alterate. Localmente sono intercalati livelli da metrici a decametrici di marne grigio-giallastre (litofacies marnosa-ma) talora associati ad olistostromi (ol) ad affinità ligure e subligure staccatasi dal fronte del thrust in avanzamento durante l'Oligocene terminale-Miocene basale. Questi sono costituiti da argilliti, talvolta marnose, con struttura caotica, di colore grigio chiaro rossastre, inglobanti calcari e calcari marnosi grigio chiari, calcari silicizzati verdi in strati sottili, areniti da microconglomeratiche a fini. (Oligocene Superiore-Miocene Inferiore)

Le Arenarie del Monte Falterona, in base al rapporto Arenaria/Pelite, vengono suddivise nei seguenti membri:

- **Membro di Lonnano (FAL4)**

Siltiti, argilliti e marne prevalenti, $A/P < 1/4$, con presenza di sottili livelli di arenarie fini il cui spessore non supera mai i 20 cm. Le marne sono generalmente di colore grigio chiare, molto fratturate, mentre le altre peliti sono generalmente più scure. I livelli arenacei sono invece di colore grigio-marrone. Contatto su FAL3. (Aquitaniiano inferiore)

- **Membro di Montalto (FAL3)**

Arenarie, marne, argilliti e siltiti con $1/4 < A/P < 2$. Stratificazione da molto sottile a molto spessa, talora in banchi. Si alternano pacchi decametrici di strati sottili con peliti prevalenti a banchi o strati molto spessi ravvicinati. Sono presenti, specialmente verso la base, numerosi livelli calcarenitici, in strati da medi a molto spessi. Nella parte alta del membro prevalenti peliti con rari banchi. La potenza massima è di almeno 800 metri. Contatto inferiore su FAL2. (Chattiano-Aquitaniiano)



6. CARTA DELLE INDAGINI

La "Carta delle Indagini" restituita in scala 1:2.000, riporta l'ubicazione dei dati esistenti e reperiti sul territorio comprendenti:

- dati di base allegati al PS vigente del Comune di Chitignano (AR);
- dati derivanti dalla campagna di indagine geofisica condotta per lo studio di MS1;
- Regione Toscana (Servizio DIFESA SUOLO E PROTEZIONE CIVILE), per i dati relativi ai pozzi superficiali e profondi;
- Banca dati del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA;
- Banca dati del sottosuolo del LAMMA Rete Toscana;
- Banca dati del SIRA - Servizio Informativo Regionale Ambientale della Toscana;
- Banca dati PORTOS 2.0 Regione Toscana.

L'insieme dei dati raccolti per lo studio di MS1 integrati dalla ricerca sull'archivio regionale di Portos 2.0, ha permesso di disporre di un totale di 54 dati puntuali e di 20 dati lineari, suddivisi e rappresentati, in forma simbolica e per tipologia, secondo la legenda prevista negli standard regionali per l'informatizzazione degli studi di MS con riferimento agli Indirizzi e Criteri di Microzonazione sismica (ICMS) a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile, catalogati e archiviati mediante software QGis.

Oltre ai dati delle indagini sopra citati, si è ritenuto opportuno, al fine di ottenere un più completo quadro conoscitivo delle aree, effettuare le seguenti ulteriori indagini, concordate con il Servizio Sismico della Regione Toscana:

- n.2 stese sismiche a rifrazione in onde P ed SH, realizzate nei settori nord (campi da tennis) e sud (campo da calcio) dell'area di Chitignano;
- n.5 siti di acquisizione di misure strumentali di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola (HVSR), ubicate ad integrazione e a completamento di quelle già realizzate in ambito MS1.

Le indagini sismiche lineari sono state eseguite e certificate dai Geol. N.Giovannini e S.Secci.



La raccolta dei dati relativi alle indagini effettuate sul territorio e le informazioni ottenute dalle nuove indagini eseguite, ha consentito di ottenere un adeguato quadro di dettaglio necessario alla stesura dell'aggiornamento della carta MOPS.

L'ubicazione delle nuove indagini sismiche è stata stabilita di concerto con la struttura regionale competente, in ottemperanza alle specifiche di cui al paragrafo 1.B.1.2 delle istruzioni tecniche del Programma VEL, perimetrate secondo i criteri definiti al par. 3.4.2 degli ICMS.

Le planimetrie con la corretta ubicazione, le foto e i grafici dei risultati, redatti sulla base degli standard previsti, sono riportati in allegato alla Relazione Tecnica sulle Indagini.

7. CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI

Nella Carta sono riportati i risultati della campagna di misure di microtremore a stazione singola HVSR, comunemente nota con il termine H/V condotte secondo gli standard e i criteri stabiliti dagli ICMS e indicati nel Volume di Ingegneria sismica 2/11 per la misura delle frequenze fondamentali dei depositi che costituiscono la copertura della pianura fluvio-lacustre e delle coltri detritiche su substrato.

Per una dettagliata trattazione e valutazione della procedura di acquisizione ed elaborazione e quindi della qualità del dato, si rimanda alla Relazione Tecnica sulle indagini.

Preme evidenziare che le indagini H/V denominate dalla n°1 alla n°23 derivano dallo studio MS1; mentre dalla n°24 alla n°28 sono state appositamente realizzate per il presente studio MS3 (ProGeo Engineering Srl).

La rappresentazione grafica scelta è quella dei cerchi con colore variabile secondo la frequenza del picco e con raggio variabile in funzione dell'ampiezza H_0 , in accordo con la legenda restituita in Appendice 3 dell'Allegato A delle *“specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica e prescrizioni per le analisi della Condizione Limite per l'Emergenza”* (aggiornamento del 08/09/2021) e visibile in tabella (Figura 7.1).



f_0 (Hz) (scala di colori)	A_0 (dimensioni crescenti)
● nessuna risonanza (nero)	● nessuna risonanza
● $0.1 \leq f_0 < 0.5$ (verde scuro)	○ $1.1 \leq A_0 < 2$
● $0.5 \leq f_0 < 1.0$ (verde)	
● $1.0 \leq f_0 < 2.5$ (marrone)	○ $2.0 \leq A_0 < 3$
● $2.5 \leq f_0 < 5.0$ (giallo)	
● $5.0 \leq f_0 < 7.5$ (arancio)	○ $3.0 \leq A_0 < 5$
● $7.5 \leq f_0 < 10.0$ (rosso)	
● $10.0 \leq f_0 < 15.0$ (viola)	○ $5.0 \leq A_0$
● $15.0 \leq f_0 < 20.0$ (blu)	

Figura 7.1 legenda per la rappresentazione di f_0 ed A_0

Nella seguente tabella (Figura 7.2) vengono riassunti i risultati delle misure HVSR effettuate per lo studio MS3 con evidenziata la frequenza f_0 del picco, con la relativa ampiezza A_0 .

I report di ciascuna prova unitamente alla documentazione fotografica ed alla qualità dell'indagine, vengono restituiti nella Relazione Tecnica sulle Indagini.

N.hvsr	Frequenza	Ampiezza	CLASSE	sottotipo
24	5.3	2.1	B	1
25	5.4	3.7	A	1
26	3.3	2.4	B	1
27	4.4	2.4	B	1
28	2.0	2.0	B	1

Figura 7.2: quadro riassuntivo dei risultati delle indagini H/V


8. CARTA GEOLOGICO-TECNICA

La carta geologico tecnica sintetizza le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) derivate dalle carte ed elaborati descritti nei precedenti capitoli e consente la ricostruzione del modello del sottosuolo determinante per la realizzazione della carta MOPS.

Nella carta geologico-tecnica vengono rappresentate le informazioni riguardanti i litotipi affioranti, distinti tra terreni di copertura e substrato geologico; lo spessore minimo delle coperture rappresentate è di 3 metri. Nell'area di studio sono presenti gli elementi di seguito elencati:

Terreni di copertura

 Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo


 Terreni contenenti resti di attività antropica


Ambienti genetico-deposizionali

Ambiente di versante

in : Bacino (piana) intramontano

Substrato geologico

 Alternanza di litotipi, stratificato fratturato o alterato

 Lapideo stratificato fratturato o alterato

Sono riportate inoltre le forme di superficie che nel presente studio sono rappresentate da aree di instabilità di versante.

Instabilità di versante

 scorrimento ; attiva

 scorrimento ; quiescente

Vengono infine rappresentati i seguenti elementi geologici ed idrogeologici:

- Forme di superficie e sepolte (orli di scarpata morfologica naturale o artificiale 10-20 m)
- giaciture degli strati;
- l'ubicazione di sondaggi che hanno raggiunto il substrato (con indicazione della profondità ove il substrato è stato rinvenuto) e l'ubicazione di sondaggi che non hanno raggiunto il substrato (con indicazione della massima profondità raggiunta dalla perforazione).

Nella Carta Geologico-tecnica sono state riportate le tracce di n°4 sezioni geologico-tecniche rappresentative dei centri urbani studiati per una corretta definizione del modello geologico-tecnico. Le unità geologico-tecniche individuate, sia sulla carta, che sulle sezioni geologico-tecniche, rappresentano gli elementi stratigrafici caratterizzanti le varie microzone omogenee.



9. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Il principale elaborato prodotto nel Livello 1 è la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), ove sono state rappresentate le microzone omogenee, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all’acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e di alcune tipologie di dati geofisici.

Tali zone sono differenziabili in base alle differenti tipologie di effetti prodotti dall’azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).

Di particolare importanza a questo scopo è risultata la ricostruzione del modello geologico-tecnico dell’area, l’individuazione dei litotipi costituenti il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti) accompagnata da una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna (del tipo: “qualche metro”, “una decina di metri”, “alcune decine di metri”) e da una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso.

Il presente studio ha modificato la carta delle MOPS del Livello 1, in relazione soprattutto alle frane, in quanto sono state recentemente aggiornate con apposito decreto visibile al seguente LINK (https://www.appenninosettentrionale.it/itc/?page_id=8488), nel progetto di Piano PAI “dissesti geomorfologici” dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale (AdBDAS). Di particolare interesse è stato l’inserimento nella carta Geomorfologica e di conseguenza anche nella carta MOPS, di una DPGV (Deformazione Profonda Gravitativa di Versante) con stato di attività quiescente, che interessa tutto l’abitato di Chitignano.

La numerazione delle microzone riprende ed aggiorna lo studio MS1, il quale suddivideva l’intera area in 5 microzone differenziate in base alla tipologia, allo spessore e al grado di fratturazione del bedrock e sulla base dell’ampiezza di un eventuale contrasto di impedenza sismica.



9.1. DESCRIZIONE DELLE ZONE MICROSISMICHE PRESENTI NELLA CARTA MOPS

All'interno del territorio studiato del Comune di Chitignano sono state inserite n. 5 microzone, come di seguito dettagliatamente descritte e riportate nella legenda delle Carte MOPS.

