



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE
TOSCANA

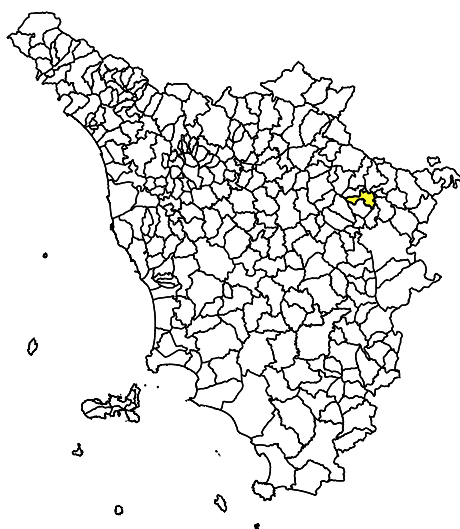


Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica illustrativa (MS2 / MS3)

Regione Toscana Comune di Castel Focognano



Regione Toscana	Soggetto realizzatore Progeo Associati 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	4
3. SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE D'INDAGINE	4
4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	6
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	14
6. CARTA DELLE INDAGINI	18
7. CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI.....	20
8. CARTA GEOLOGICO-TECNICA	22
9. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA	24
9.1. DESCRIZIONE DELLE ZONE MICROSISMICHE PRESENTI NELLA CARTA MOPS.....	25
10. – ELABORAZIONI DELLO STUDIO DI MS2	28
10.1. QUANTIFICAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE	28
11. – ELABORAZIONI DELLO STUDIO DI MS3	35
12. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	40
13. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	41
13.1. - MODELLAZIONI NUMERICHE E ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	43
13.1.1. - PARAMETRIZZAZIONE IN CHIAVE DINAMICA DEI TERRENI	44
13.2. - AREE IN FRANA MS3	54
13.3. - RAPPRESENTAZIONE SU MAPPA ED ESTRAPOLAZIONE.....	54
13.4. – REDAZIONE DELLA CARTA DI MS3	56
14. - COMMENTI FINALI E CRITICITÀ	57
15. BIBLIOGRAFIA	59



1. PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Castel Focognano (AR), sono stati eseguiti gli Studi di Microzonazione Sismica di livello 2 (a seguire MS2) per le aree urbane interne al territorio comunale, con approfondimento di livello 3 (MS3) nel capoluogo di Rassina.

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 Castel Focognano 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 MS di livello 2.

Il Comune di Castel Focognano, a seguito della manifestazione d'interesse (Del. Dir. Toscana n°977 del 27/09/2021), è risultato al 7° 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%)
7	AR	Castel Focognano	0,180485	2.500 < ab < 5.000	€ 7.125,00	€ 2.375,00

Nell'Allegato 1 al Decreto era riportata una nota dove veniva prescritto di redigere lo studio di MS3, per l'area di fondovalle del capoluogo di Rassina, in quanto il Comune rientrava tra quelli della Tab.3 del Bando.



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

- **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”).
- **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.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.
- **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.

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 MS2 e 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 dalle infrastrutture esistenti e la quasi totalità delle residenze e delle attività artigianali, industriali e commerciali e sono suddivisi nelle seguenti località:

Studio di MS2

1. Rassina (esternamente all’area di studio MS3)
2. Castel Focognano,
3. Casalecchio,
4. Pieve a Socana,



5. Cinano,
6. Campaccio,
7. Zenna,
8. Montanina,
9. Salutio,
10. Ornina,
11. Tulliano,
12. San Martino,
13. Carda e Santa Maria di Carda;

Studio di MS3

14. Rassina (sede comunale)

Le tavole allegate al presente studio sono state suddivise ciascuna nel Quadrante A, che comprende gli abitati di Rassina, Casalecchio, Pieve a Socana, Castel Focognano, Cinano e Campaccio (Figura 3.1) e nel Quadrante B, che comprende gli abitati di Zenna, Montanina, Salutio, Ornina, Tulliano, San Martino, Carda e Santa Maria di Carda (

Figura 3.2).

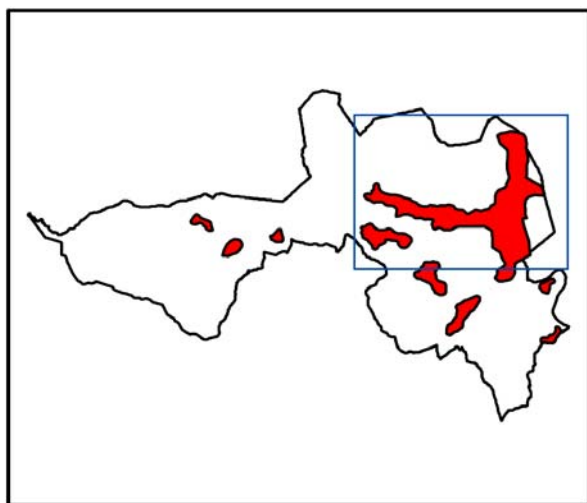


Figura 3.1 – area di studio quadrante A

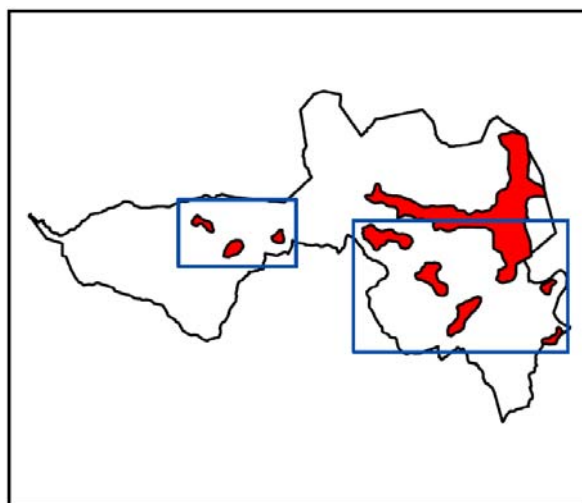


Figura 3.2 – area di studio quadrante B

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 14/12/2016.



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.

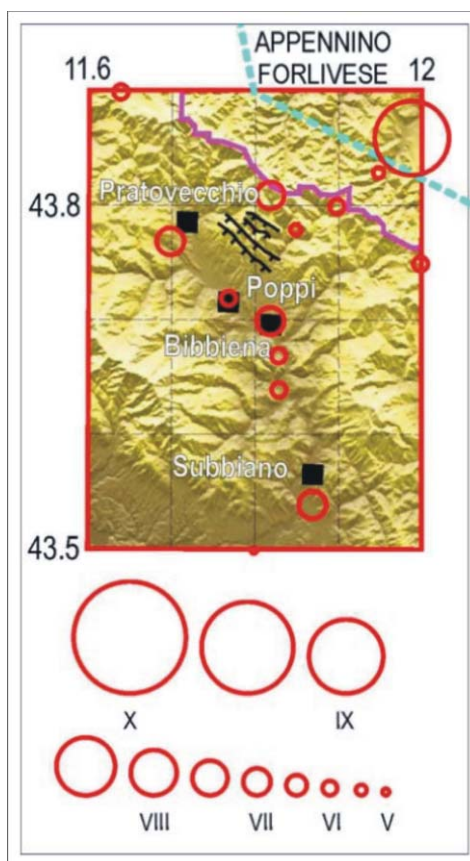


Figura 4.1 – Sismicità storica dell'area del Casentino. I cerchi rossi indicano i terremoti avvenuti dopo il 1000. I principali elementi tettonici sono in nero. La linea celeste tratteggiata è il confine della zona sismica Appennino forlivese. Da Mantovani et al., 2012

Il Comune di Castel Focognano 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>

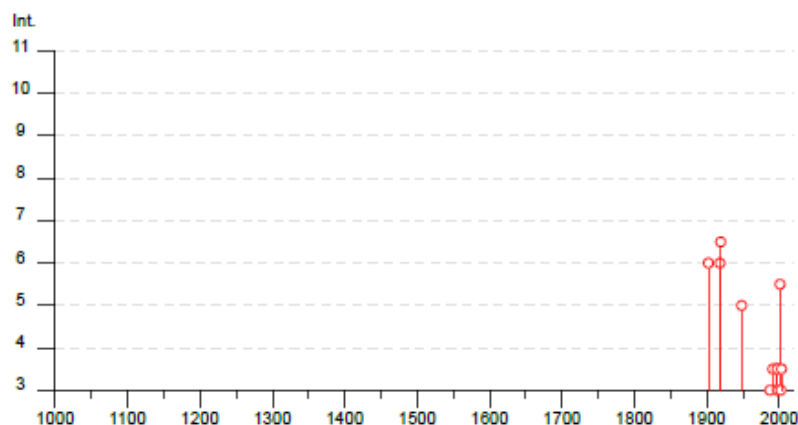


Figura 4.2 – Classificazione sismica della Regione Toscana DGRT n.421 del 26/05/2014

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 Castel Focognano vengono evidenziati 22 eventi a partire dal 1902 e con relativa Magnitudo di Momento (M_w) dell'epicentro della scossa (Figura 4.3).

Castel Focognano (Rassina)

PlaceID IT_46943
 Coordinate (lat, lon) 43.653, 11.788
 Comune (ISTAT 2015) Castel Focognano
 Provincia Arezzo
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 22



Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale				NMDP	Io	Mw
6	1902	06	27	16	48		Casentino				13	6	4.46
6	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese				187	9	5.96
6-7	1919	06	29	15	06	1	Mugello				565	10	6.38
5	1948	06	13	06	33	3	Alta Valtiberina				142	7	5.04
3	1987	07	05	13	12	3	Montefeltro				90	6	4.44
3-4	1991	01	14	07	38	3	Casentino				62	5	4.26
3	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano				760	7-8	5.66
3-4	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano				869	8-9	5.97
3-4	1997	10	02	19	38	0	Alta Valtiberina				55		4.42
NF	1997	10	14	15	23	1	Valnerina				786		5.62
3	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano				395		4.78
2	1999	01	25	22	45	5	Appennino forlivese				97	5	4.36
NF	2000	05	08	12	29	5	Faentino				126	5	4.67
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino				151	5-6	4.82
2-3	2000	06	22	12	16	3	Bacino di Gubbio				107	5	4.47
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

Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale				NMDP	Io	Mw
NF	2006	10	21	07	04	1	Anconetano				287	5	4.21



ProGeo Associati

via Don Luigi Sturzo, 43/A Arezzo IT
 tel +39 0575 324114 fax +39 0575 406473
 e-mail: progeo@progeoassociati.it P.IVA 01518320518

Località vicine (entro 10km)

Località	BQs	Distanza (km)
Rassina	3	4
Carda	1	4
Ortignano Raggiolo (Ortignano)	20	4
Bibbiena	53	5
Talla	28	6
Santa Mama	1	6
Santa Maria del Sasso	1	6
Taena	1	6
Memmenano	2	7
Rosina	2	7
Pieve Pontenano	1	7
Poggio d'Acona	2	7
Chitignano	31	8
Poppi	44	8
Ponte a Poppi	2	9
Certomondo	1	9

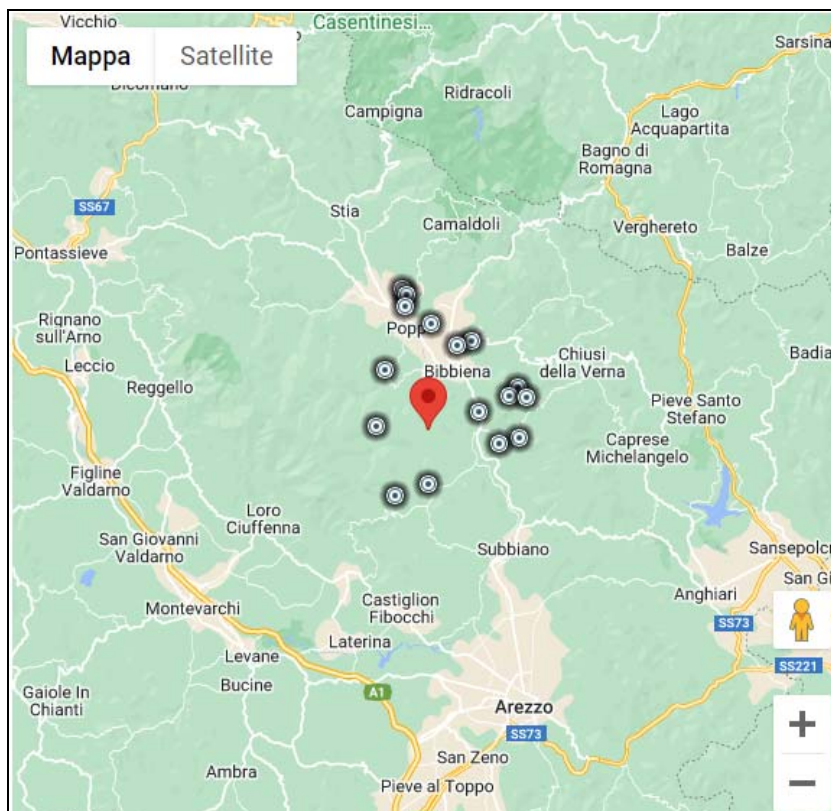


Figura 4.3 - consultazione per località Castel Focognano CPT115-DBMI15 v4



ProGeo Associati

via Don Luigi Sturzo, 43/A Arezzo IT
tel +39 0575 324114 fax +39 0575 406473
e-mail: progeo@progeoassociati.it P.IVA 01518320518

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), 55 terremoti, in blu quelli con Mw > 5).