ZONE STABILI

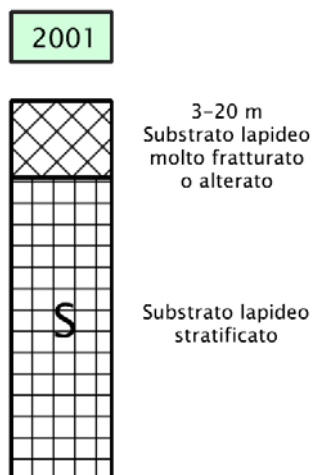
Le zone stabili non sono state cartografate; l'intera area è suddivisa tra zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e zone suscettibili di instabilità.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

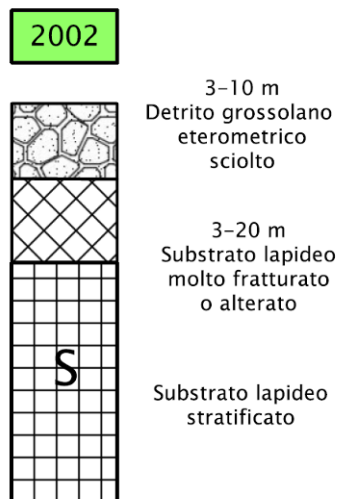
Di seguito vengono descritte le n°5 microzone individuate, preme evidenziare che solamente le MZ 2001 e 2004 per l'area di Rosina sono definite stabili suscettibili di amplificazioni locali; mentre le MZ 2001, 2002, 2003 e 2005 per l'area di Chitignano, rientrano tra quelle suscettibili di instabilità per la presenza di una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV) con stato di attività quiescente.

2001 (Zona 1): rappresentata da substrato lapideo stratificato avente velocità media delle onde di taglio $V_s \geq 800$ m/s, ma molto fratturato o alterato nella porzione superficiale fino a circa 20 m di profondità. Nell'area di studio, il substrato roccioso è costituito dalle Formazione di Monte Morello (MLL) che affiora nella località Rosina.

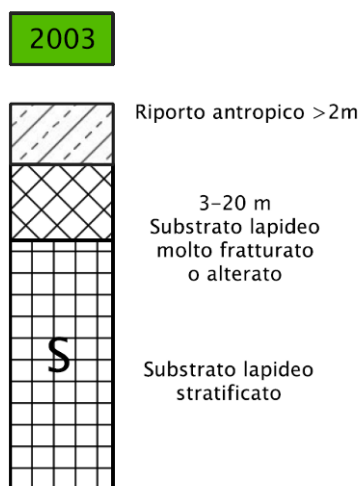
Nell'abitato di Chitignano questa MZ è rappresentata da affioramenti di Arenarie di Monte Falterona, in particolare dal Membro di Montalto (FAL3); tuttavia, come precedentemente ricordato, per la presenza di una DGPV la MZ 2001 rientra tra le zone suscettibili di instabilità, in questo caso 3022.



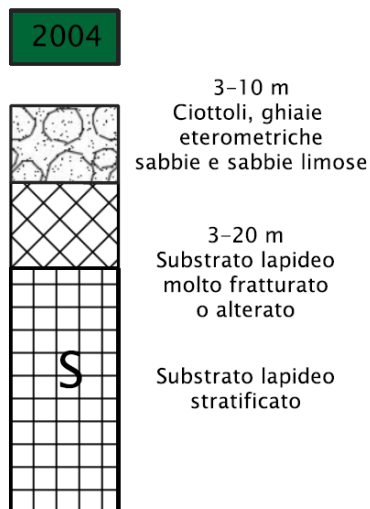
2002 (Zona 2): rappresentata da uno spessore compreso tra 3 a 10m di detrito grossolano eterometrico sciolto, poggiante sul substrato lapideo stratificato (FAL), avente al tetto uno spessore fratturato o alterato dai 3 a 20m. Questa MZ è presente in gran parte dell’area urbanizzata di Chitignano. Per la presenza di una DGPV la MZ 2002 rientra tra le zone suscettibili di instabilità, in questo caso 3022.



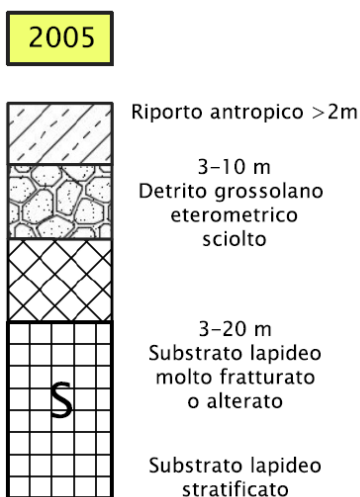
2003 (Zona 3): rappresentata da uno spessore >2m di riporto antropico, posto direttamente sul substrato lapideo stratificato (FAL), avente al tetto uno spessore fratturato o alterato dai 3 a 20m. Questa MZ è presente solamente in due piccole zone poste a nord dell’abitato di Chitignano. Per la presenza di una DGPV anche la MZ 2003 rientra tra le zone suscettibili di instabilità (3022)



2004 (Zona 4): rappresentata da uno spessore affiorante da 3 a 10m di depositi alluvionali costituiti da ciottoli, ghiaie eterometriche, sabbie e sabbie limose, poggianti sul substrato lapideo stratificato (MLL), avente al tetto uno spessore fratturato o alterato dai 3 a 20m. Questa MZ è presente esclusivamente a valle dell’abitato di Rosina, in corrispondenza dell’alveo del T.Rassina.



2005 (Zona 5): rappresentata da uno spessore >2m di riporto antropico, posto al di sopra di detrito grossolano eterometrico sciolto (3-10 m), poggiante sul substrato lapideo stratificato (FAL), avente al tetto uno spessore fratturato o alterato dai 3 a 20m. Questa MZ è presente solamente in una piccola porzione a nord di Chitignano e nell’area del campo sportivo (zona sud). Anche questa MZ, per la presenza di una DGPV, rientra tra le zone suscettibili di instabilità (3022).



ZONE SUCETTIBILI DI INSTABILITA'

All'interno dell'area di studio è stata discriminata la presenza di zone di attenzione per instabilità: in particolare sono state mappate zone suscettibili di instabilità di versante attiva e quiescente, come riportate nella seguente tabella:



3012 (ZAFR_A – Zona di attenzione per instabilità di versante per scorrimento, attiva)



3022 (ZAFR_Q – Zona di attenzione per instabilità di versante per scorrimento, quiescente)

Come precedentemente ricordato tutto l'abitato di Chitignano è impostato su di una grande DGPV quiescente; mentre a valle dell'abitato di Rosina sono presenti delle frane attive.

10. – ELABORAZIONI DELLO STUDIO DI MS3

Uno studio di microzonazione sismica di terzo livello (di seguito MS3) prevede la disamina di tutti gli aspetti propri di una microzonazione sismica (stima dell'azione sismica e, quindi, dell'eventuale livello di amplificazione sismica e definizione delle aree di rispetto e/o suscettibilità per le aree instabili) mediante procedure avanzate finalizzate ad una parametrizzazione quantitativa. Come meglio precedentemente riportato, lo studio di MS3 nel territorio comunale di Chitignano è stato esteso, a seguito di incontro tecnico con il Servizio Sismico della regione Toscana, ad entrambi i centri abitati studiati in MS1.

L'analisi parametrica finalizzata alla redazione di una cartografia di microzonazione sismica di livello 3, impone la preliminare definizione di un input sismico, costituito da un set di accelerogrammi naturali sismo-compatibili con le caratteristiche tettoniche dell'area e spettro-compatibili con quanto prescritto dalle vigenti NTC 2018.

L'input sismico è stato definito mediante la procedura messa a punto dall'Università di Pavia nell'ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica con la Regione Toscana, finalizzata alla *“Definizione di input sismici sismo-compatibili e spettro-compatibili per i comuni della regione Toscana”*.

A tal proposito è stato sviluppato un codice di calcolo di semplice utilizzo che fornisce, in funzione del sito e del periodo di ritorno considerati, l'input sismico compatibile con le NTC18 sia in termini spettrali che di accelerogrammi spettro-compatibili.

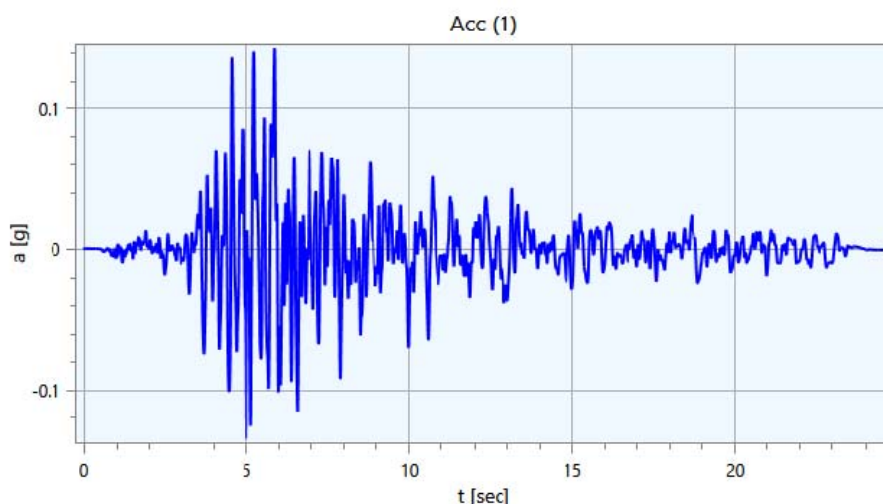


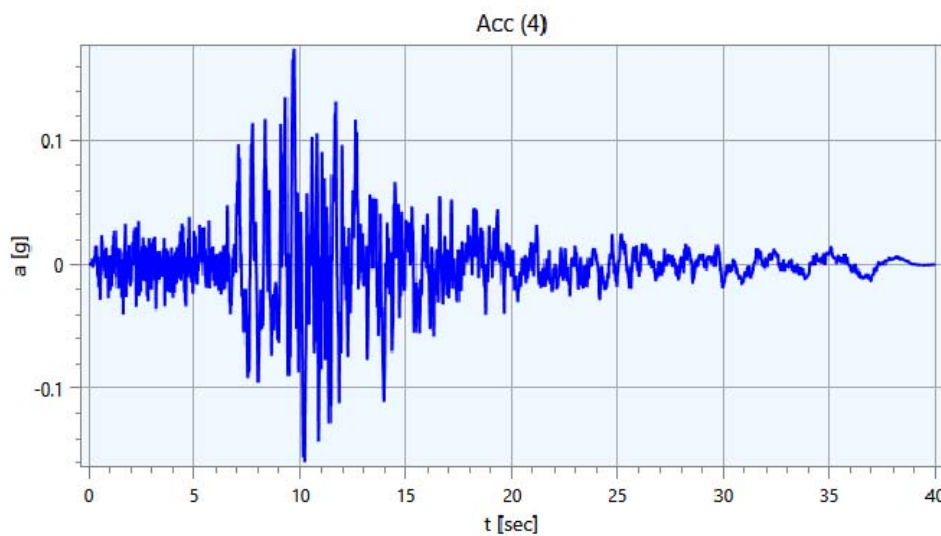
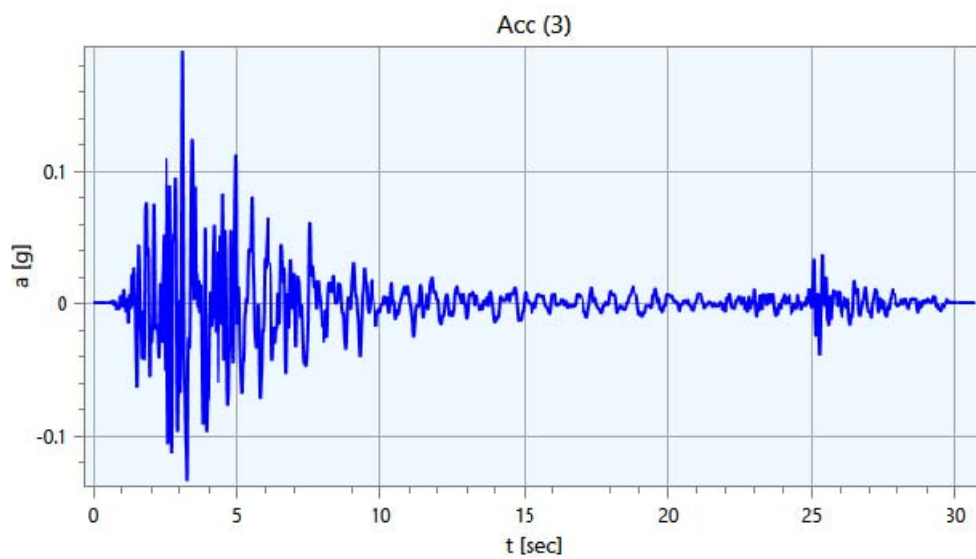
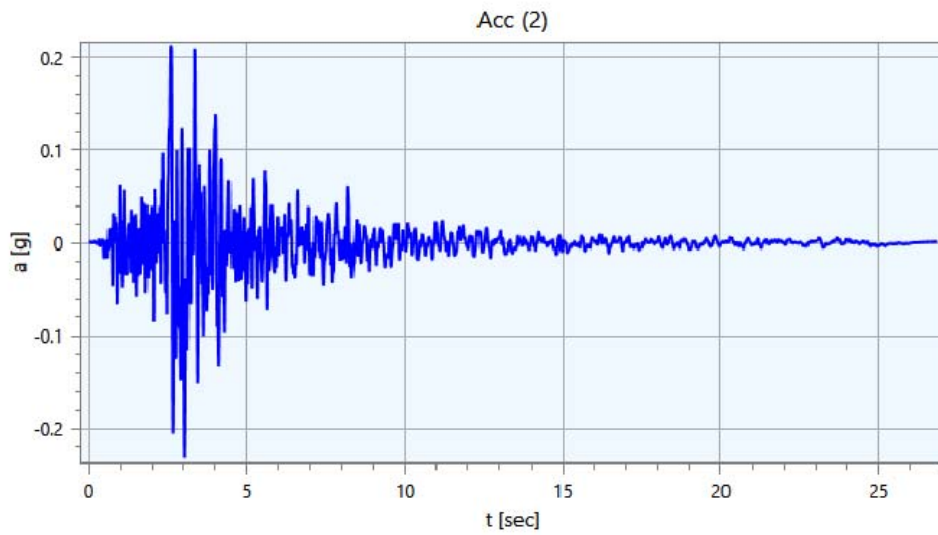
Il codice è chiamato SCALCONA 3.0 (SCALing of COmpatible Natural Accelerograms) ed è scaricabile al link: <http://www.regione.toscana.it/-/accelerogrammi-di-riferimento-per-la-toscana>.

Si è optato per gli accelerogrammi naturali selezionati da banche dati accelerometriche “strong-motion” accreditate. Essi sono da preferire, secondo la normativa e la letteratura internazionale più avanzata per le analisi geotecniche e di risposta sismica locale, a fronte degli accelerogrammi artificiali. SCALCONA 3.0 utilizza i risultati della selezione degli accelerogrammi, consentendo di restituire, per il sito e periodo di ritorno di interesse, un gruppo di 7 accelerogrammi che soddisfano i requisiti di spettro-compatibilità prescritti dalle NTC18 e succ. Circolare.

Gli accelerogrammi possono essere selezionati per ciascun punto interno ai territori di studio e per ciascuno dei 9 periodi di ritorno considerati nelle NTC18 (ossia 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni).

Le analisi di risposta sismica locale realizzate per la microzonazione sismica di livello 3 oggetto del presente lavoro fanno riferimento ad un input sismico relativo ad un periodo di ritorno di 475 anni (SLV). Di seguito è possibile visualizzare le storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati nelle analisi di risposta sismica locale come input sismico (Figura 10.1) e gli spettri di risposta elastici dei medesimi accelerogrammi a confronto con lo spettro di cat. A (bedrock sismico) previsto dalle NTC 2018 (Figura 10.2) per il centro comunale di Chitignano (il valore è riferito convenzionalmente alla sede comunale, per la quale è previsto un valore di a_g pari a 0.189 g per un tempo di ritorno di 475 anni).





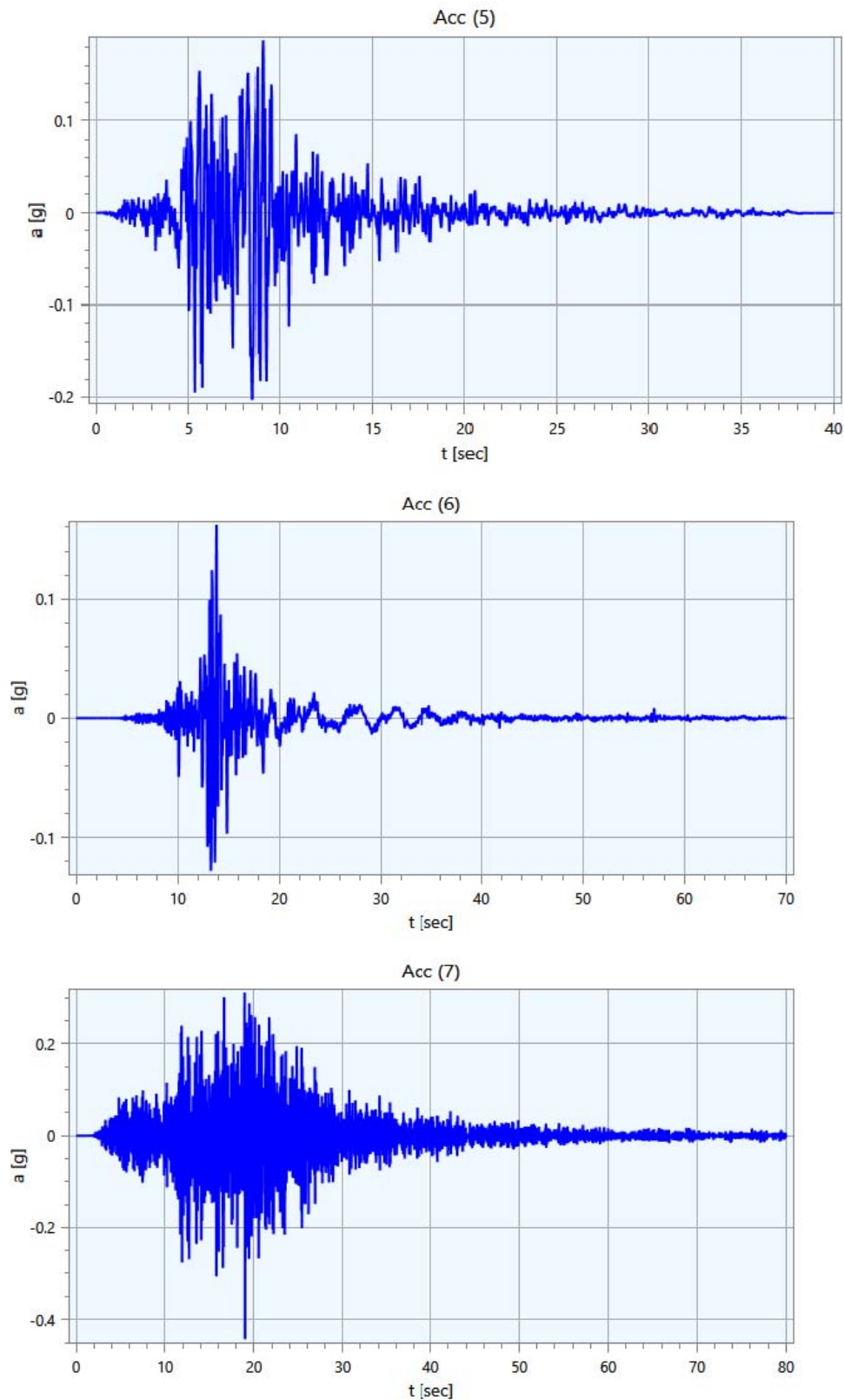


Figura 10.1: Storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico relativo ad un tempo di ritorno pari a 475 anni.



Dal grafico di Figura 10.2 è possibile notare la spettro-compatibilità della media dei 7 input a confronto con lo spettro target di normativa.