Year	Mo	Da	EpicentralArea	MdpN	Imax	LatM	LonM	Io	MwM
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



Year	Mo	Da	EpicentralArea	MdpN	Imax	LatM	LonM	Io	MwM
1913	7	29	Casentino	16	6	43.814	11.89	5-6	4.54
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	Appen. tosc-romagn.	33	5	43.76	11.962	5	4.24
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						



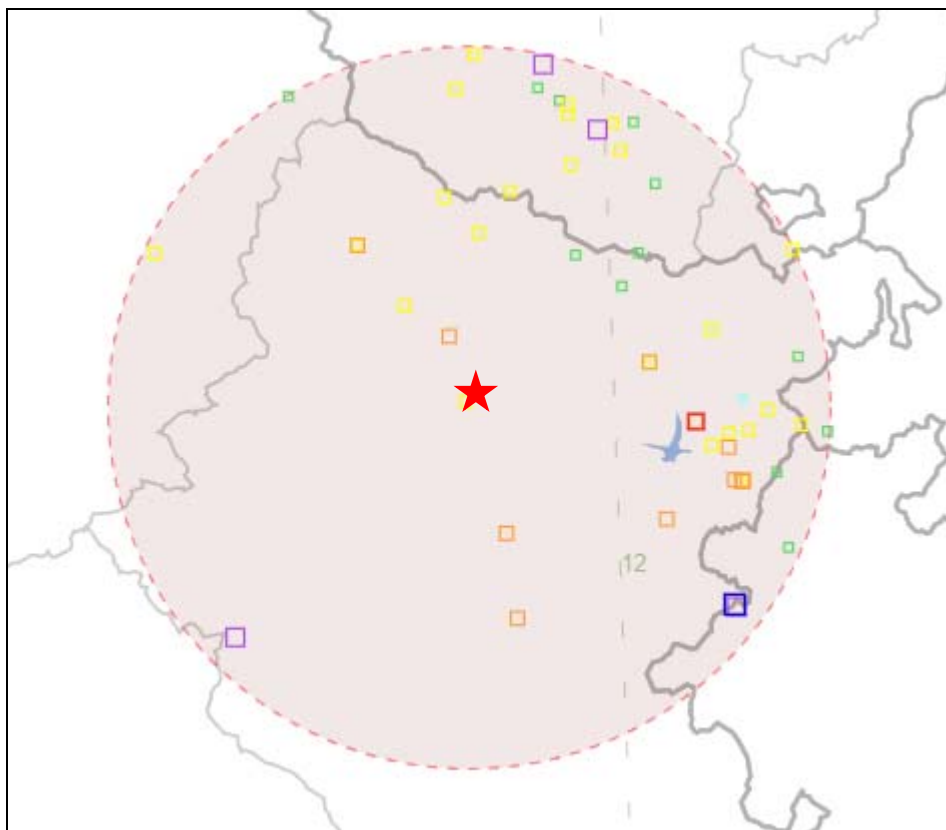


Figura 4.4 - Ubicazione dell'epicentro dei terremoti entro un raggio di 35 km da Castel Focognano (catalogo ASMI)

Il territorio del Comune di Castel Focognano 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.

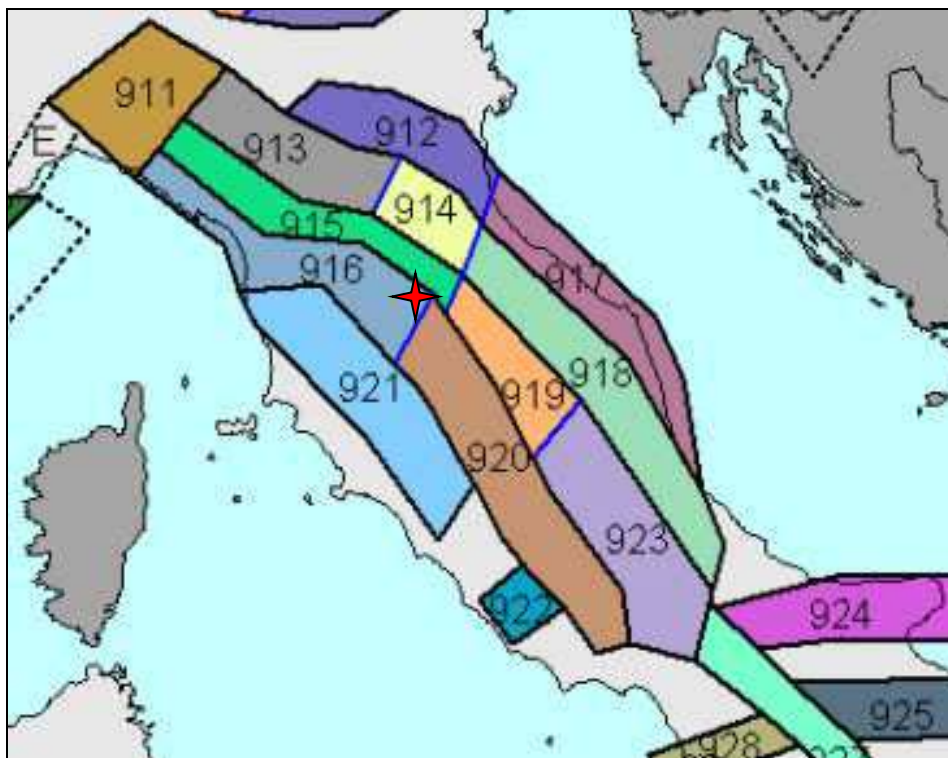


Figura 4.5 Zonazione sismogenetica ZS9

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 suddiviso in due zone distinte, generatesi in conseguenza della natura litologica delle formazioni geologiche presenti:

- l'area collinare e montana,
- le aree di fondovalle.

L'area collinare e montana coperta talvolta da coltre detritica, è costituita dai depositi torbidity arenacei e marnosi costituenti l'Unità Cervarola-Falterona, appartenente al Dominio Toscano e da torbidity calcareo-marnose appartenenti al Dominio Ligure Esterno e al dominio sub ligure. 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.

Le aree di fondovalle sono costituite dai depositi alluvionali terrazzati e recenti, direttamente sovrastanti il substrato preneogenico.

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 negli indirizzi e istruzioni tecniche del Programma V.E.L. (Valutazione Effetti Locali, Servizio sismico Regione Toscana).

DEPOSITI PLIO-QUATERNARI

- Depositi eluvio-colluviali (b8)

Depositi costituiti da elementi eterometrici a granulometria minore del detrito di versante, in abbondante matrice sabbioso-limosa, derivanti dall'alterazione del substrato ed accumulati in posto o dopo breve trasporto per ruscellamento e per gravità. (Pleistocene Medio finale-Olocene)

- 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)

- Depositi di conoide alluvionale (m)

Ciottolami eterometrici e poligenici in matrice limoso-sabbiosa con tessitura da clasto a matrice sostenuta, e subordinatamente ghiaie, sabbie e limi. (Pleistocene Inferiore?-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. (Aquitaniense 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-Aquitaniense)

- **Membro di Camaldoli (FAL2)**

Arenarie grigio chiare e grigio verdi in strati dello spessore di 0.5-2 metri e peliti subordinate. $2 < A/P < 10$, le arenarie sono sempre molto grossolane e con quasi totale assenza di componenti carbonatici (né clasti, né cemento), si presentano in pacchi di 7-10 strati di arenaria con assenza di pelite, alternati a livelli dello spessore di un paio di metri di siltiti e argilliti scure con poche marne. Sono presenti livelli calcarenitici in strati da medi a spessi. La potenza è stimabile intorno ai 600 metri. Contatto inferiore su FAL1. (Chattiano).



6. CARTA DELLE INDAGINI

La "Carta delle Indagini" restituita in scala 1:5.000 e suddivisa sempre nei due quadranti A e B, riporta l'ubicazione dei dati esistenti e reperiti sul territorio comprendenti:

- dati di base allegati al PS vigente del Comune di Castel Focognano (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, ha permesso di disporre di un totale di 347 dati puntuali e di 74 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 e catalogati e archiviati mediante software QGis. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva:

INDAGINE	C. Focog.	
<i>CPT</i>	15	CPT – Prove penetrometriche statiche con punta meccanica
<i>DH</i>	6	DH – Down Hole
<i>DL</i>	4	DL – Prova penetrometrica dinamica leggera
<i>DP</i>	32	DP – Prova penetrometrica dinamica pesante
<i>DS</i>	*	DS – Prova penetrometrica dinamica super pesante
<i>ERT</i>	*	ERT – Tomografia elettrica
<i>HVSR</i>	204	HVSR – Microtremore a stazione singola
<i>MASW</i>	12	MASW – Prospezione sismica MASW
<i>PA</i>	38	PA – Pozzo per acqua
<i>S</i>	22	S – Sondaggio a carotaggio continuo
<i>SD</i>	*	SD – Sondaggio a distruzione di nucleo
<i>SDS</i>	*	SDS – Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato
<i>SR</i>	62	SR – Profilo sismico a rifrazione onde p e/o s
<i>SS</i>	*	SS – Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
<i>T</i>	26	T – Trincea o pozzetto esplorativo
TOTALE	421	



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.1 prova ESAC + MASW+HVSr, realizzata nei pressi del campo sportivo di Rassina;
- n.14 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.

L'indagine sismica lineare è stata eseguita e certificata 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 nella 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°189 derivano dallo studio MS1; mentre dalla n°190 alla n°203 sono state appositamente realizzate per il presente studio MS2 (studio ProGeo Associati).

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 nella seguente 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 tabella di pagina seguente (Figura 7.2) vengono riassunti i risultati delle misure HVSR effettuate per lo studio MS2-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
190	2.3	3.0	B	1
191	4.2	3.0	B	1
192	5.6	2.4	B	1
193	8.4	4.0	A	1
194	3.1	3.5	A	1
195	3.4	3.8	A	1
196	10.4	5.5	A	1
197	12.2	3.9	A	1
198	3.6	3.0	A	1
199	2.3	5.0	A	1
200	17.7	2.9	A	1
201	16.2	4.4	B	1
202	2.3	4.3	B	1
203	7.5	3.3	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



Terreni contenenti resti di attività antropica



Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo



Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose



Sabbie limose, miscela di sabbia e limo

Ambienti genetico-deposizionali

Ambiente di versante

ec : eluvi/colluvi

fd : falda detritica

Ambiente fluvio-lacustre

in : bacino (piana) intramontano

Substrato geologico



Lapideo, stratificato



Alternanza di litotipi, stratificato



Substrato geologico molto fratturato o alterato



Substrato geologico molto 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



non definita ; attiva



scorrimento ; quiescente



colata ; quiescente



non definito ; quiescente



non definito ; inattiva



Vengono infine rappresentati i seguenti elementi geologici ed idrogeologici:

- Forme di superficie e sepolte (orli di scarpata, orli di terrazzo, creste e picchi isolati)
- 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°11 sezioni geologico-tecniche rappresentative di tutti i 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 dall’AdBDAS.

La numerazione delle microzone riprende lo studio MS1 dell’Unione dei Comuni Montani del Casentino che comprendeva, oltre al Comune di Castel Focognano, anche i comuni di Castel San Niccolò, Montemignaio, Ortignano-Raggiolo e Talla. Tale studio suddivideva l’intera area in 30 microzone differenziate in base alla tipologia, allo spessore e al grado di addensamento delle coperture, in rapporto alla presenza di un bedrock sismico e sulla base dell’ampiezza di un eventuale contrasto di impedenza sismica.