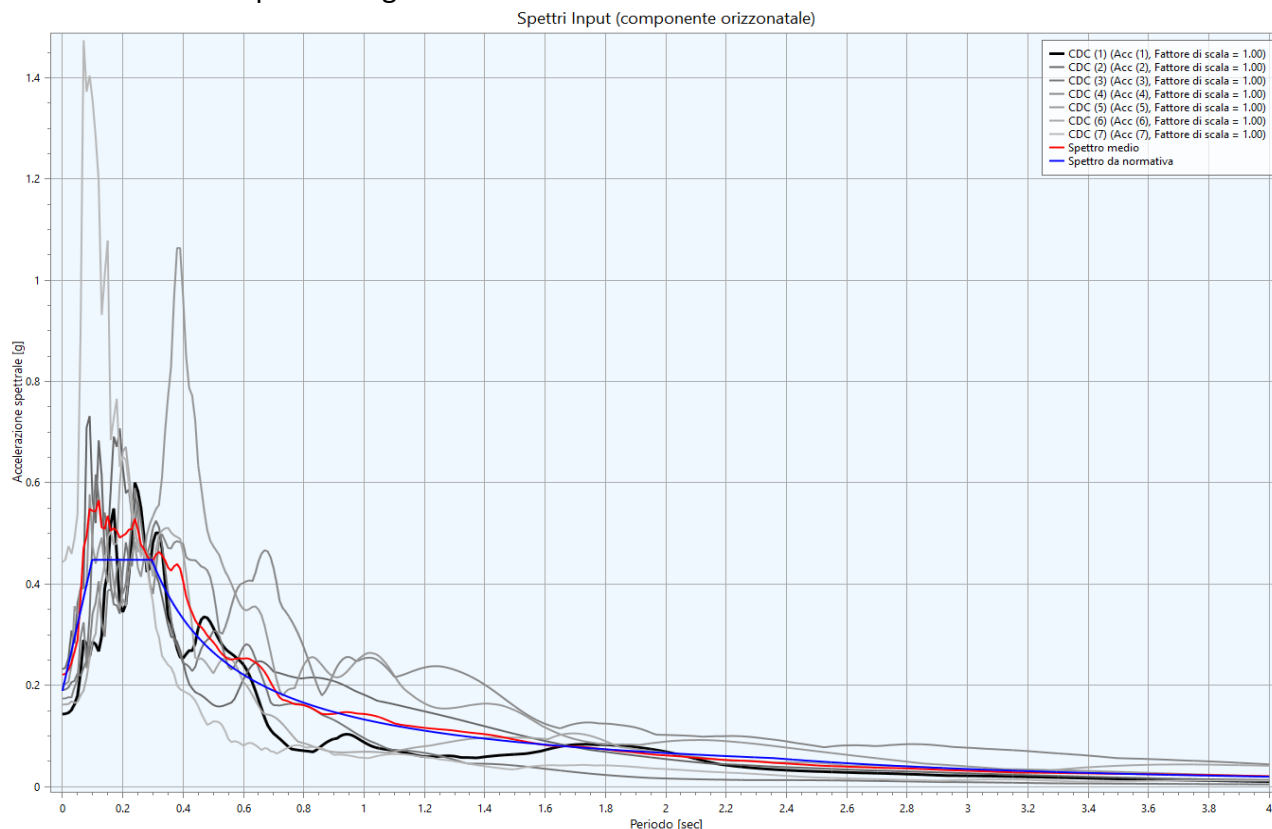


Figura 10.2: Rappresentazione in termini di spettro di risposta elastico (damping factor=5%) dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico per le analisi di risposta sismica locale relative ad un tempo di ritorno pari a 475 anni.

La Tabella 11.1 riporta le informazioni relative ai predetti accelerogrammi. Essi si riferiscono a registrazioni di eventi naturali e relative a stazioni poste sulla superficie terrestre, in corrispondenza di situazioni sismo-stratigrafiche inerenti la CAT. A ai sensi dell'Eurocodice 8 e delle NTC2018.

CHITIGNANO TR475

n°	Magnitude (Mw)	Epic.Distance (km)	Scaling Factor	Source File Name
1	6.20	29.90	1.87	ESM EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
2	5.74	12.57	1.98	NGA-West2 RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
3	5.90	10.10	1.90	ESM IT.ATN..HNN.D.19840507.174943.C.ACC.ASC
4	6.93	83.53	3.21	NGA-West2 RSN804_LOMAP_SSF115.AT2
5	6.69	38.07	1.34	NGA-West2 RSN1091_NORTHV_VAS000.AT2
6	6.60	31.00	0.65	KiK-net SMNH100010061330.EW2
7	6.90	70.13	2.40	NGA-West2 RSN5685_IWATE_MYGH11NS.AT2

Tab.11.1 - Informazioni relative ai 7 accelerogrammi spettro-compatibili utilizzati come input sismico: Magnitude Mw = magnitudo momento associata, Epicentral Distance = distanza epicentrale in km, Scaling Factor = fattore di scala, Source file name = indicazione del nome del record e del codice della banca dati di provenienza.



11. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

A seguito delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche recuperate (indagini VEL) ed eseguite per gli studi di MS1-MS3, nell'area di indagine del Comune di Chitignano, sono stati ricostruiti dei modelli geologici, geofisici e geotecnici di sottosuolo; definendo la stratigrafia rappresentativa della zona e fornendo una parametrizzazione geofisica e geotecnica di riferimento.

Naturalmente è opportuno sottolineare che tale parametrizzazione poiché deriva dalle indagini eseguite risulta indicativa e non deve quindi essere utilizzata a scala di progettazione.

Per il presente studio di MS3 sono state realizzate n°22 stratigrafie geologico-tecniche, effettuate in corrispondenza delle indagini recuperate o realizzate, come ubicate nella Carta delle Indagini.

Nell'area del centro storico di Chitignano, in corrispondenza degli edifici scolastici o comunali sono state effettuate numerose indagini sia per il progetto VEL che per il precedente studio di MS. Tali indagini (sismica a rifrazione e prove Down-Hole) hanno confermato un modello geologico caratterizzato dalla presenza di un substrato lapideo rappresentato dalla F.ne delle Arenarie del M.Falterona (FAL3), molto alterato e fratturato anche per diversi metri, posto al di sotto di esigui spessori di riporto o materiale detritico. Anche le indagini realizzate nelle aree esterne al centro storico, soprattutto costituite da MASW, hanno confermato la stessa successione sismostratigrafica.

In corrispondenza dell'abitato di Rosina l'unica indagine recuperata (Sismica a rifrazione), integrata da alcune HVSR ha mostrato la presenza del substrato sismico costituito dalla F.ne di Monte Morello a profondità elevate (circa 15-20 m) coperto da terreno di riporto e materiale detritico.

Come precedentemente descritto, a seguito del recente decreto dell'AdBDAS, su tutto l'abitato di Chitignano è stata riconosciuta una DGPV con stato di attività quiescente, che di fatto inserisce tutta la zona all'interno di aree interessate da instabilità. Le aree in frana non sono state oggetto di analisi dinamica con il calcolo dello spostamento sismo indotto in quanto non previsto nel presente studio; per questo motivo sono state classificate come aree di suscettibilità per instabilità di versante (ZS-FR).



12. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

I dati acquisiti con il rilevamento geologico e con le indagini geofisiche e geotecniche in sito e di laboratorio vengono raccolti ed organizzati in una **banca dati geografica (Geographic Information System, "GIS")**. La banca dati si sviluppa secondo due filoni strettamente dipendenti:

- 1) la banca dati geografica delle cartografia, geologica, geomorfologica e litotecnica ;
- 2) la banca dati delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

La banca dati geotecnica e geofisica è stata organizzata in un DBMS unico per le due tipologie di indagini: quelle riconducibili in un piano ad elementi puntuali (sondaggi geotecnici, prove down-hole, prove penetrometriche) ed a elementi lineari (sismica a rifrazione, masw).

La banca dati è stata strutturata in modo da permettere l'estrazione e l'utilizzo delle informazioni inserite per l'analisi integrative attraverso sistemi GIS. Per ogni punto di indagine vengono inserite le coordinate geografiche (sistema WGS84-UTM33N), legando le informazioni descrittive a forme geometriche georeferenziate attraverso specifiche operazioni di conversione.

La banca dati completa di tutte le indagini (sia pregresse che di nuova acquisizione), le cartografie tematiche prodotte, i layout predisposti e le basi dati sono archiviate secondo una struttura di archiviazione dei file in cartelle in maniera standard seguendo lo schema di Tabella 13.1.

Dall'insieme dei dati immagazzinati sono stati redatti ulteriori elaborati per la definizione della risposta sismica locale quali la cartografia delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica a partire dagli elaborati di base (MOPS), la Carta delle Frequenze fondamentali dei depositi, la Cartografia geologico-tecnica per la Microzonazione Sismica e la Carta delle indagini. Tali cartografie sono state informatizzate seguendo le indicazioni, i criteri, le legende tipo e le colorazioni previste dagli *“Standard di rappresentazione e archiviazione informatica”* (versione 4.2 – Dicembre 2020).



Nome cartella	Descrizione sintetica dei contenuti
<i>Nomecomune_S40</i>	Cartella principale contenente tutte le cartelle funzionali alla realizzazione degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza. Questa cartella deve essere rinominata con il nome del Comune per il quale si sta eseguendo lo studio.
BasiDati	Nella cartella BasiDati andranno inserite le carte di base utilizzate (es. CTR) in formato <i>raster</i> o vettoriale georeferenziate in WGS84UTM33N. Eventuali ulteriori cartografie di riferimento richieste dalle singole Regioni potranno essere inserite qui.
CLE	Cartella contenente: <ul style="list-style-type: none"> Gli <i>shapefile</i> per l'analisi della CLE o il <i>geodatabase</i>: <ul style="list-style-type: none"> CL_AC CL_AE CL_AS CL_ES CL_US Il <i>database</i> CLE_db.mdb che contiene le tabelle relative alle schede: <ul style="list-style-type: none"> scheda_ES scheda_AE scheda_AC scheda_AS scheda_US
GeoTec	Cartella contenente gli <i>shapefile</i> o il <i>geodatabase</i> riferiti ad elementi geologici e idrogeologici: <ul style="list-style-type: none"> Epuntuali Elineari Forme Geoidr Geotec <p>Cartella nella quale inserire il <i>raster</i> georeferenziato della Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica prodotta e il file "Legenda".</p>
Indagini	Cartella contenente: <ul style="list-style-type: none"> gli <i>shapefile</i> delle indagini o il <i>geodatabase</i>: <ul style="list-style-type: none"> Ind_pu Ind_ln il <i>database</i> "CdI_tabelle" con le tabelle per l'archiviazione delle indagini. Se si utilizza SoftMS esportare il file con il comando "Esporta Comune". la cartella "Documenti" per inserire i documenti pdf delle Indagini_puntuali e delle Indagini_lineari
MS1	Contiene i seguenti <i>shapefile</i> o il <i>geodatabase</i> : <ul style="list-style-type: none"> Isosub Instab Stab
MS23	Identico contenuto della cartella MS1. Contiene anche la cartella "Spettri" nella quale inserire gli spettri in formato .txt
Plot	Cartella contenente: <ul style="list-style-type: none"> la cartella "MS" nella quale inserire i file di stampa delle carte realizzate e la Relazione Illustrativa la cartella "CLE" nella quale inserire la Carta degli Elementi dell'analisi della CLE, con i relativi stralci e la Relazione Illustrativa
Progetti	Cartella per eventuali progetti (per esempio .mxd realizzati in EsriArcGis®).
Vestiture	Cartella per le vestiture realizzate (librerie e simboli). Sono inoltre presenti i loghi della Conferenza delle regioni e delle Province Autonome e del Dipartimento della Protezione Civile, per il <i>layout</i> delle carte

Tabella 12.1: Modalità di archiviazione dei file nelle cartelle all'interno della Banca Dati

12.1. - MODELLAZIONI NUMERICHE E ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il modello geometrico da sottoporre ad analisi di risposta sismica locale è stato rappresentato da "Colonne di controllo" geologico-tecniche realizzate sui punti d'indagine sismica ritenuti maggiormente significativi e recuperati dalla banca dati delle Indagini e visibili nella Carta delle Indagini.

L'Analisi di Risposta Sismica Locale per il presente studio di MS3 è stata condotta, in accordo con il Servizio Sismico della Regione Toscana, in assetto 1D "monodimensionale" utilizzando approcci di tipo lineare-equivalente.