9.1. DESCRIZIONE DELLE ZONE MICROSISMICHE PRESENTI NELLA CARTA MOPS

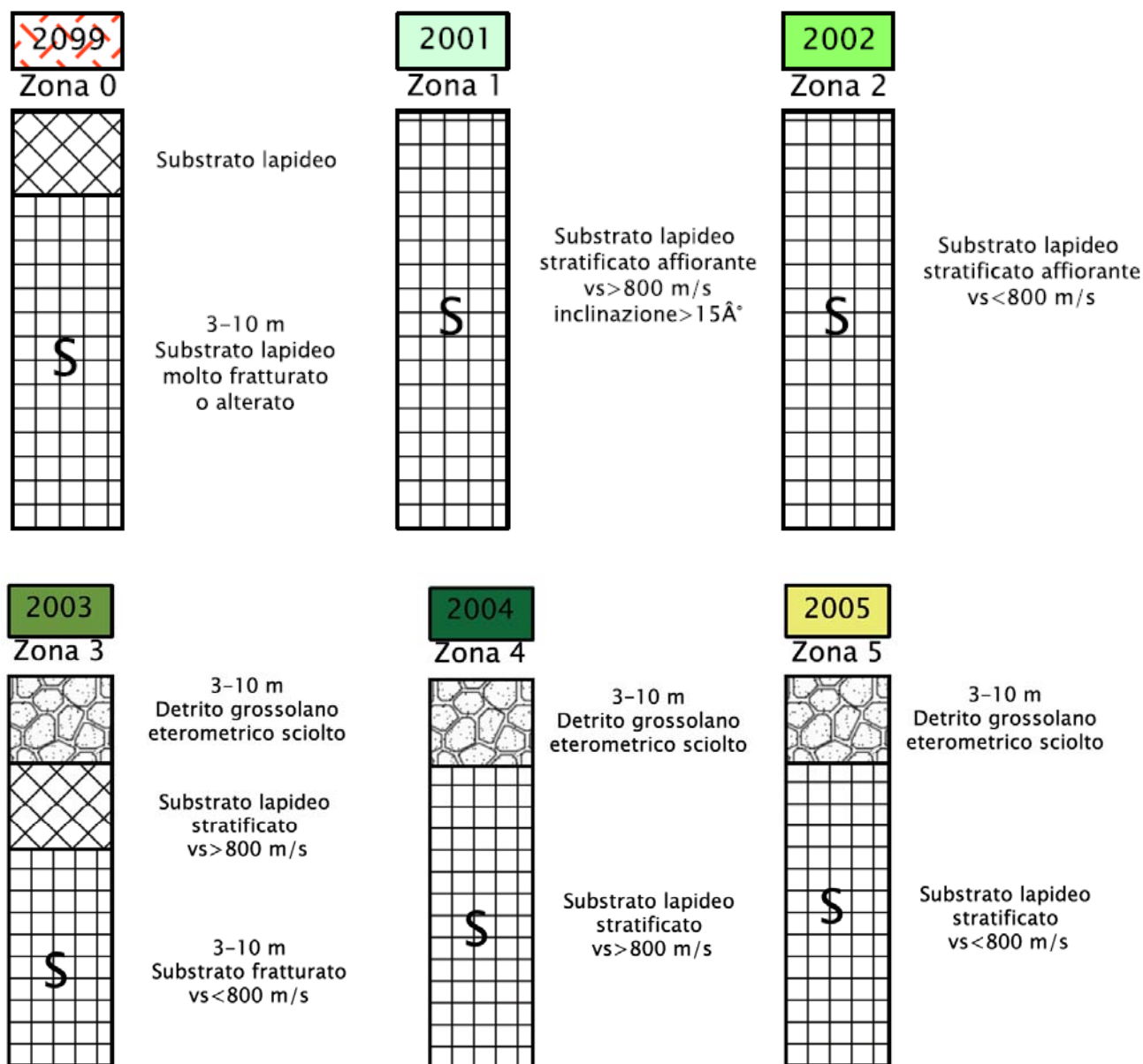
All'interno del territorio studiato del Comune di Castel Focognano sono state inserite n. 20 microzone, come di seguito dettagliatamente descritte e riportate nella legenda delle Carte MOPS.

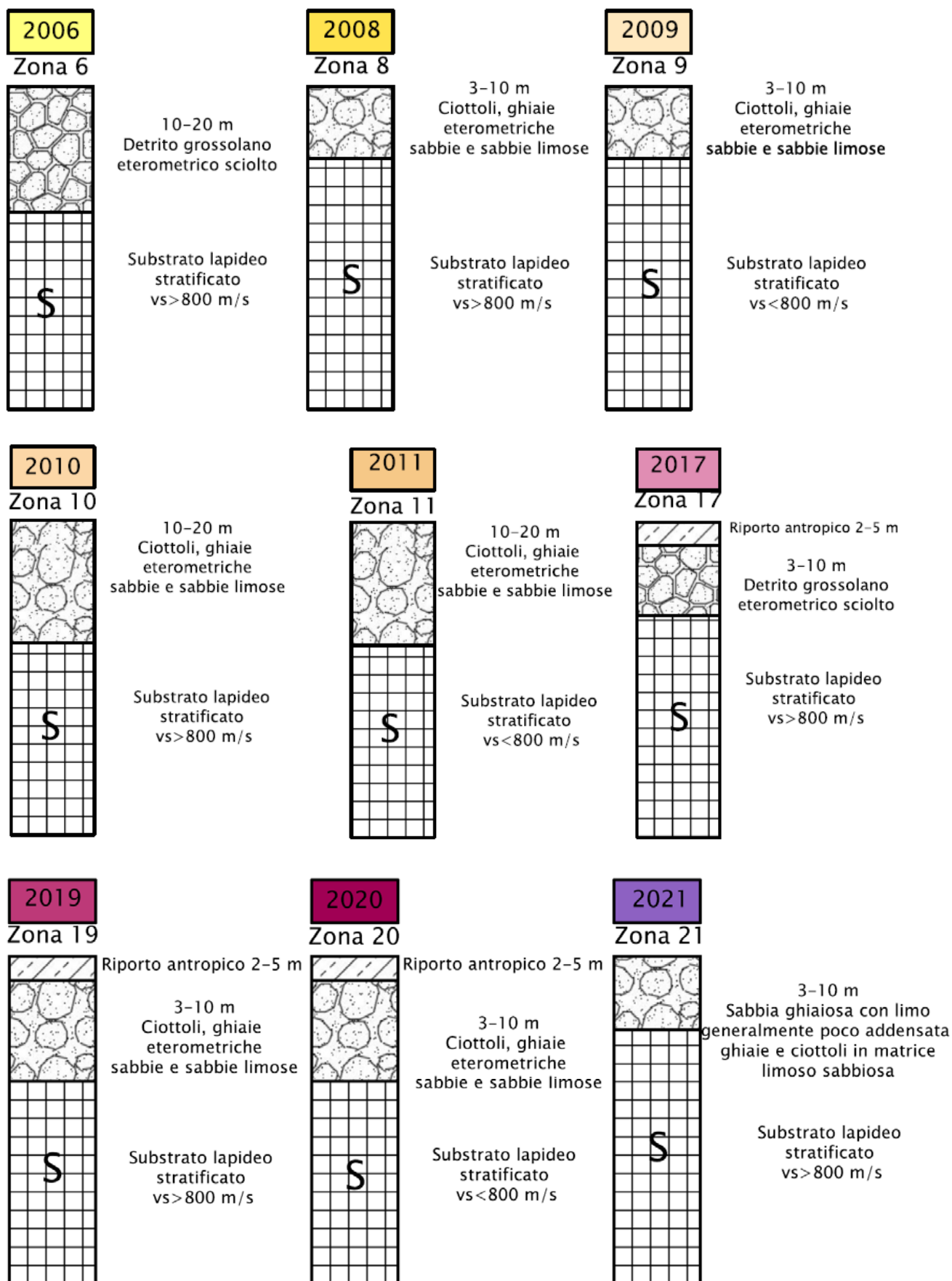
ZONE STABILI

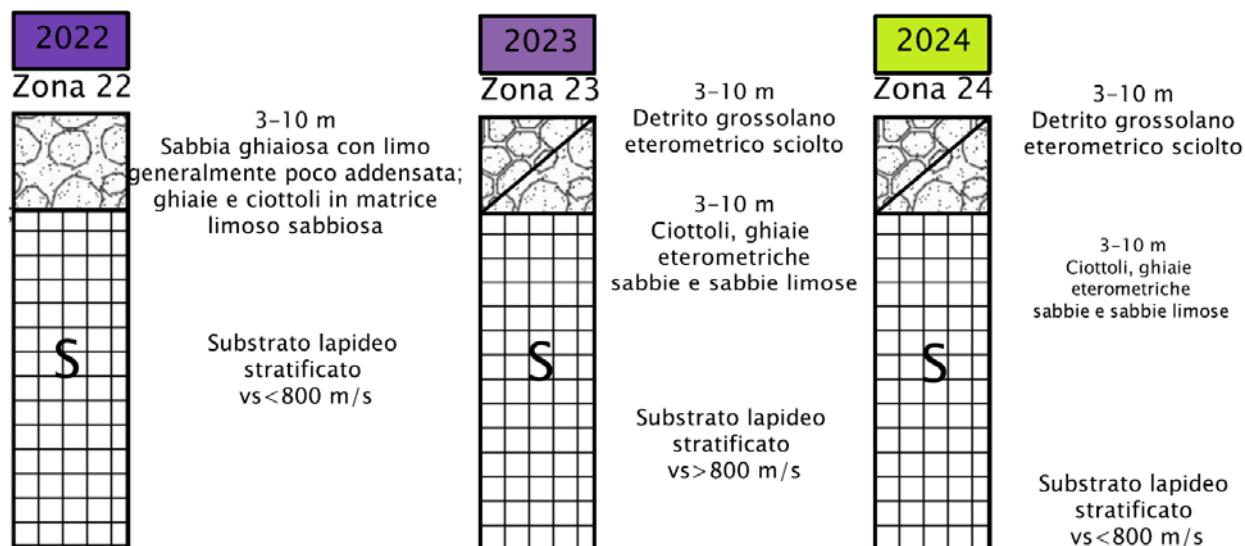
Le zone stabili sono presenti in piccole porzioni di territorio e nello specifico in corrispondenza del substrato lapideo stratificato affiorante con $V_s > 800$ m/s, in aree con inclinazione $< 15^\circ$.

Le restanti aree sono interamente suddivise tra zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e zone suscettibili di instabilità.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI









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, quiescente e inattiva, come riportate nella seguente tabella:

-  3035 (ZAFR_I – Zona di attenzione per instabilità di versante non definito, inattiva)
-  3025 (ZAFR_Q – Zona di attenzione per instabilità di versante non definito, quiescente)
-  3023 (ZAFR_Q – Zona di attenzione per instabilità di versante per colata, attiva)
-  3022 (ZAFR_Q – Zona di attenzione per instabilità di versante per scorrimento, attiva)
-  3015 (ZAFR_A – Zona di attenzione per instabilità di versante non definita, attiva)
-  3012 (ZAFR_A – Zona di attenzione per instabilità di versante per scorrimento, attiva)

10. – ELABORAZIONI DELLO STUDIO DI MS2

Sulla base di tutti i dati a disposizione si è potuto procedere alla quantificazione numerica degli effetti sismici evidenziati nell’analisi di livello 1 al fine della redazione della carta di microzonazione sismica di livello 2, dei seguenti centri urbani:

1. Rassina (Nord e Sud) esternamente area MS3
2. Castel Focognano,
3. Casalecchio,
4. Pieve a Socana,
5. Cinano,
6. Campaccio,
7. Zenna,
8. Montanina,
9. Salutio,
10. Ornina,
11. Tulliano,
12. San Martino,
13. Carda e Santa Maria di Carda;

10.1. QUANTIFICAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Per la valutazione quantitativa di tali effetti sul segnale sismico ci si è riferiti all’applicazione degli abachi per amplificazioni litostratigrafiche contenuti negli *“Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica”* per quanto riguarda la zona 2001 e agli abachi messi a disposizione dal Servizio Sismico della Regione Toscana per le restanti zone.

Sulla base delle indicazioni fornite dalle linee guida i dati di ingresso per l’utilizzo delle tabelle degli abachi degli ICMS sono stati:

- la macrozona di pericolosità sismica del sito da cui il valore medio approssimato di a_g per un tempo di ritorno di 475 anni;
- la litologia prevalente nelle zone di approfondimento d’indagine, ricavata dai dati stratigrafici e dai modelli geo-litologici adottati;
- lo spessore dei terreni di copertura. In questo caso sempre < 30m (abachi Regione Toscana);



- la Vsh media dei terreni di copertura, ovvero il valore della velocità media delle onde S fino all'interfaccia con il substrato sismico ($V_s > 800$ m/s).

Sono quindi state effettuate le determinazioni dei valori del fattore di amplificazione per le aree oggetto di MZS di livello 2 nei siti d'indagine, con i risultati di seguito riportati, sintetizzati nelle Carte di Microzonazione Sismica di Livello 2 (quadranti A e B), in scala 1:5.000.

Il primo valore del fattore di amplificazione (FA) riportato si riferisce al periodo 0.1-0.5 s, il secondo valore al periodo 0.4-0.8 s ed infine il terzo al periodo 0.7-1.1 s.

ZONA 2001

$$FA = 1,2 \div 1,2 \div 1,2$$

E' caratterizzata da substrato lapideo stratificato avente velocità media delle onde di taglio $S > 800$ m/s affiorante su superfici topografiche con inclinazione $> 15^\circ$, sono comprese le coltri di alterazione con spessore fino a 3 metri.

Per la determinazione dei valori dei fattori di amplificazione attesi in questa Zona ci si è attenuti agli abachi di riferimento per gli effetti topografici proposti negli ICMS parte III.

Tabella 3.3-2 – Abaco per scarpate rocciose.

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di F_s	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	1.1	$A = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	1.2	$A = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A = \frac{3}{4} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

In particolare per la determinazione del fattore FA è stata considerata la classe altimetrica tra 20 e 40 m.

Il parametro utilizzato per la rappresentazione dei livelli amplificativi è il fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudo-accelerazione, misurato come rapporto tra l'integrale dello spettro di accelerazione in output (PSAout) e l'omologo integrale dello spettro di accelerazione in input (PSAin), calcolato sui 3 intervalli di periodi indicati nei vigenti Standard Nazionali: In analogia



a quanto richiesto dagli Standard Nazionali, gli intervalli di integrazione sono relativi a tre range di periodi:

FA01-05 (ritenuto, a meno di particolari caratteristiche dell'area di studio, il fattore principalmente diagnostico per la determinazione dell'amplificazione locale), FA04-08 ed FA07-11, in grado di fornire indicazioni sull'amplificazione per periodi più elevati.