Il numero di verticali analizzate (n°22) ha consentito una buona copertura in riferimento all'estensione dell'area di studio ed alla conformazione geologico-tecnica e sismo-stratigrafica, in modo da intercettare tutte le geometrie superficiali e/o sepolte in grado di influenzare la risposta sismica locale.

Nella trasposizione del modello geologico-tecnico delle verticali d'indagine in modelli numerici 1D sono state definite, oltre che i valori dei parametri fisico-meccanici derivati dalla campagna di esplorazione del sottosuolo a corredo dello studio di MS, anche le geometrie dei litotipi investigati, come desunto dalla ricostruzione del modello geologico-tecnico.

12.1.1. - PARAMETRIZZAZIONE IN CHIAVE DINAMICA DEI TERRENI

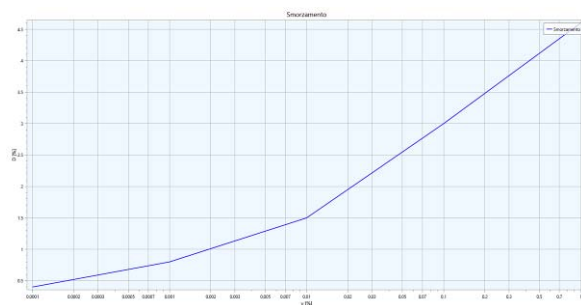
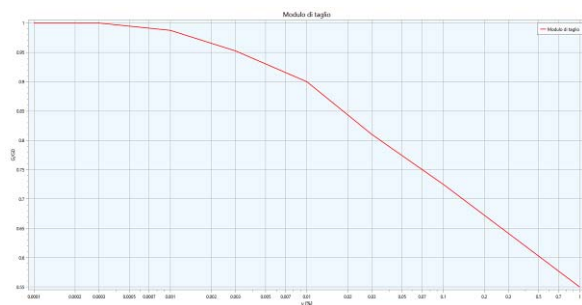
L'esecuzione di analisi di risposta sismica locale, eseguita con il software LSR-2D Vers. 4.5.0 (Local Seismic Response) della Stacec, prevede la parametrizzazione in chiave dinamica dei terreni di studio.

Avendo deciso di ricorrere all'utilizzo di codici di calcolo 1D operanti in ambito lineare-equivalente, è stato necessario ottenere, per ognuno dei sismostrati da modellare, i seguenti parametri:

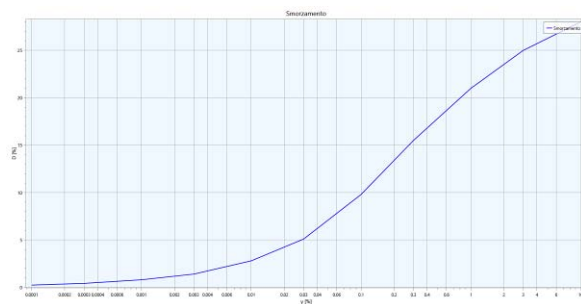
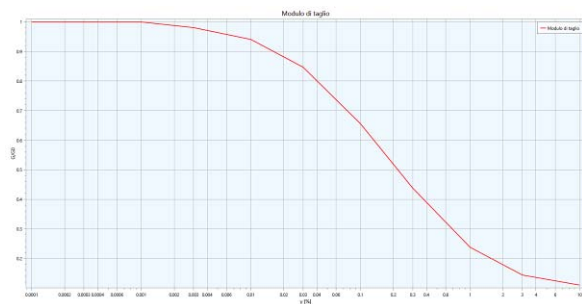
- Valori di **V_p** (velocità di propagazione delle onde di compressione) e di **V_s** (velocità di propagazione delle onde di taglio).
- Pesi di volume dei litotipi in oggetto;
- Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato $G(\gamma)$ e di incremento del rapporto di smorzamento $D(\gamma)$ utilizzate per simulare il comportamento non lineare dei terreni mediante il legame costitutivo lineare equivalente (Figura 12.1).



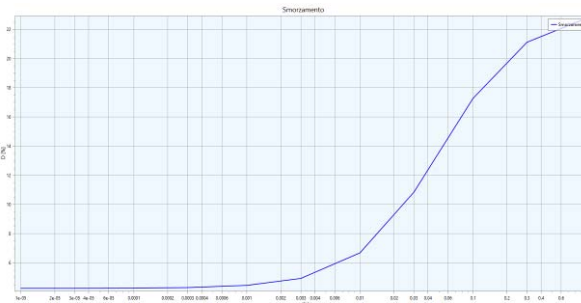
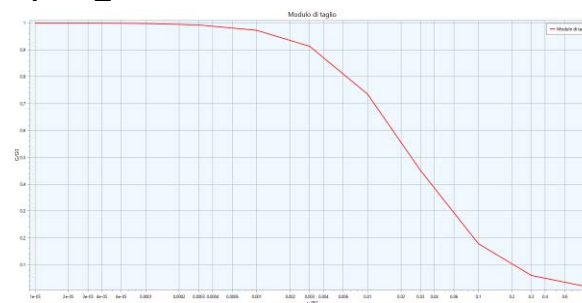
Average Rock



CLAY Seed & Sun



Riporti_Casentino



LINEARE

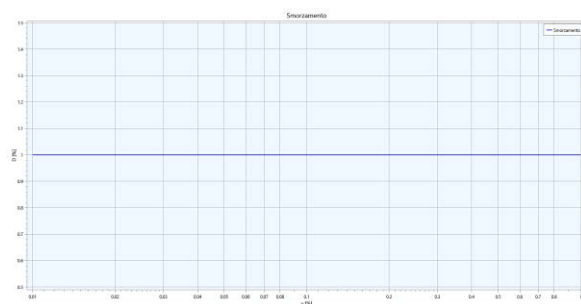
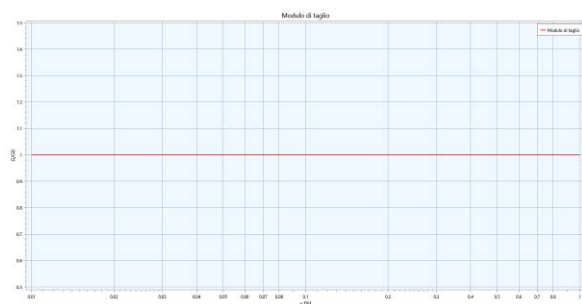


Figura 12.1: Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato $G(\gamma)$ e di incremento del rapporto di smorzamento $D(\gamma)$, utilizzate nella MS3 di Castel Focognano (AR)

Nel presente studio le curve di decadimento, sono state tutte derivate da banche dati presenti nel software ad eccezione di “**Riporti_Casentino**” per i quali sono state scaricate, dall’applicativo della banca dati VEL, le curve di decadimento relative ai campioni presenti in corrispondenza di tali formazioni o depositi. Tali curve sono state reperite al seguente link: <http://150.217.73.25/BancaDatiVEL/>. Per tutti i litotipi a comportamento rigido le curve relative inserite nelle modellazioni sono di tipo lineare. Nelle tabelle seguenti vengono riportate le



caratteristiche meccaniche degli strati rinvenuti all'interno dell'area di studio, suddivise per verticale d'indagine. I valori delle Vs e/o Vp scritti in blu derivano da correlazioni fatte con i valori di altre indagini ritenuti maggiormente significativi:

n°	Carta delle Indagini			MOPS	profondità	stratigrafia	Vs	Vp	densità	G-G0-D	mod. Poisson
	Tipo	Rif.	ubicazione		(m)		(m/sec)	(m/sec)			
1	S1 (DH)	P50	Scuola elementare	30222002	0-1	rip	245	490	1800	Riporti_casentino	0.33
					1-8	FAL3_alt	535	2000	2100	Average rock	0.46
					>8	FAL3	850	2390	2200	Lineare	0.43
2	S2 (DH)	P51	Palazzo comunale	30222002	0-2	riporto	245	490	1800	Riporti_casentino	0.33
					2-27	FAL3-alt	650	2000	2100	Average rock	0.44
					>27	FAL3	815	2390	2200	Lineare	0.43
3	S3 (DH)	P52	Auditorio	30222002	0-2	riporto	260	580	1800	Riporti_casentino	0.37
					2-6	Argilliti+inclusi	250	1400	1900	Clay Seed & Sun	0.48
					6-10	Argilliti	420	2155	1900	Clay Seed & Sun	0.48
					10-25.5	FAL3-alt	650	2500	2100	Average rock	0.46
					>25.5	FAL3	1350	2960	2200	Lineare	0.37
4	St1 (Rifr)	L6-ENE	Via Verna	30222002	0-5	detrito	350	750	1800	Clay Seed & Sun	0.36
					5-15	FAL3-alt	675	1850	2100	Average rock	0.42
					>15	FAL3	1410	2770	2200	Lineare	0.33
5	St1 (Rifr)	L6-WSW	Via Verna	30222002	0-3	detrito	460	670	1800	Clay Seed & Sun	0.05
					3-20	FAL3-alt	765	1610	2100	Average rock	0.35
					>20	FAL3	1340	3360	2200	Lineare	0.41
6	St2-St3 (Rifr)	L7-L8 (ENE)	Via Belardi	30222002	0-5	detrito	285	625	1800	Clay Seed & Sun	0.37
					5-15	FAL3-alt	615	1065	2100	Average rock	0.25
					>15	FAL3	990	2450	2200	Lineare	0.40
7	St2-St3 (Rifr)	L7-L8 (CENTRALE)	Via Belardi	30222002	0-8	detrito	410	680	1800	Clay Seed & Sun	0.21
					8-20	FAL3-alt	550	1000	2100	Average rock	0.28
					>20	FAL3	815	2270	2200	Lineare	0.43
8	St2-St3 (Rifr)	L7-L8 (SW)	Via Arrigucci	30222002	0-2	detrito	575	840	1800	Clay Seed & Sun	0.06
					2-15	FAL3-alt	550	1000	2100	Average rock	0.28
					>15	FAL3	815	2750	2200	Lineare	0.45
9	St4 (Rifr)	L9 - Nord	Via Europa	30222002	0-2	detrito	310	1040	1800	Clay Seed & Sun	0.45
					2-15	FAL3-alt	670	2120	2100	Average rock	0.44
					>15	FAL3	830	2665	2200	Lineare	0.45
10	St4 (Rifr)	L9 -Sud	Via Europa	30222002	0-2	detrito	330	840	1800	Clay Seed & Sun	0.41
					2-6	FAL3-alt	740	1885	2100	Average rock	0.41
					>6	FAL3	945	2770	2200	Lineare	0.43
11	St5 (Rifr)	L10 (SSW)	Via Garibaldi	30222002	0-5	detrito	350	680	1800	Clay Seed & Sun	0.32
					5-13	detrito	495	1650	1800	Clay Seed & Sun	0.45
					13-26	FAL3-alt	495	2510	2100	Average rock	0.48
					>26	FAL3	1380	3510	2200	Lineare	0.41
12	St5 (Rifr)	L10 (NNE)	Via Garibaldi	30222002	0-3	detrito	365	770	1800	Clay Seed & Sun	0.36
					3-12	detrito	665	1705	1900	Clay Seed & Sun	0.41
					12-20	FAL3-alt	665	2505	2100	Average rock	0.46
					>20	FAL3	1310	2505	2200	Lineare	0.31



n°	Carta delle Indagini			MOPS	profondità	stratigrafia	Vs	Vp	densità	G-G0-D	mod. Poisson
	Tipo	Rif.	ubicazione		(m)		(m/sec)	(m/sec)			
13	MASW+SR	L1-L2	Via Campo dell'Alpe	30222001	0-4	detrito	240	500	1800	Clay Seed & Sun	0.35
					4-6	detrito	500	1000	1900	Clay Seed & Sun	0.33
					6-43	FAL3-alt	618	1300	2100	Average rock	0.35
					>20	FAL3	800	2300	2200	Lineare	0.43
14	MASW+SR	L11	Via Bucazzoni	30222002	0-4	detrito	430	900	1800	Clay Seed & Sun	0.35
					4-18	FAL3-alt	500	1300	2100	Average rock	0.41
					>18	FAL3	900	2500	2200	Lineare	0.43
15	MASW+SR	L13+L14	Via Bucazzoni	30222001	0-11	detrito	430	900	1800	Clay Seed & Sun	0.35
					11-20	FAL3-alt	700	1300	2100	Average rock	0.30
					>20	FAL3	1050	2500	2200	Lineare	0.39
16	Rifrazione	L15-SR7 (SSW)	centro sportivo tennis	30222002	0-6	FAL3-alt	700	1200	2100	Average rock	0.24
					>6	FAL3	1200	2900	2200	Lineare	0.40
17	Rifrazione	L15-SR7 (NNE)	centro sportivo tennis	30222002	0-7	detrito	300	500	1800	Clay Seed & Sun	0.22
					7-10	FAL3-alt	450	800	2100	Average rock	0.27
					>10	FAL3	800	3000	2200	Lineare	0.46
18	Rifrazione	L16-SR8 (ENE)	campo sportivo	30222002	0-5	detrito1	350	600	1800	Clay Seed & Sun	0.24
					5-12	detrito2	500	1550	1900	Clay Seed & Sun	0.44
					12-30	FAL3-alt	600	1900	2100	Average rock	0.44
					>30	FAL3	800	3000	2200	Lineare	0.46
19	Rifrazione	L16-SR8 (WSW)	campo sportivo	30222002	0-4	detrito1	350	550	1800	Clay Seed & Sun	0.16
					4-11	detrito2	500	2300	1900	Clay Seed & Sun	0.48
					11-26	FAL3-alt	600	2300	2100	Average rock	0.46
					>26	FAL3	800	3000	2200	Lineare	0.46
20	MASW	L12	Poggiolino	30222002	0-6	detrito1	200	500	1800	Clay Seed & Sun	0.40
					6-10	detrito2	400	1000	1900	Clay Seed & Sun	0.40
					10-28	FAL3-alt	650	1900	2100	Average rock	0.43
					>28	FAL3	800	2500	2200	Lineare	0.44
21	St6 (Rifr)	L3-L4 (WSW)	ROSINA - via Croce Sarna	2001	0-2	riporto	185	545	1800	Rip_Casentino	0.43
					2-20	Detrito	335	1680	1900	Clay Seed & Sun	0.48
					>20	MLL-Silt	745	2265	2200	Lineare	0.44
22	St6 (Rifr)	L3-L4 (ENE)	ROSINA - via Croce Sarna	2001	0-3	riporto	225	550	1800	Rip_Casentino	0.40
					3-15	Detrito	430	1235	1900	Clay Seed & Sun	0.43
					>15	MLL-Silt	800	2500	2200	Lineare	0.44

Sono state effettuate due distinte analisi: la prima utilizzando una settupla di storie temporali relativa ad un periodo di ritorno di 475 anni e la seconda al periodo di ritorno di 50 anni.

La prima analisi è quella ufficiale dello studio di MS3, da cui sono stati estrapolati tutti i prodotti dello studio di Microzonazione (spettri di risposta elastici e Fattori di Amplificazione).

La seconda analisi è utilizzata esclusivamente per acquisire spettri medi caratteristici da utilizzare come indicazioni e strumenti per la progettazione edilizia.



Partendo dallo spettro di risposta elastico in output, si è effettuato il confronto tra gli integrali di output e di input, in riferimento a 3 differenti intervalli di periodo:

$$FA0105 = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA0408 = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA0711 = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T) dT}$$

La metodologia necessaria per il calcolo dei predetti fattori consiste nel calcolare l'area sottesa allo spettro di output nell'intervallo di periodi richiesto (ad es. 0.1sec-0.5sec) mettendola a rapporto con l'area sottesa dallo spettro di input. Il valore risultante in tale caso sarà corrispondente a FA0105. Gli altri intervalli sui quali è stato effettuato il calcolo corrispondono ai periodi di 0.4-0.8sec e di 0.7-1.1 sec.

Sia lo spettro di output sia lo spettro di input sono stati discretizzati con passo di campionamento lineare ed omogeneo $\Delta t = 0.01\text{sec}$, in modo da rendere possibile il calcolo del fattore di amplificazione come rapporto tra le sommatorie dei valori di pseudoaccelerazione (PSA) nell'intervallo di periodi necessario (sia per l'output sia per l'input - Figura 12.2).

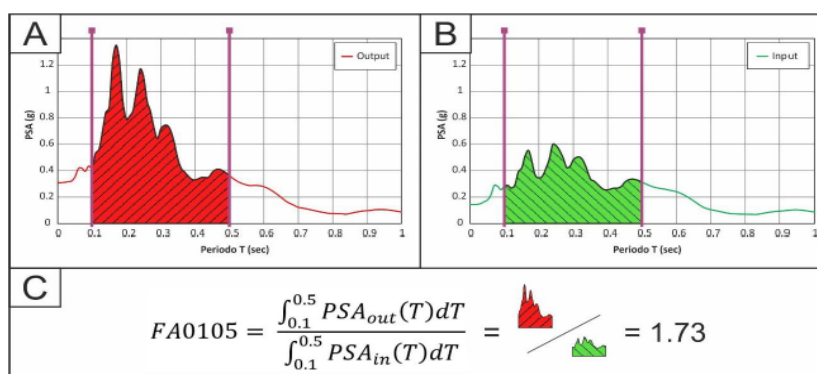


Figura 12.2: - Procedura per il calcolo del fattore di amplificazione FA0105

Il calcolo dei fattori di amplificazione è stato effettuato direttamente dal programma RSL2D sui singoli spettri di risposta (messi a rapporto con il corrispondente spettro di input) mediando successivamente i sette fattori determinati.

L'esecuzione di analisi di risposta sismica locale consente l'acquisizione di molteplici parametri e strumenti di output. In particolare nelle figure riportate nelle pagine seguenti, sono restituiti gli spettri di risposta elastici relativi alle analisi di RSL in assetto monodimensionale di tutte le verticali indagate (Figura 12.3) con indicato la distribuzione e i valori dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali (Figura 12.4).

MS3 Chitignano
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

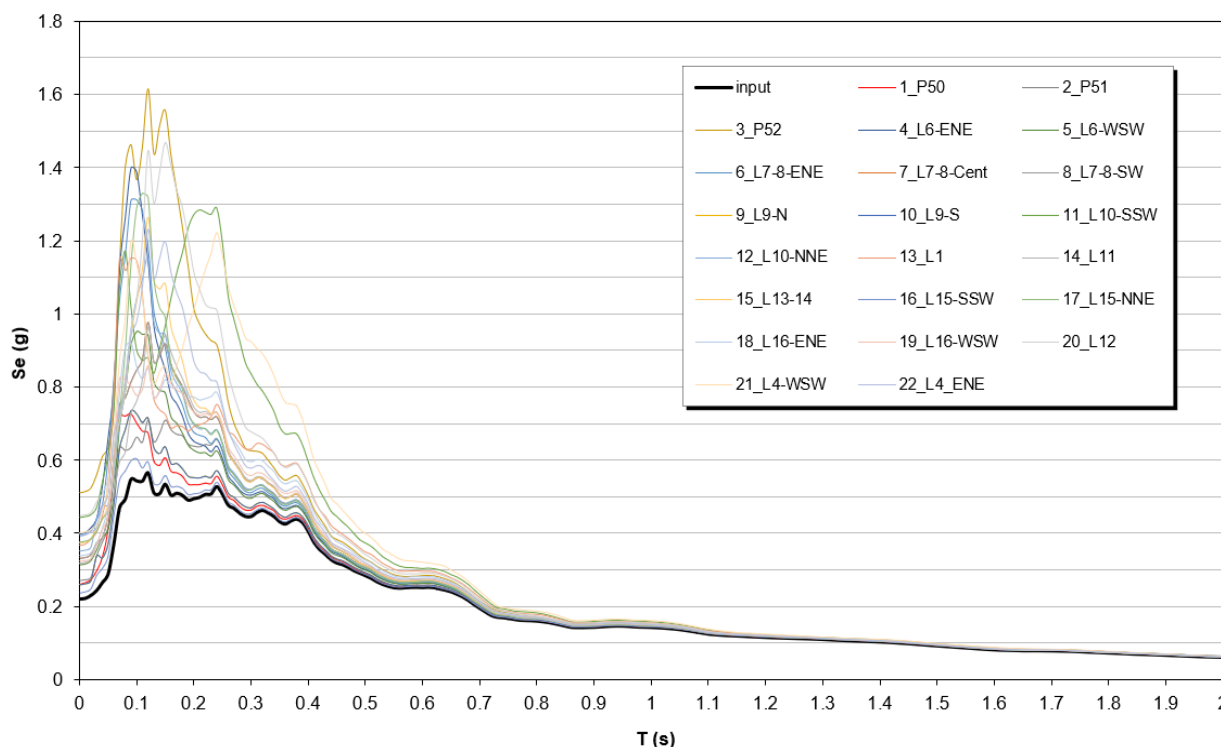


Figura 12.3: spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi monodimensionali