I parametri geologici s.l. d'ingresso, per poter estrapolare il valore del fattore di amplificazione, sono due:

1. Il periodo fondamentale di vibrazione del sito (T_0) o la corrispondente frequenza fondamentale (f_0);
2. Il valore della velocità media delle Onde S fino al basamento sismico (V_{SH}) caratterizzato da $V_S > 800$ m/sec.

Per l'attribuzione dei valori dei fattori di amplificazione alle microzone in cui è suddiviso il territorio studiato del Comune di Castel Focognano, sono stati utilizzati gli abachi riferiti alla macroarea “Toscana Appenninica” con valore di $a_g \geq 0.15g$ ($T_R=475$ anni) con substrato sismico $\leq 30m$, di seguito riportati (Figura 10.1):

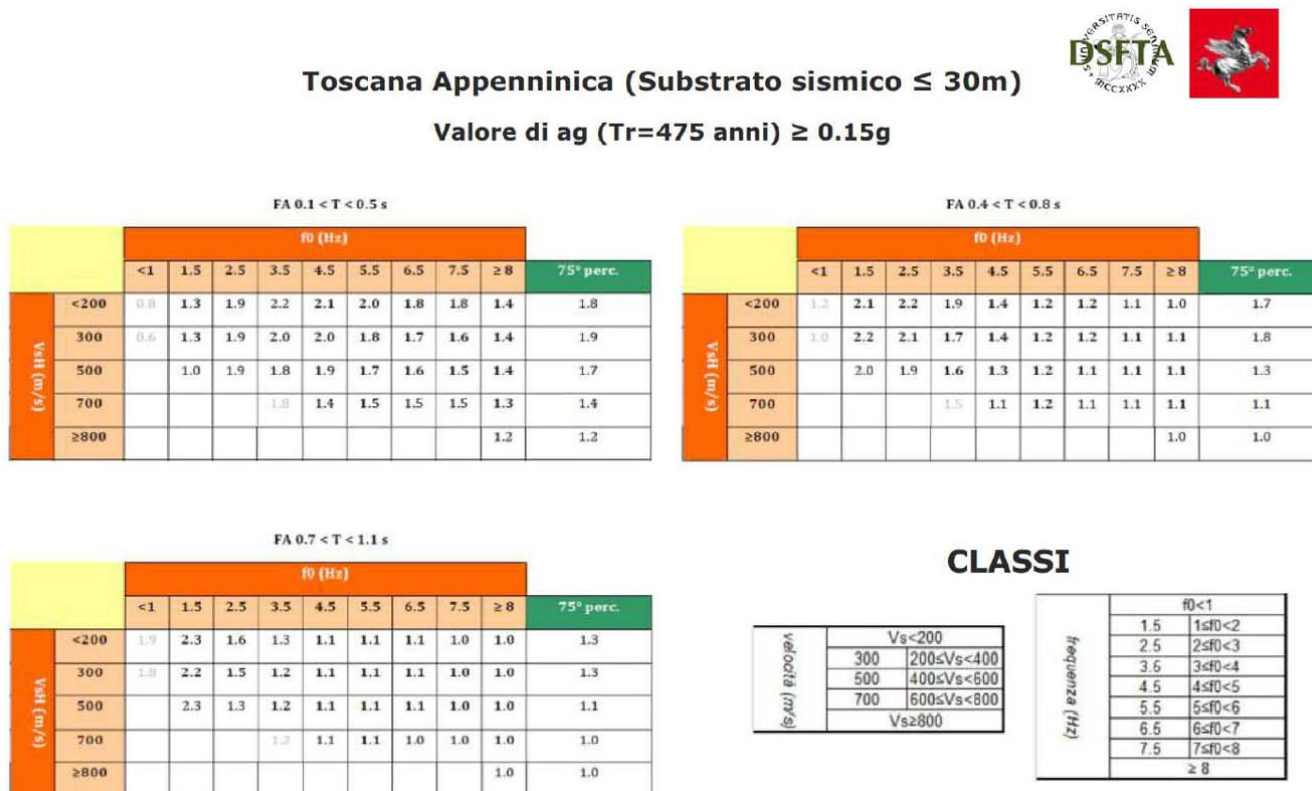


Figura 10.1: abachi regionali utilizzati per la stesura delle carte di MS2



Nelle seguenti tabelle (Figura 10.2) vengono suddivise tutte le microzone, con indicate per ciascuna, la località e le principali indagini geofisiche che hanno permesso di associare le rispettive classi di V_s e f_0 , determinando così i relativi valori di FA per i tre periodi richiesti.

Alle microzone, arealmente poco estese e con mancanza di indagini, sono stati assegnati i valori di V_s e f_0 tipici della microzona geologico-tecnica con simile comportamento sismostratigrafico.

I valori delle V_{SH} dei depositi di copertura del bedrock, risultano poco variabili e fanno rientrare tutte le microzone all'interno delle classi VS300 o VS500 m/s; mentre la variabilità dei valori di f_0 ha suggerito di suddividere alcune microzone in sottozone dotate di simili valori di f_0 e dunque con profondità del bedrock simile.

Per lo studio di MS2 sono state utilizzate, al fine di rafforzare il quadro conoscitivo di ciascuna MZ, anche le indagini sismiche realizzate all'interno dell'area di studio MS3 (centro urbano di Rassina), in quanto sono costituite da moltissimi HVSR e da indagini VEL, come stendimenti di Sismica a rifrazione e prove Down-Hole.

MZ	Località	Ind. HVSR	f_0	Ind. Lineare o DH	Vsh (m/s)	Bedrock	Classi		FA carta MS2		
							V_s	f_0	0,1 - 0,5	0,4 - 0,8	0,7 - 1,1
1011	Zenna	P257	15.5	-	>800 m/s	<30	800	>8	1.2	1.0	1.0
1041	Lungo Arno	-	-	-	>800 m/s	<30	800	>8	1.2	1.0	1.0
2099	Rassina	P147	20.2			<30	300	>8	1.4	1.1	1.0
		P153 (MS3)	11.7								
		P162	9.8	L34	270						
		P244	15								
		P328	8								
	Cinano	P176	14.7	L35	327						
	Calleta	P211	9.8								
	Santa Maria di Carda	P217	11.3								
		P280	16.7								
	Ornina	P291	16.3	L41	380						
		P294	9.5	L41	380						
	Campaccio	P296	11.8								
	Salutio	P199	8.5	L45	275						
	Zenna	P255	14								
	Montanina	P258	17								
		P259	18								
2001	Rassina	P224	13.1	-	>800	<30	800	>8	1.2	1.2	1.2
		P223	7.8								
		P229 (MS3)	9.7								
		P232 (MS3)	16.5								
	Rapille	P277	9.6								
	Tulliano	P261	19								
	San Martino	P90	no picco	L40	900						

MZ	Località	Ind. HVSR	f0	Ind. Lineare o DH	Vsh (m/s)	Bedrock	Classi		FA carta MS2		
							Vs	f0	0,1 - 0,5	0,4 - 0,8	0,7 - 1,1
2002	Rassina	P309 (MS3)	16.4			<30	700	>8	1.3	1.1	1.0
	Poggersona	P173	no picco								
	Salutio	P219	no picco								
		P267	9.5	L15-L16	605						
2003	Balestro	P271	3.6			<30	500	5.5	1.7	1.2	1.1
		P272	5.5	L17	500						
2004	Rassina	P169 (MS3)	8.5			<30	300	>8	1.4	1.1	1.0
		P170	19.1								
		P179 (MS3)	19.9								
		P188 (MS3)	5.3								
		P191	4.2								
		P248	9.8								
		P253 (MS3)	14.6								
		P306 (MS3)	18.4								
	Castel Focognano	P192	10.3	L50	350						
		P193	19.6								
		P194	19								
		P195	no picco								
		P220	16.2								
	Calleta	P206	9.4								
		P327	no picco								
	Rapille	P273	5.4			<30	500	5.5	1.7	1.2	1.1
2005	= 2009 (Rassina MS3)	-	-	-		<30	300	>8	1.4	1.1	1.0
2006	Castel Focognano	P270	5.4	-		<30	500	5.5	1.7	1.2	1.1
		P274	7								
2008	Rassina	P146	16			<30	500	>8	1.4	1.1	1.0
		P149	14.8								
		P154 (MS3)	13.9								
		P161 (MS3)	16.2	L5	510						
		P164	13.3								
		P165	10.9								
		P183 (MS3)	14.3								
		P185 (MS3)	18.6								
		P186 (MS3)	10.6								
		P187 (MS3)	20.1	L4	549						
		P196	10.4	L8	480						
		P200	17.7								
		P226	10.9	L56	230						
		P227	18.6								
		P236	10.2	L9	490						
		P245 (MS3)	11.8	L4	549						
		P246 (MS3)	10.6								
		P251 (MS3)	17.1								
		P284	16								
		P307 (MS3)	17.3								
		P323 (MS3)	7.3								
		P324 (MS3)	15	L13	462						
	Salutio	P200	9.7	L21	377						
		P202	13.8								
		P203	12.3								
		P204	19.2								
		P265	19.8								
		P269	16.1								
		P298	11.1								
		P299	10.6								
		P300	10								
		P301	9.9								
		P302	7.4	L19	338						
	Pieve a Socana	P242	15	L51 (nord)	450						
	Quercia Grossa	P275	19.2								
	Campusello	P276	14								
	Zenna	P256	19.7								



MZ	Località	Ind. HVSR	f0	Ind. Lineare o DH	Vsh (m/s)	Bedrock	Classi		FA carta MS2		
							Vs	f0	0,1 - 0,5	0,4 - 0,8	0,7 - 1,1
2009	Pieve a Socana	P212	10	L22	395	<30	300	>8	1.4	1.1	1.0
	Rassina zona MS3	P174 (MS3)	9.6	L12	345	<30	300	>8	1.4	1.1	1.0
		P176 (MS3)									
		P179 (MS3)	17.3	L14	270						
		P180 (MS3)	19.9	L2	220-280						
		P239 (MS3)	17								
		P241 (MS3)	20.1								
		P247 (MS3)	13								
2010	Pieve a Socana	P329	4.4	L51 (sud)	495	<30	500	4.5	1.9	1.3	1.1
		P172	9.5								
2011	Pieve a Socana	P174	5.1	-		<30	500	5.5	1.7	1.2	1.1
2017	= 2004 (Castel Foco.)	-	-	L50	350	<30	300	>8	1.4	1.1	1.0
2019	Rassina (MS3)	P322 (MS3)	3.75	L47	535	<30	500	3.5	1.8	1.6	1.2
2020	Rassina (MS3)	P157 (MS3)	4.3	L47	535	<30	500	4.5	1.9	1.3	1.1
		P313 (MS3)	3.8								
2021	= 2008 (alveo Arno)	-	-	-	-	<30	300-500	>8	1.4	1.1	1.0
	= 2010 (alveo Soliggine)	-	-	-	-	<30	500	4.5	1.9	1.3	1.1
2022	= 2009 (alveo Arno)	-	-	-	-	<30	300-500	>8	1.4	1.1	1.0
	= 2011 (alveo Soliggine)	-	-	-	-	<30	500	5.5	1.7	1.2	1.1
2023	Rassina (MS3)	-	-	L6-L7 (MS3)	385	<30	300	>8	1.4	1.1	1.0
	Pieve a Socana	P168 (MS3)	20								
2023	Pieve a Socana	P143	13.1	L1 - P138	412	<30	500	>8	1.4	1.1	1.0
		P184 (MS3)	11.9	-	-	<30	300	>8	1.4	1.1	1.0

Figura 10.2: Tabelle riassuntive delle microzone con i relativi fattori amplificativi stratigrafici

Per le Zone soggette ad instabilità di versante l'assegnazione dei valori di FA è stata effettuata con criteri sostanzialmente analoghi a quelli utilizzati per le Zone stabili suscettibili di amplificazione, fatta salva una maggiorazione pari a 0.2 del valore caratteristico della microzona sottostante.

13.2. RESTITUZIONE ED ANALISI DEI RISULTATI

Le determinazioni dei valori del Fattore di Amplificazione per le aree oggetto di MZS di livello 2 nei siti d'indagine sono sintetizzati nelle Carte di Microzonazione Sismica (Quadrante A e B), in scala 1:5.000, suddivise nei seguenti elaborati:

- Carta di microzonazione sismica - Fattore di Amplificazione FA (0,1 – 0,5 s)
- Carta di microzonazione sismica - Fattore di Amplificazione FA (0,4 – 0,8 s)
- Carta di microzonazione sismica - Fattore di Amplificazione FA (0,7 - 1,1 s)

Le aree di fondovalle sono interessate dalla presenza di esigui spessori (<10 m) di depositi alluvionali recenti e terrazzati, costituiti da ciottoli, ghiaie e sabbie deposti principalmente dall'Arno e dai suoi affluenti Soliggine e Salutio. Questi depositi, caratterizzati da valori di Vs mediamente pari a circa 400 m/sec, poggiano direttamente sul substrato roccioso che può essere sismico (Vs>800 m/sec) nel caso della F.ne di Monte Morello o Arenarie di M.Falterona oppure



dotato di $V_s < 800$ m/sec in corrispondenza della F.ne di Sillano o della facies argillitica del M.Falterona.

Le numerosissime misure di rumore effettuate nel fondovalle hanno mostrato valori di F_0 costantemente > 8 con picchi di ampiezza limitata $A_0 = 2-3$; queste caratteristiche mostrano dei fattori amplificativi non elevati, con massimo di 1.4 ($FA_{0.1-0.5}$ sec).

In una piccola porzione di fondovalle, in corrispondenza dell'abitato di Pieve a Socana, dove gli spessori dei depositi sono maggiori (10-20 m) e le frequenze F_0 sono comprese tra 4.5 e 5.5 Hz, si ha maggiore amplificazione del moto sismico.

Elevate amplificazioni si hanno vicino all'abitato di Castel Focognano (MZ 2006) e in Loc. Balestro (MZ 2003) per la presenza di coperture detritiche poggianti direttamente su bedrock sismico, con f_0 mediamente pari a 5.5 Hz.

Tutti gli altri centri abitati sono posizionati su rilievi collinari impostati direttamente sul substrato roccioso, molte volte fratturato ed alterato nei primi metri con valori tipici di VSH pari a circa 300 m/sec. Anche in questo caso le numerose indagini HVSR hanno evidenziato molto spesso un $f_0 > 8$ con picchi di ampiezza limitata $A_0 = 2-3$; confermando dei fattori amplificativi non elevati, con massimo di $FA = 1.4$ (0.1-0.5 sec).

Le indagini sismiche effettuate sulle zone in frana presenti nelle aree collinari, hanno confermato i medesimi Fattori Amplificativi rinvenuti per la sottostante microzona, caratterizzata soprattutto dalla presenza di una coltre detritica di limitato spessore (< 10 m) poggianti direttamente su substrato roccioso; in questi casi per mettere in evidenza la presenza di una forma geomorfologica è stata fatta una maggiorazione pari a 0.2 del valore caratteristico della microzona sottostante.

In accordo con il contesto geo-stratigrafico descritto, dall'analisi della distribuzione dei valori dei due parametri indice utilizzati per la classificazione è emersa una notevole affinità di comportamento in termini sismici delle diverse microzone esaminate, all'interno delle quali non sono state rilevate differenziazioni significative né particolari discordanze nei valori di VSH e f_0 , i quali hanno evidenziato una distribuzione areale particolarmente omogenea.

Le microzone con estensione areale limitata sono presenti solamente lungo l'alveo dei corsi d'acqua o nelle zone caratterizzate da riporto o depositi superficiali di limitato spessore e dunque dotati di caratteristiche sismo-stratigrafiche molto simili alle microzone principali.



11. – 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 Castel Focognano è stato limitato al fondovalle dell'Arno in corrispondenza dell'abitato di Rassina (sede comunale).

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.

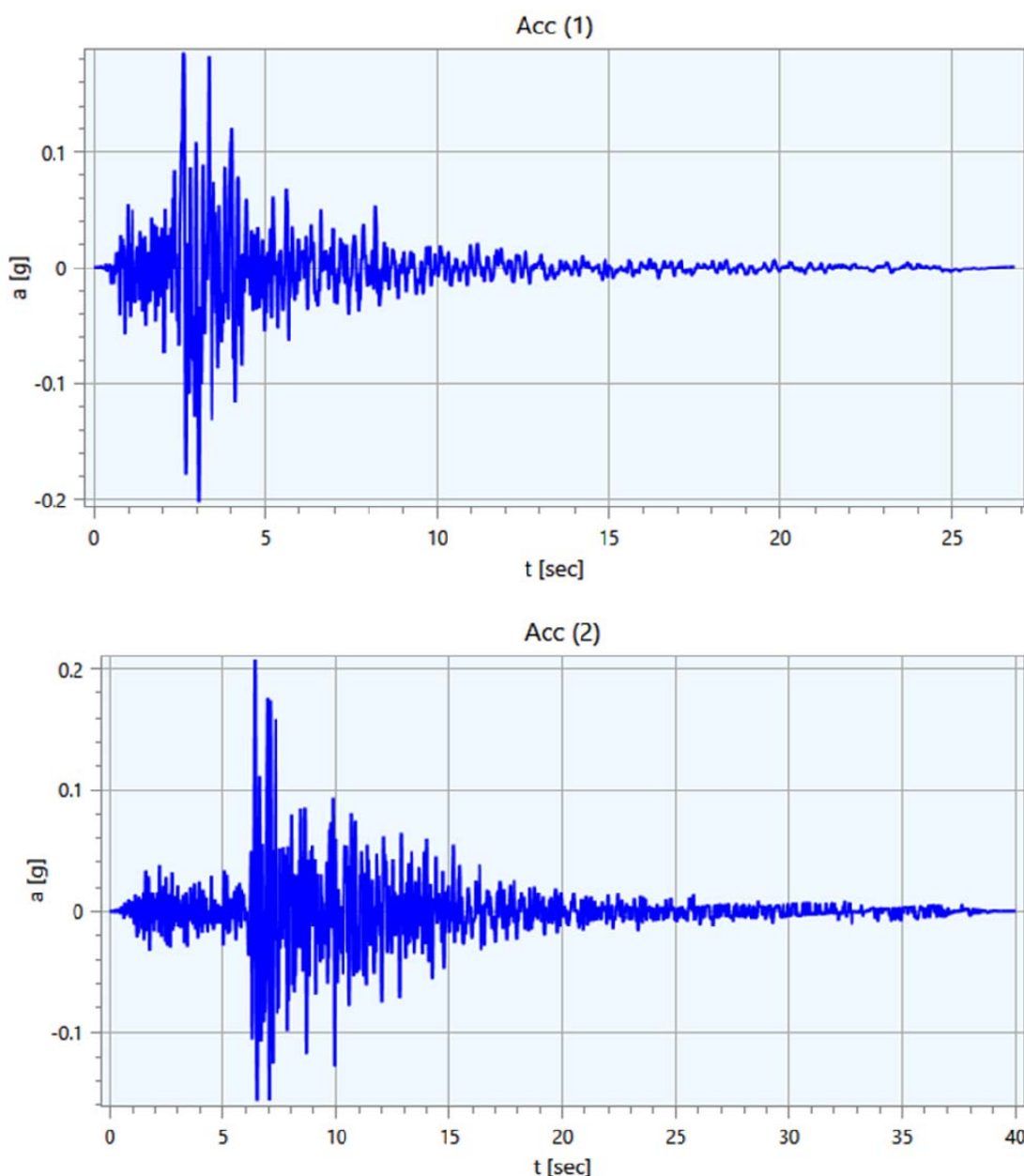
Il codice è chiamato SCALCONA 3.0 (SCALing of COmpatible Natural Accelerograms) ed è scaricabile al link: <http://www.regione.toscana.it/-/accelerogrammi-di-riferimento-per-la-toscana>.

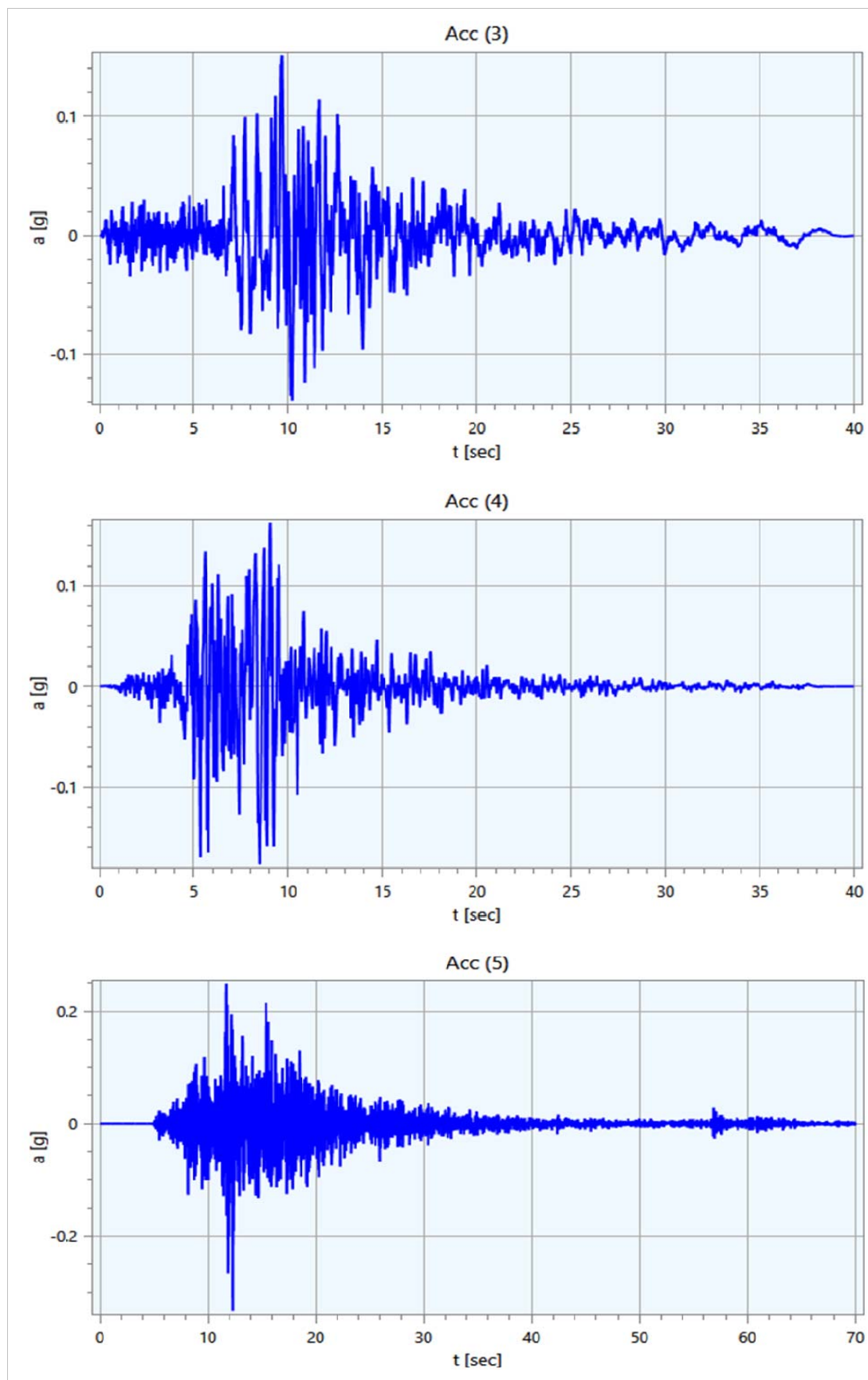
Si è optato per gli accelerogrammi naturali selezionati da banche dati accelerometriche “strong-motion” accreditate. Essi sono da preferire, secondo la normativa e la letteratura internazionale più avanzata per le analisi geotecniche e di risposta sismica locale, a fronte degli accelerogrammi artificiali. 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 11.1) e gli spettri di risposta elastici dei medesimi accelerogrammi a confronto con lo spettro di cat. A (bedrock sismico) previsto dalle NTC 2018 (Figura 11.2) per il centro comunale di Rassina (il valore è riferito convenzionalmente alla sede comunale, per la quale è previsto un valore di a_g pari a 0.180 g per un tempo di ritorno di 475 anni).





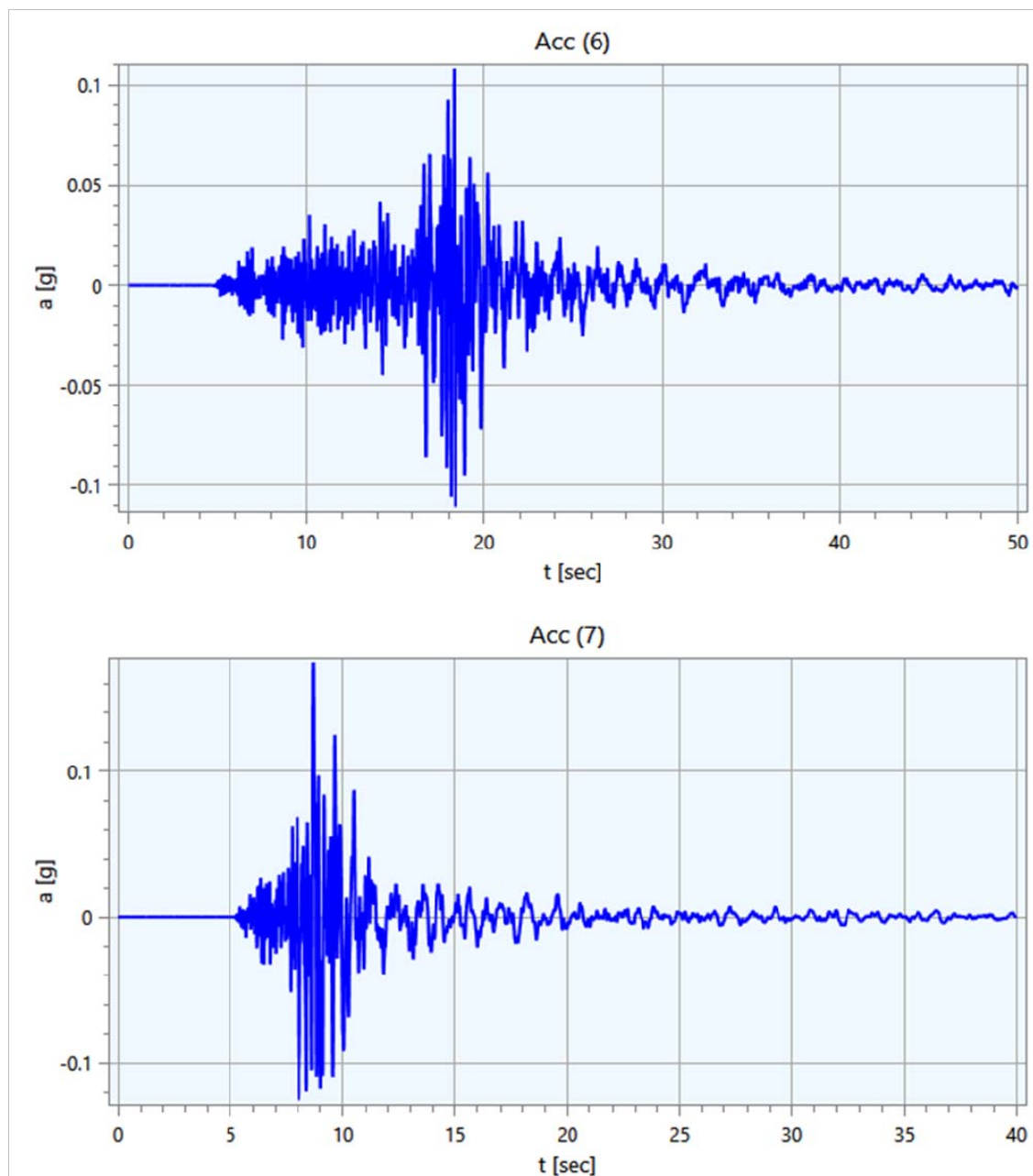


Figura 11.1: Storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico relativo ad un tempo di ritorno pari a 475 anni.