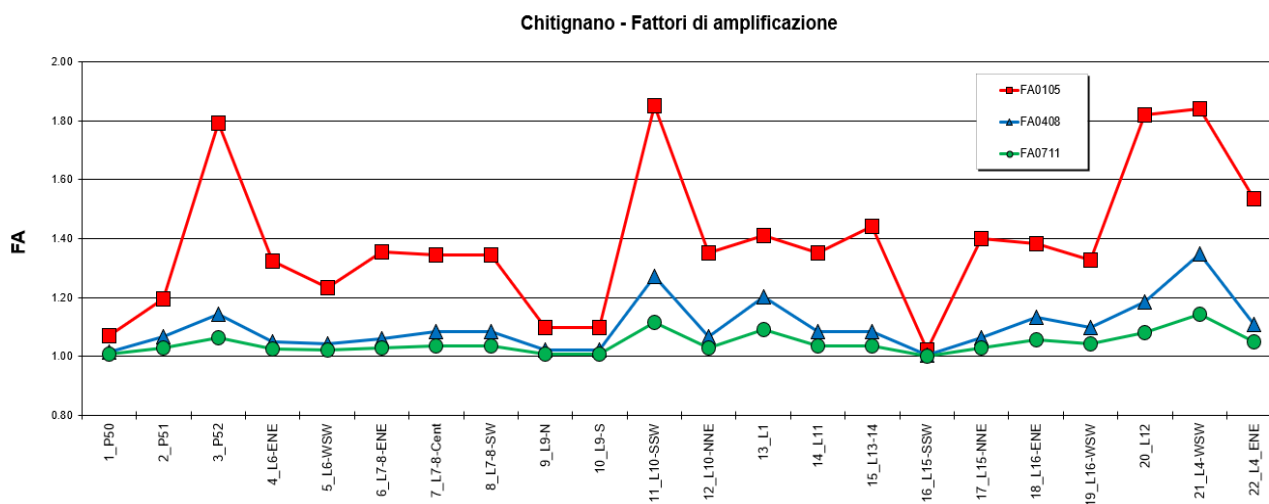


Figura 12.4: Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali

Nella figura seguente vengono tabellati i valori dei fattori amplificativi nei tre intervalli di normativa:

Indagine			FA0.1-0.5	FA0.4-0.8	FA0.7-1.1
n°	Rif.	Ubicazione			
1	P50	S1	1.07	1.02	1.01
		Down-Hole			
		Scuola elementare			
2	P51	S2	1.2	1.07	1.03
		Down-Hole			
		Palazzo comunale			
3	P52	S3	1.78	1.16	1.08
		Down-Hole			
		Auditorio			
4	L6	St1-ENE	1.3	1.06	1.03
		Rifrazione			
		SP60			
5	L6	St1-WSW	1.23	1.05	1.02
		Rifrazione			
		SP60			
6	L7-L8	St2-St3-ENE	1.34	1.07	1.03
		Rifrazione			
		Via Belardi			
7	L7-L8	St2-St3-CENTRALE	1.35	1.09	1.04
		Rifrazione			
		Via Belardi			
8	L7-L8	St2-St3-SW	1.17	1.04	1.02
		Rifrazione			
		Via Belardi			
9	L9	St4-N	1.09	1.02	1.01
		Rifrazione			
		SP60			
10	L9	St4-S	1.02	1.01	1.0
		Rifrazione			
		SP60			
11	L10	St5-SSW	1.87	1.29	1.13
		Rifrazione			
		Via Divisione Garibaldi			
12	L10	St5-NNE	1.34	1.07	1.03
		Rifrazione			
		Via Divisione Garibaldi			
13	L1+L2	MASW+SR	1.4	1.21	1.09
		Via Campo dell'Alpe			
14	L11	MASW+SR	1.36	1.09	1.04
		Via Bucazzoni			
15	L13+L14	MASW+SR	1.43	1.09	1.04
		Via Bucazzoni			
16	L15	SR7-SSW	1.02	1.01	1
		Rifrazione			
		centro sportivo tennis			
17	L15	SR7-NNE	1.38	1.07	1.04
		Rifrazione			
		centro sportivo tennis			
18	L16	SR8-ENE	1.38	1.14	1.06
		Rifrazione			
		campo sportivo			
19	L16	SR8-WSW	1.33	1.1	1.05
		Rifrazione			
		campo sportivo			
20	L12	MASW	1.82	1.2	1.09
		Poggiolino			
21	L4	St6-WSW	1.84	1.36	1.15
		Rifrazione			
		Rosina			
22	L4	St6-ENE	1.52	1.12	1.06
		Rifrazione			
		Rosina			

Figura 12.5: Tabella con i 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali



12.2. - AREE IN FRANA MS3

Le aree in frana non sono state indagate tramite metodi di analisi dinamica sia per assenza di parametri geotecnici affidabili, sia in quanto non previsto nel presente studio di MS3. Tutte le zone di attenzione per instabilità hanno un buffer d'influenza, rispetto alla rispettiva frana, cautelativamente considerato pari a 10 m.

12.3. - RAPPRESENTAZIONE SU MAPPA ED ESTRAPOLAZIONE

Ai fini dell'estensione areale del dato, nei settori dell'area di studio non coperti dalle indagini geologico-tecniche e sismiche e, quindi, sprovvisti dei dati di output delle analisi numeriche, si è ricorso ad estrapolazione areale. Tale processo è stato effettuato mediante l'ausilio combinato della cartografia geologico-tecnica e della cartografia MOPS, come visibile nella sottostante Figura 12.6.

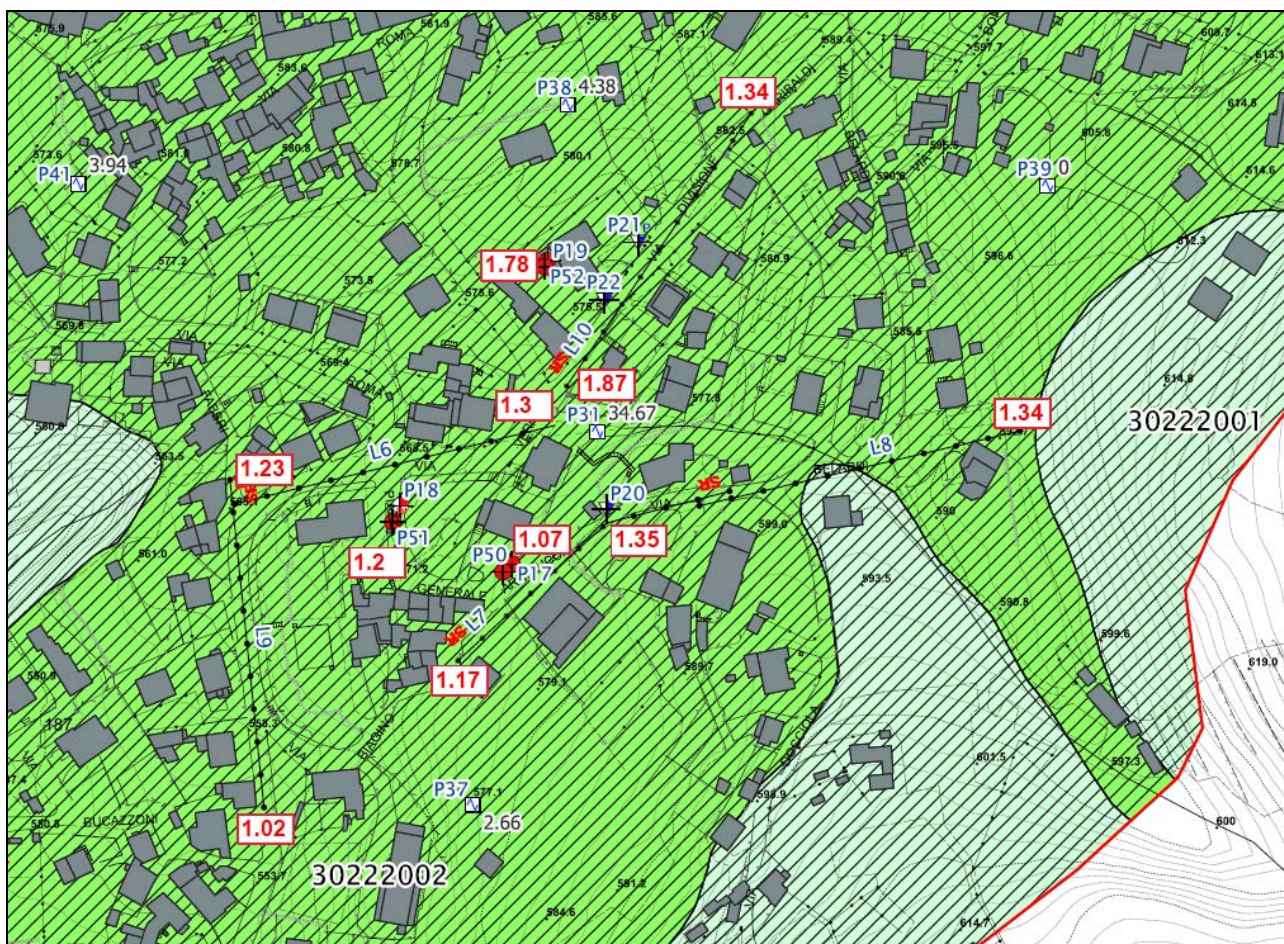


Figura 12.6: - Sovrapposizione dei valori di FA0105 con le MOPS – Zona centro storico di Chitignano

L’estrapolazione areale dei dati di amplificazione si è basata sul seguente modello logico:

- Rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con il relativo valore del fattore di amplificazione;
- Individuazione del contesto sismostratigrafico alla base di ogni valore di FA desunto;
- Identificazione sulle cartografie geologico-tecnica e MOPS di analoghe condizioni sismostratigrafiche su aree non coperte da analisi di risposta sismica locale tenendo conto delle indagini sismiche presenti;
- Raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative simili mediante la discretizzazione dell’area in classi distinte da differenti intervalli di FA0105;
- Stima, in corrispondenza delle microzone individuate al punto precedente, dei fattori di amplificazione richiesti dagli Standard nazionali e regionali (FA0105, FA0408 ed FA0711);
- Rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS;
- Calcolo degli spettri medi per ogni microzona individuata nella MS3.

Per ognuna delle microzone individuate, sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici medi in termini di PSA, in formato .txt secondo le specifiche richieste.

12.4. – REDAZIONE DELLA CARTA DI MS3

La realizzazione delle analisi di risposta sismica locale monodimensionale, illustrata nei capitoli precedenti, ha permesso la redazione della cartografia di microzonazione sismica di livello 3 per i tre fattori amplificativi considerati.

I risultati in termini di FA (fattore di amplificazione), desunti dalle analisi 1D effettuate in corrispondenza delle indagini geofisiche rappresentative del modello di sottosuolo sono stati estesi arealmente mediante l’ausilio combinato della cartografia geologico-tecnica e della cartografia MOPS.

Il modello logico su cui si è basata l’estrapolazione areale dei dati di amplificazione, per le aree interessate dalla redazione di cartografie di microzonazione sismica di livello 3, come precedentemente scritto, è stato il seguente:

1. rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con i relativi valori di FA nei 3 intervalli di periodi;
2. individuazione del modello geologico-tecnico alla base di ogni valore di FA desunto;



3. identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologico-tecniche e MOPS) di analoghe condizioni geologico-tecniche su aree in cui non sono disponibili analisi di risposta sismica per assenza di dati di base;
4. raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative simili mediante la discretizzazione dell'area in classi distinte da differenti intervalli di FA;
5. rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS.