Dal grafico di Figura 11.2 è possibile notare la spettro-compatibilità della media dei 7 input a confronto con lo spettro target di normativa.

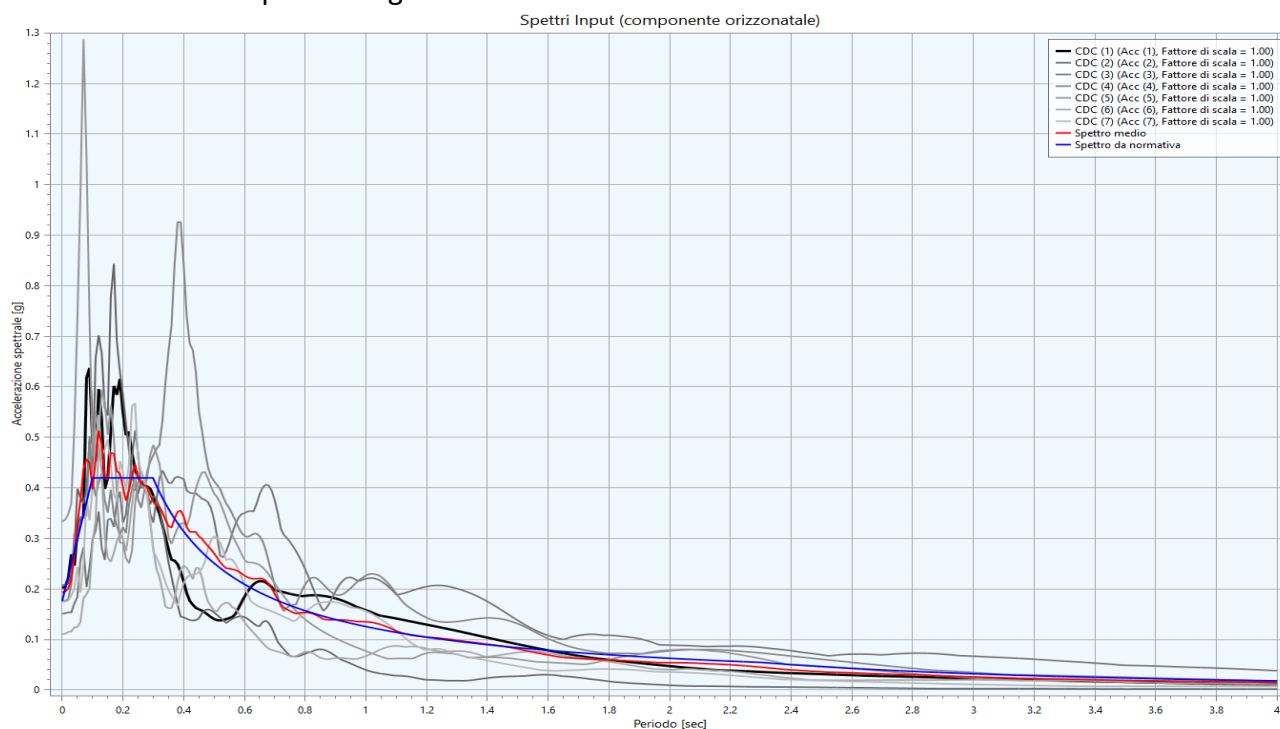


Figura 11.2: Rappresentazione in termini di spettro di risposta elastico (damping factor=5%) dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico per le analisi di risposta sismica locale relative ad un tempo di ritorno pari a 475 anni.

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.

CASTEL FOCOIGNANO TR475

n°	Magnitude (Mw)	Epic.Distance (km)	Scaling Factor	Source File Name
1	5.74	12.57	1.73	NGA-West2 RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
2	5.99	54.21	3..35	NGA-West2 RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
3	6.93	83.53	2.79	NGA-West2 RSN804_LOMAP_SSF115.AT2
4	6.69	38.07	1.17	NGA-West2 RSN1091_NORTHR_VAS000.AT2
5	6.60	26.00	1.72	KiK-net OKYH070010061330.NS2
6	6.60	62.00	1.51	KiK-net SAGH050503201053.NS2
7	5.20	11.80	2.24	ESM IT.AQP..HNN.D.20090409.005259.C.ACC.ASC

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.

12. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

A seguito delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche recuperate (indagini VEL) ed eseguite per gli studi di MS1-MS2/3, nell'area di indagine del Comune di Castel Focognano, sono stati ricostruiti dei modelli geologici, geofisici e geotecnici di sottosuolo; definendo altresì la sezione geologica 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°5 sezioni geologico-tecniche, denominate A, B, C, D e E, che riprendono quelle riportate nella Tavola delle Sezioni Geologico-tecniche. Le sezioni studiate sono tutte posizionate Est-Ovest e dunque trasversalmente alla pianura alluvionale dell'Arno, allungata in direzione Nord-Sud.

Nell'area di fondovalle ove sorge l'abitato di Rassina sono state effettuate numerose indagini sia per il progetto VEL che per i precedenti studi di MS. Tali indagini hanno confermato un modello geologico caratterizzato dalla presenza di un substrato lapideo rappresentato direttamente dalla F.ne di M.te Morello (MLL) (cfr. Sezioni A, B ed E) o dalla F.ne di Sillano (SIL). Quest'ultima è posta stratigraficamente al di sotto di MLL ed affiora in parte nei rilievi collinari ed in parte all'interno del corso d'acqua dell'Arno. Nella porzione centrale della valle la F.ne di Sillano è posta al di sotto di esigui spessori (<10m) di depositi alluvionali, come visibile nelle sezioni C e D.

Nella porzione superficiale dei rilievi collinari che sovrastano l'abitato di Rassina è presente molto spesso una coltre detritica di limitato spessore o direttamente l'alterazione superficiale del substrato. Il rilievo posto in sinistra idrografica dell'Arno e dunque ad est di Rassina è interessato da frane quiescenti di limitato spessore che sono state riportate nelle sezioni B, C, D ed E.

Per quanto riguarda le aree interessate da instabilità, sono state oggetto di studio preliminare (screening fase 1) tutte le Zone di Attenzione per instabilità inserite nel livello di MS 1, al fine di individuare le frane attivabili in condizioni dinamiche oltre a quelle attive, inserite a priori. In seguito alla fase 1 di screening tali aree sono state classificate come aree di suscettibilità per instabilità di versante (ZS-FR). 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.



13. 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 ad elementi lineari (sismica a rifrazione).

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 Cartella nella quale inserire il <i>raster</i> georeferenziato della Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica prodotta e il file "Legenda".
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_In 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 13.1: Modalità di archiviazione dei file nelle cartelle all'interno della Banca Dati



13.1. - MODELLAZIONI NUMERICHE E ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il modello geometrico da sottoporre ad analisi di risposta sismica locale è stato rappresentato mediante sezioni geologico-tecniche sia desunte dalle sezioni utilizzate per la definizione del Modello Geologico di Riferimento della MS1 sia di nuova realizzazione nell'ambito dell'implementazione dello studio di MS3.

L'Analisi di Risposta Sismica Locale per studi di MS3 è stata condotta in assetto bidimensionale utilizzando approcci di tipo lineare-equivalente.

Il numero di sezioni realizzate (n.5), ha consentito una buona copertura in riferimento all'estensione dell'area di studio 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 sezioni in modelli numerici 2D sono stati definiti (oltre che i valori dei parametri fisico-meccanici derivati dalla campagna di esplorazione del sottosuolo a corredo dello studio di MS):

- le geometrie dei litotipi investigati, come desunto dalla ricostruzione del modello geologico-tecnico;
- le condizioni di vincolo lungo i bordi dei modelli numerici.

Le formazioni oggetto di studio sono state discretizzate mediante elementi finiti triangolari le cui dimensioni massime sono state selezionate secondo la regola (*Kuhlemeyer e Lysmer, 1973*):

$$D_{max} = \lambda / k = (T V_s)/k \quad (1)$$

dove V_s è la velocità di propagazione delle onde di taglio (ricavata dalle indagini geofisiche dirette ed illustrate nei precedenti capitoli) e T è il periodo corrispondente alla più corta onda sismica propagabile e posto pari a 0.05s (frequenza massima propagata pari a 20Hz).

Tale periodo è quindi il minor periodo per cui si può ritenere attendibile il dato di output. Il coefficiente k è stato posto pari a 8 (*Lanzo & Silvestri, 1999*).



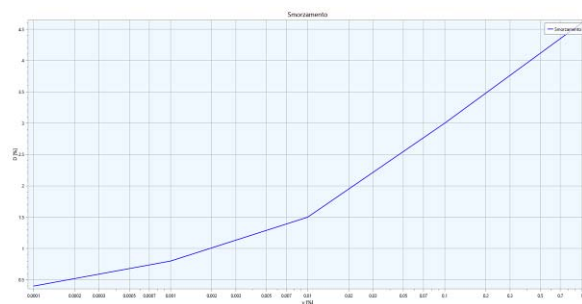
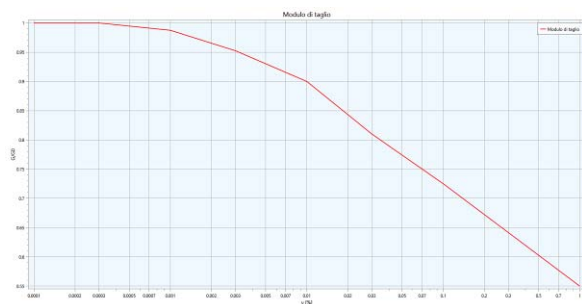
13.1.1. - PARAMETRIZZAZIONE IN CHIAVE DINAMICA DEI TERRENI

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.

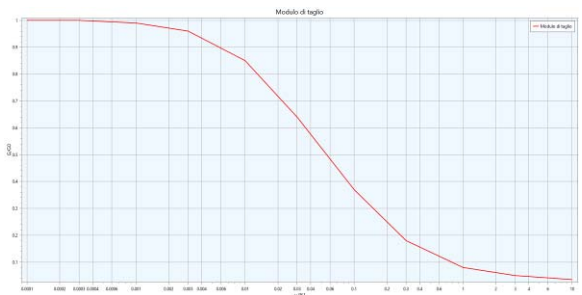
Avendo deciso di ricorrere all'utilizzo di codici di calcolo 2D operanti in ambito lineare-equivalente, è stato necessario ottenere, per ognuno dei sismostrati da modellare, i seguenti parametri:

- Valori di **V_p** (velocità di propagazione delle onde di compressione) e di **V_s** (velocità di propagazione delle onde di taglio). Il valore di V_s (come indicato nel precedente paragrafo) è servito anche per determinare la dimensione ottimale della mesh con cui è stata discretizzata la sezione da modellare;
- 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 13.1).

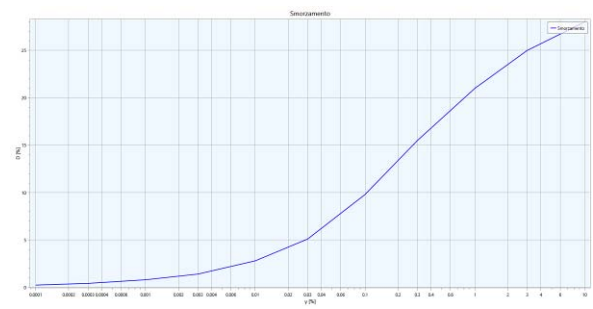
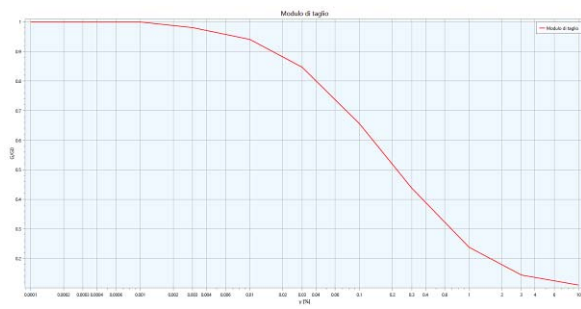
Average Rock



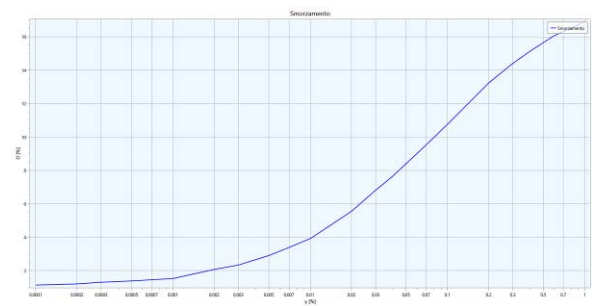
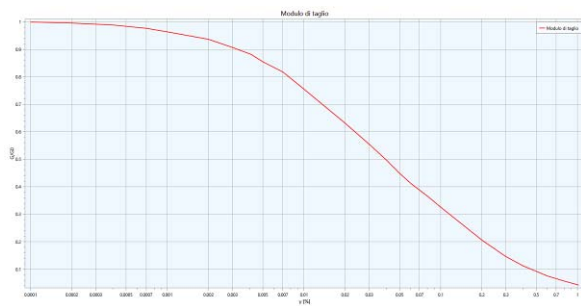
Sand Seed & Idris



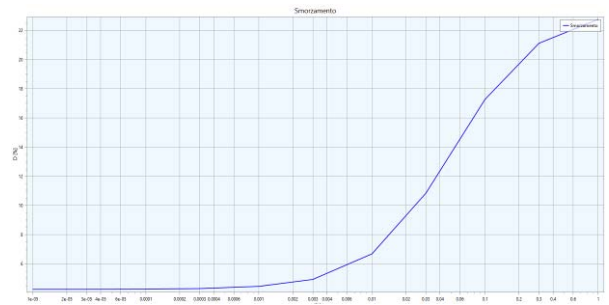
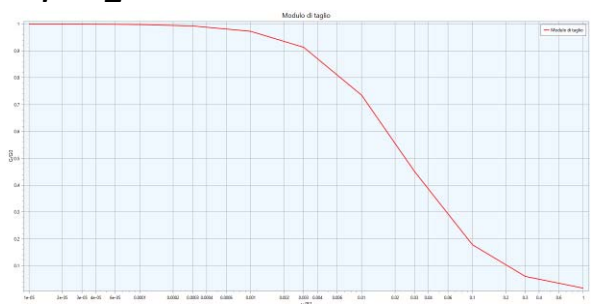
CLAY Seed & Sun



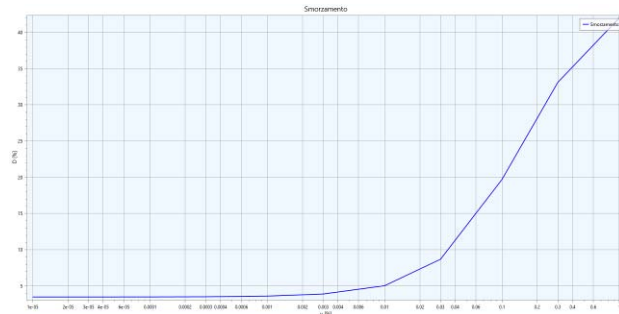
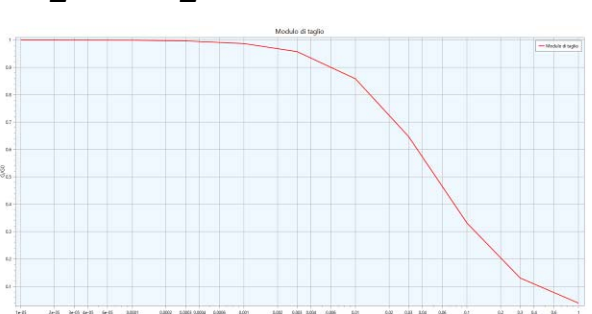
GHIAIE Rollins



Riporti_Casentino



Bn_alluvioni_Castel-Foco



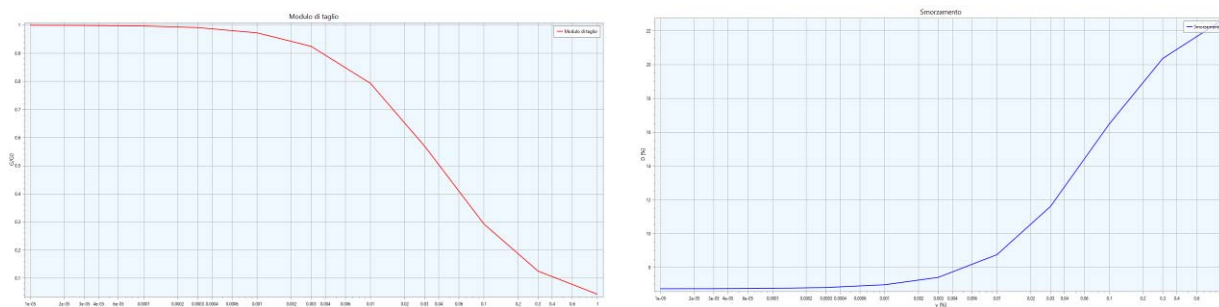
ProGeo Associati

via Don Luigi Sturzo, 43/A Arezzo IT

tel +39 0575 324114 fax +39 0575 406473

e-mail: progeo@progeoassociati.it P.IVA 01518320518

SIL-Casentino



LINEARE

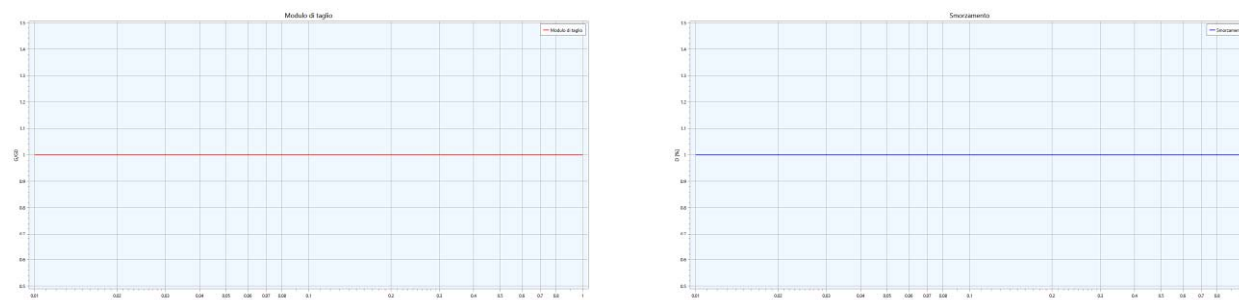


Figura 13.1: Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato $G(\gamma)$ e di incremento del rapporto di smorzamento $D(\gamma)$, utilizzate nella MS3 di Castel Focognano (AR)

Nel presente studio le curve di decadimento, sono state tutte derivate da banche dati presenti nel software ad eccezione di “**bn_alluvioni_Castel-Foco**”, “**Riporti_Casentino**” e “**SIL_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. Nella tabella seguente vengono riportate le caratteristiche meccaniche degli strati rinvenuti all’interno dell’area di studio:

FORMAZIONI	densità	VP	VS	mod. poisson	G/G0-D
Riporto	1800	500	250	0.33	Riporti_Casentino
Frana Quiescente	1800	500	200	0.40	Sand Seed & Idriss (1970)
Falda Detritica	1800	650	300	0.36	Clay Seed & sun (1989)
Alluvioni Recenti	1900	1000	400	0.40	Ghiaie Rollins
Alluvioni Terrazzate	1900	800	400	0.33	Bn_alluvioni_Castel-Foco
Sillano	2100	2200	600	0.46	Average Rock
Sillano Competente	2200	2400	1000	0.39	Lineare
Monte Morello alterato	2100	2300	600	0.46	Average Rock
Monte Morello	2200	2500	1100	0.38	Lineare



In fase di predisposizione del modello, sono stati inseriti 67 punti complessivi di output al fine di ottenere una completa analisi dei risultati necessari per la successiva fase di estrapolazione dei dati. In ogni caso è presente come minimo un punto di output ogni 100m di sviluppo della sezione.

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 13.2).



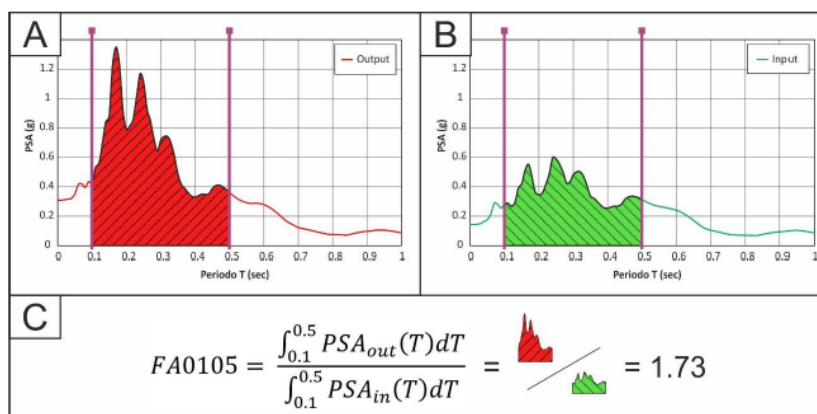


Figura 13.2: - Procedura per il calcolo del fattore di amplificazione FA_{0105}

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.

Infine, in corrispondenza dei punti di controllo più rappresentativi in sezione, per poter verificare il contributo degli effetti bidimensionali sulla risposta sismica definita, sono stati effettuati dei confronti con gli omologhi risultati derivanti da modellazione in ambiente monodimensionale.

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 bidimensionale e le sezioni geologico-tecniche con indicato la distribuzione e i valori dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali.

Sezione A

sezione A - MS3 Castel Focognano
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