Sulla base di quanto illustrato precedentemente, si può discretizzare l'area di studio nelle seguenti classi per quanto riguarda la cartografia relativa all'intervallo di periodi 0.1-0.5 sec:

ZONA 1.1-1.2 ($1.05 < FA < = 1.24$): include una piccola porzione del centro storico di Chitignano dove il substrato roccioso e sismico (FAL3) è sovrastato da esigui spessori di materiale detritico e alterazione superficiale del substrato stesso.

ZONA 1.3-1.4 ($1.25 < FA < = 1.44$): include quasi tutto l'abitato di Chitignano ed è caratterizzato da spessori fino a circa 20 m di materiale di riporto e/o detrito nella porzione superficiale e dall'alterazione o dalla componente siltitica del substrato roccioso (FAL3).

ZONA 1.5-1.6 ($1.45 < FA < = 1.64$): include una piccola porzione di area posta a nord di Rosina in corrispondenza di una stratigrafia costituita da materiale di riporto posto al di sopra di materiale detritico (fino a 15 m di profondità), a sua volta poggiante sul substrato roccioso costituito dalla porzione siltitica della F.ne di Monte Morello.

ZONA 1.7-1.8 ($1.65 < FA < = 1.84$): include l'abitato di Rosina, caratterizzato dalla presenza di riporto e/o detrito posto al di sopra di materiale detritico, a sua volta poggiante sul substrato roccioso, che inizia a circa 20 m di profondità e costituito dalla porzione siltitica della F.ne di Monte Morello. Sono inoltre state discretizzate altre due aree, una nel centro storico di Chitignano e l'altra in loc. Poggiolino, caratterizzate entrambe dalla presenza di elevati spessori di materiale detritico e di alterazione del substrato roccioso (valutati in circa 26-28 m) posti al di sopra del bedrock sismico che ricordiamo è costituito da FAL3.

ZONA 1.9-2.0 ($1.85 < FA < = 2.04$): Questa zona comprende le due frane attive posta a valle dell'abitato di Rosina ed è stata inserita solamente come incremento di 0.2 della precedente zona.



13. - COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Il presente lavoro ha messo in risalto valori di FA nei 3 intervalli di periodi indagati non significativamente differenti.

In particolare è risultato evidente come nell'intervallo 0.1-0.5 sec. i valori più alti di FA siano stati individuati nella porzione di territorio caratterizzato da elevati spessori di materiale detritico e di alterazione del substrato roccioso ($FA > 1.8$).

Ad esclusione delle precedenti zone, tutta l'area di studio dell'abitato di Chitignano è caratterizzata dalla presenza coltri detritiche e di alterazione del substrato roccioso inferiori a 15-20 m con graduale aumento delle caratteristiche fisico meccaniche e soprattutto del valore di VS, che di fatto limita il Fattore Amplificativo a valori costantemente inferiori a 1.4.

Diversamente gli elevati spessori detritici ed il loro basso grado di addensamento e di velocità delle onde SH, determinano dei fattori amplificativi maggiori ($FA > 1.8$) per il centro di Rosina, che viene poi cautelativamente aumentato a 2.0 in corrispondenza delle frane attive poste alla base del paese stesso.

Una particolarità è data alla zona di Rassina in corrispondenza della porzione ovest della sezione C, dove la conformazione del substrato roccioso e sismico poggianti su substrato meno competente, di fatto deamplifica il segnale in quella zona, restituendo un valore di $FA = 1$. Questa è anche l'unica porzione di territorio con FA che aumenta negli intervalli di periodo successivi (0.4-0.8 sec. e 0.7-1.1 sec), fino comunque ad un massimo di $FA = 1.3$.

Viene infine nuovamente ricordato che tutto l'abitato di Chitignano è caratterizzato dalla presenza di zone suscettibili di instabilità per la presenza di una grande DGPV.

Per tutto il territorio studiato, nell'intervallo dei periodi 0.4-0.8 sec. e 0.7-1.1 sec, si ha una costante diminuzione dei valori di FA e dunque bassi effetti di amplificazione.

Arezzo, Ottobre 2022

Soggetto realizzatore:

ProGeo Engineering Srl

referente e coordinatore delle attività:

Geol. *Massimiliano Rossi*

Collaboratori:

Geol. *Gabriele Menchetti*

Geol. *Andrea Martini*



14. BIBLIOGRAFIA

- *Commissione tecnica per la microzonazione sismica* MICROZONAZIONE SISMICA STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA Versione 4.2 Roma, dicembre 2020
- *COLLANA A CURA DEL CENTRO MS A CURA DI VITTORIO D'INTINOSANTE E GRUPPO DI LAVORO FIVIZZANO* – Microzonazione sismica di livello 3: il caso del centro abitato di Fivizzano (MS) – 2019
- *NTC (2018)* - Norme Tecniche per le Costruzioni - MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI DECRETO 17 gennaio 2018 . Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» e circolare esplicativa.
- *VITTORIO D'INTINOSANTE* - Ufficio prevenzione sismica, settore sismica - Regione Toscana - Indicazioni sulla valutazione dell'amplificazione sismica in riferimento agli studi di microzonazione sismica di III livello in Regione Toscana.
- *Press. CEDIT (2013)* - Italian Catalogue Of Seismic Ground Failures (<http://www.ceri.uniroma1.it/cn/gis.jsp>).
- *MANTOVANI E., VITI M., BABBUCCI D., CENNI N., TAMBURELLI C., VANNUCCHI A., FALCIANI F., FIANCHISTI G., BAGLIONE M, D'INTINOSANTE V. & FABBRONI P. (2012)* – Potenzialità sismica della Toscana e definizione di criteri di priorità per interventi di prevenzione. Stampa Centro stampa Giunta Regione Toscana;
- *FACCIORUSSO J., MADIAI C., PULITI A., VANNUCCHI G., BAGLIONE M., FABBRONI P. & D'INTINOSANTE V. (2012)* - Seismic microzonation of an urban settlement of central Italy: geological features and selection of a proper amplification factor. Second International Conference on performance-based design in Earthquake Geotechnical Engineering. May 28-30, 2012 - Taormina (Italy).
- *Albarello D. (2012)* - Design earthquake from site-oriented macroseismic hazard estimates. Boll. Geofis. Teor. Appl., Vol. 53, n. 1, pp.7-17, DOI 10.4430/bgta 0035
- *Albarello D., Cesi C., Eulilli V., Guerrini F., Lunedei E., Paolucci E., Pileggi D. & Puzzilli L.M. (2011)* - "The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the april 6, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake" - Boll. Geof. Teor. Appl. 52, 513-538.
- *ROVIDA A., CAMASSI R., GASPERINI P., STUCCHI M. (eds.), (2011)* – *CPTI11, the 2011 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Milano, Bologna (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>).
- *Albarello D., Castellaro S. (2011)* - "Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola" - Suppl. Ingegneria Sismica, Anno XXVIII, n. 2-2011, 32-62.
- *MANTOVANI E., VITI M., BABBUCCI D., CENNI N., TAMBURELLI C., FIANCHISTI G., BAGLIONE M, D'INTINOSANTE V. & FABBRONI P. (2011)* - Quaternary Sismotettonica dell'Appennino settentrionale. Implicazioni per la pericolosità sismica della Toscana. Stampa Centro stampa Giunta Regione Toscana.
- *Mantovani E. et Alii 2011* – Sismotettonica dell'Appennino Settentrionale, implicazioni per la pericolosità sismica della Toscana.
- *Albarello et al., 2010* "The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the April 6, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake".
- *D'Amico V., Albarello D. (2008)* - SASHA: a computer program to assess seismic hazard from intensity data. Seism. Res. Lett., 79, 5, 663-671 European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- *ICMS (2008)* - Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province autonome; 3 vol. e 1 DVD.



- KOTTKE ALBERT R. & RATHJE ELLEN M. (2008) – Technical Manual for Strata - PEER 2008/10
- AA.VV. (2007) – Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana. VOLUME 1B Criteri, metodologie, modalità di presentazione delle indagini e degli elaborati “Programma VEL” e “Programma di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici pubblici e/o strategici in muratura o in cemento armato (VSM e VSCA)” in Garfagnana, Lunigiana, Valtiberina, Casentino, Mugello ed Amiata. Regione Toscana – Direzione Generale Politiche Territoriali ed Ambientali – Servizio Sismico Regionale.
- AA.VV. (2007) – Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana. VOLUME 5 Legende per la realizzazione della cartografia geologica, geomorfologia e litologico-tecnica per le aree del Mugello “Programma VEL” e “Programma di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici pubblici e/o strategici in muratura o in cemento armato (VSM e VSCA)” in Garfagnana, Lunigiana, Valtiberina, Casentino, Mugello ed Amiata. Regione Toscana – Direzione Generale Politiche Territoriali ed Ambientali – Servizio Sismico Regionale.
- INGV (2006) - Mappe di pericolosità sismica (http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1_en.php).
- ISIDE–Italian Seismological Instrumental and parametric Data-base (<http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>)
- DELLE DONNE D. (2005) - Tettonica Attiva dell’Appennino Settentrionale nel settore compreso tra l’Appennino Pistoiese e l’alta Val Tiberina, Tesi di dottorato, Università di Firenze.
- Eurocode, EC8 (2003) - Design of structures for earthquake resistance: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects.
- Boncio et al., 2000 Architecture and seismotectonics of a regional low-angle normal fault zone in central Italy. Tectonics 19: doi: 10.1029/2000TC900023. issn: 0278-7407.
- LANZO G. & SILVESTRI F. (1999) - Risposta Sismica Locale. Edizioni Hevelius.
- BENVENUTI M. (1997) - Physical stratigraphy of the fluvio-lacustrine Mugello Basin (Plio-Pleistocene, Northern Apennines, Italy) - Giornale di Geologia, ser.3°, vol. 59/1-2: 91-111.
- Kramer S. L. (1996) – Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall. New Jersey.
- BENVENUTI M. (1996) - Carta Geologica del bacino Fluvio-Lacustre del Mugello (Firenze) Scala 1:50.000). ARCA ed.
- MARTINI I.P. & SAGRI M. (1993) - Tectono-sedimentaries characteristics of Late Miocene-Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy. Earth Science Reviews, 34. 197-233.
- Ambraseys, N. (1988). Magnitude fault-length relationships for earthquakes in the Middle East, Proc. Symposium on Historical Seismograms & Earthquakes, Ed. W.H. Lee, 309-310 Academic
- Boccaletti et Coli, 1983 La tettonica della Toscana: assetto ed evoluzione. Mem. Soc. Geol. It., 25, 51-62.
- Boccaletti et alii, 1980 –Evoluzione dell’appennino settentrionale secondo un nuovo modello strutturale. Mem. Soc. Geol. It., 21, 359-373.
- Kuhlemeyer R.L. & Lysimer J. (1973) - Finite element method accuracy for wave propagation problems. J. Soil Mech. & Foundations. Div. ASCE, 99 (SM5), pp 421-427.