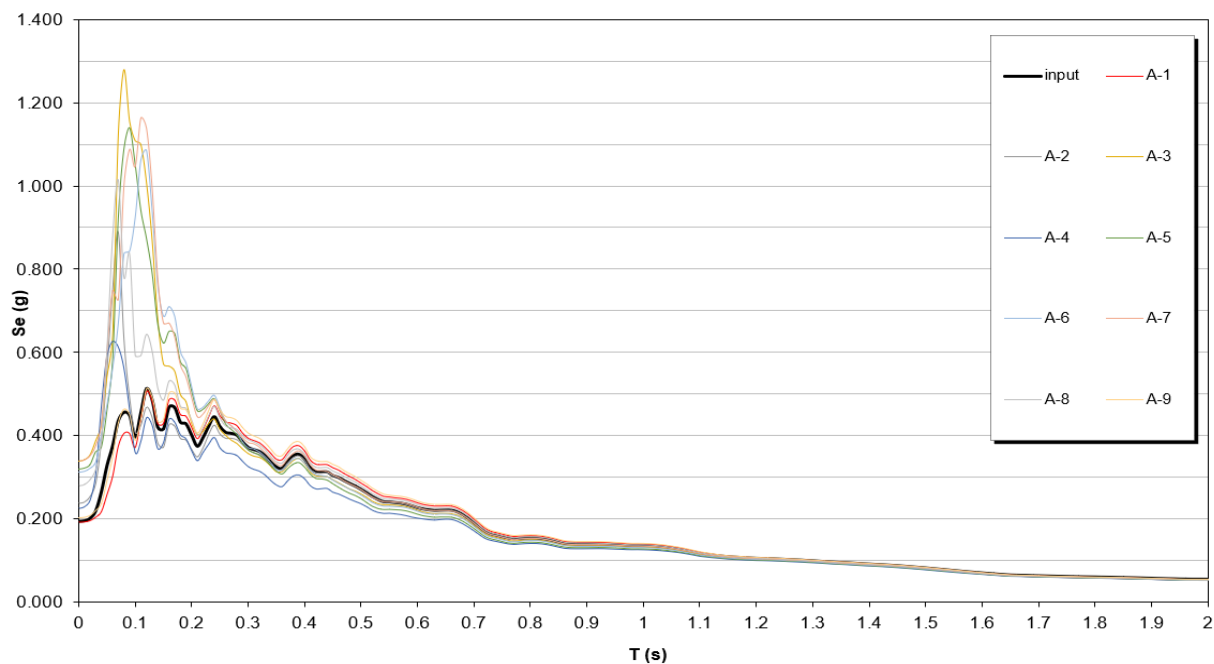


Figura 13.3: Sezione A - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

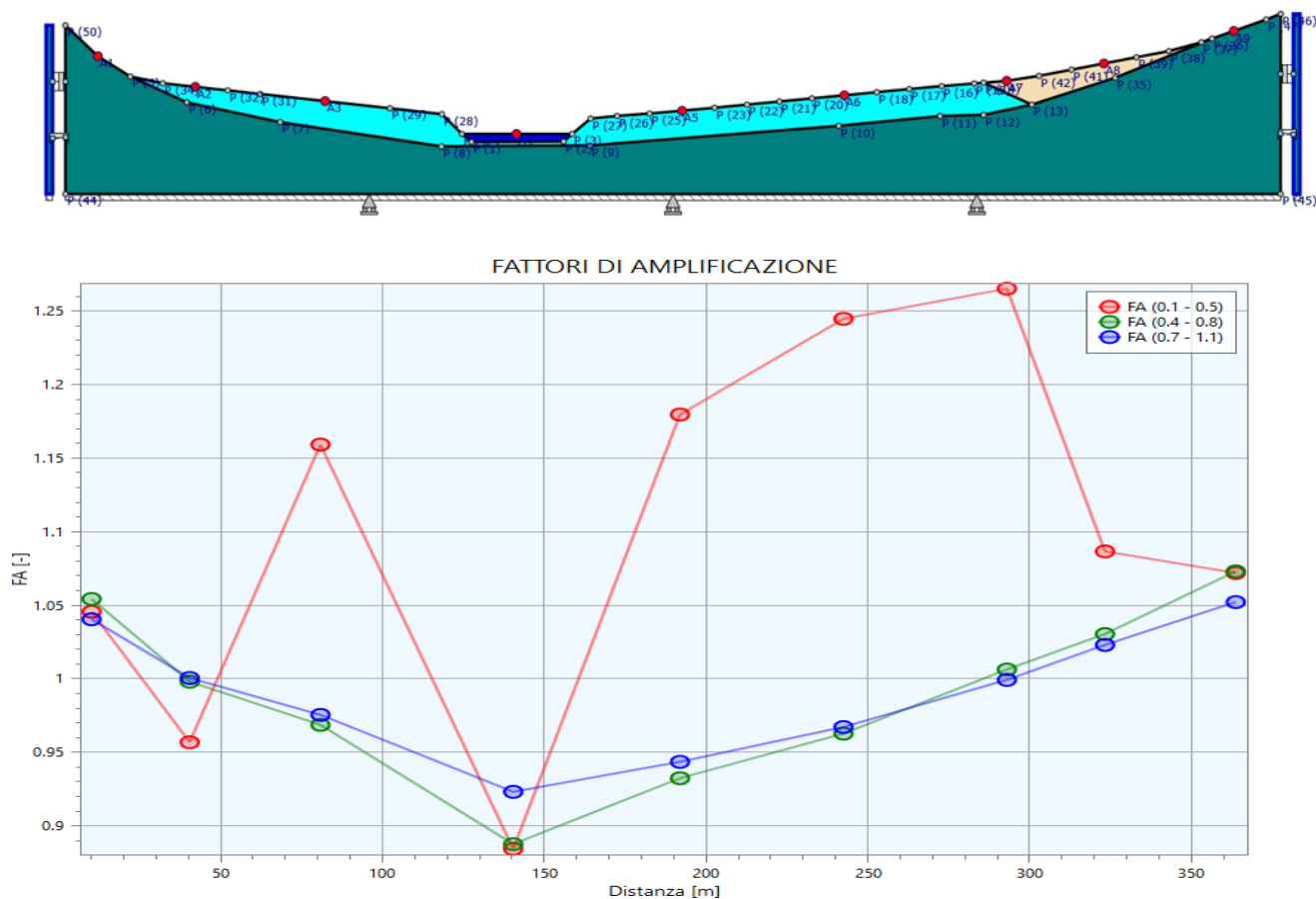


Figura 13.4: Sezione A - Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo



ProGeo Associati

via Don Luigi Sturzo, 43/A Arezzo IT

tel +39 0575 324114 fax +39 0575 406473

e-mail: progeo@progeoassociati.it P.IVA 01518320518

Sezione B

sezione B - MS3 Castel Focognano
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

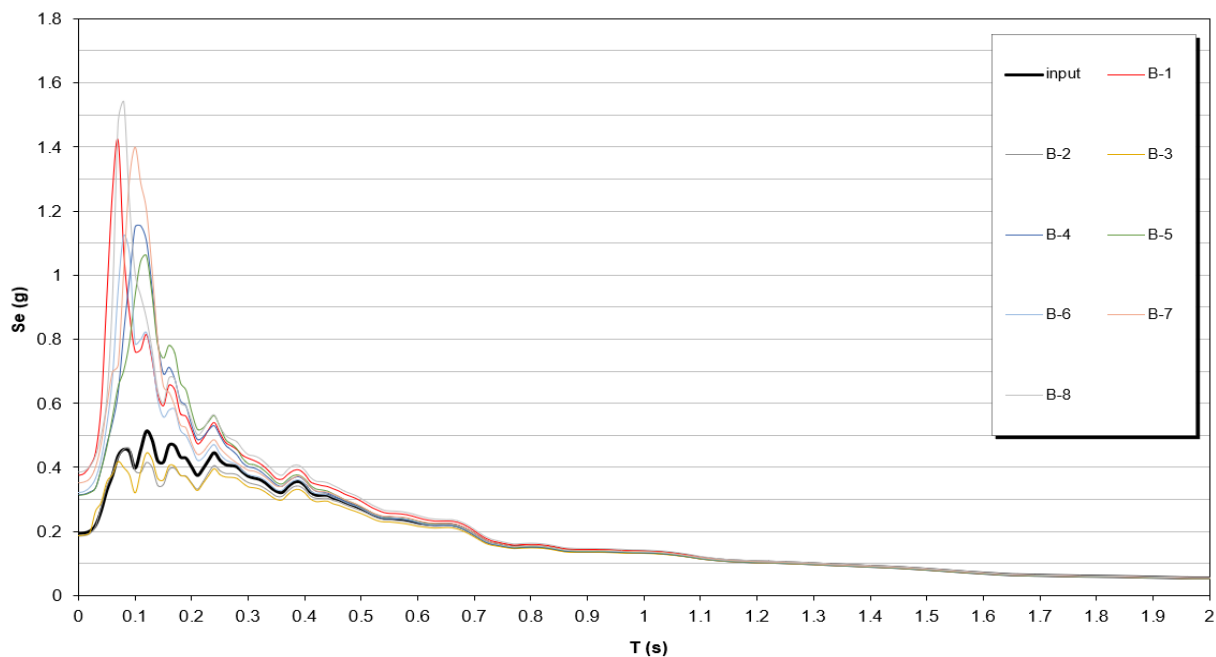


Figura 13.5: Sezione B - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

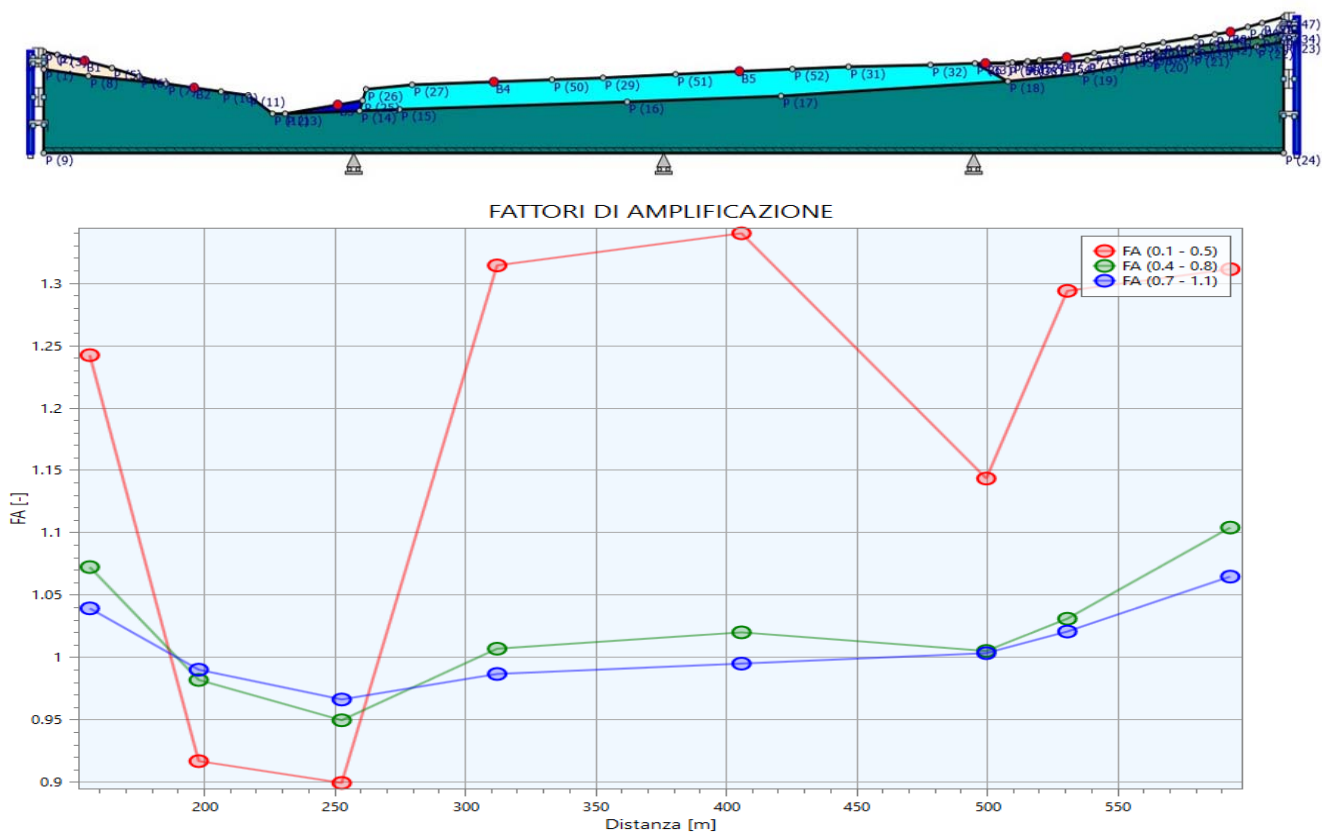


Figura 13.6: Sezione B - Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo



ProGeo Associati

via Don Luigi Sturzo, 43/A Arezzo IT
tel +39 0575 324114 fax +39 0575 406473
e-mail: progeo@progeoassociati.it P.IVA 01518320518

Sezione C

sezione C - MS3 Castel Focognano
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

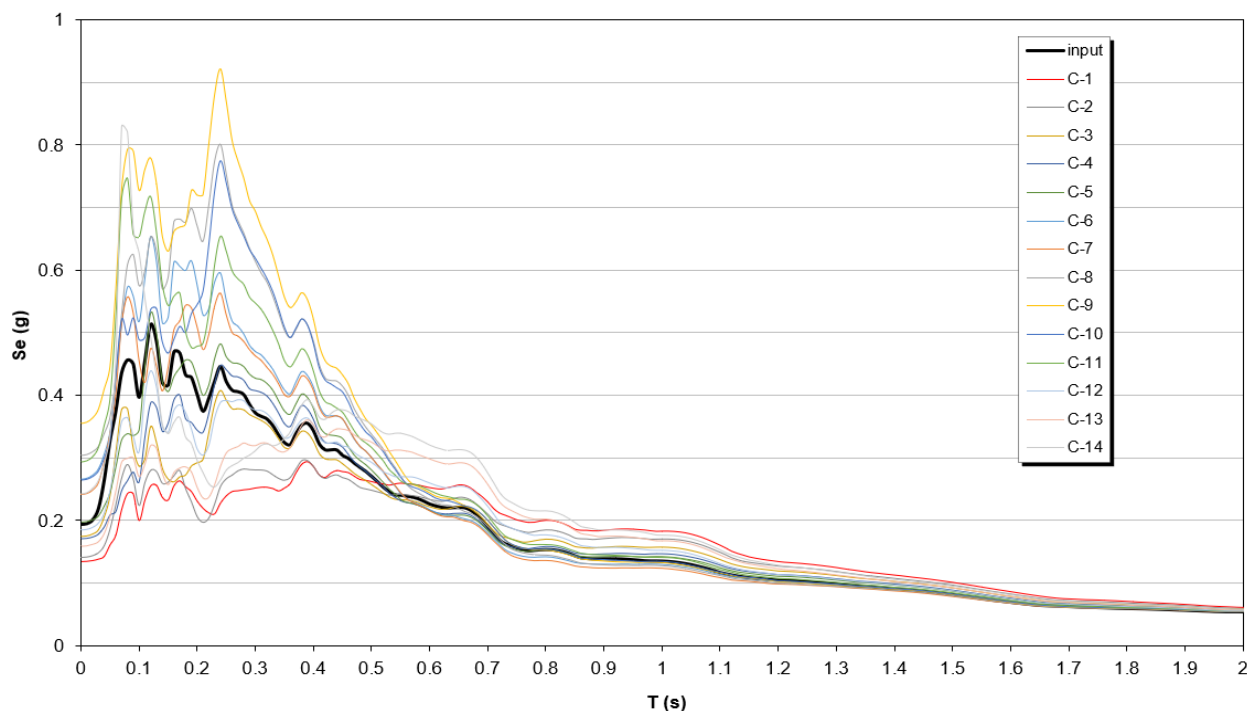


Figura 13.7: Sezione C - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

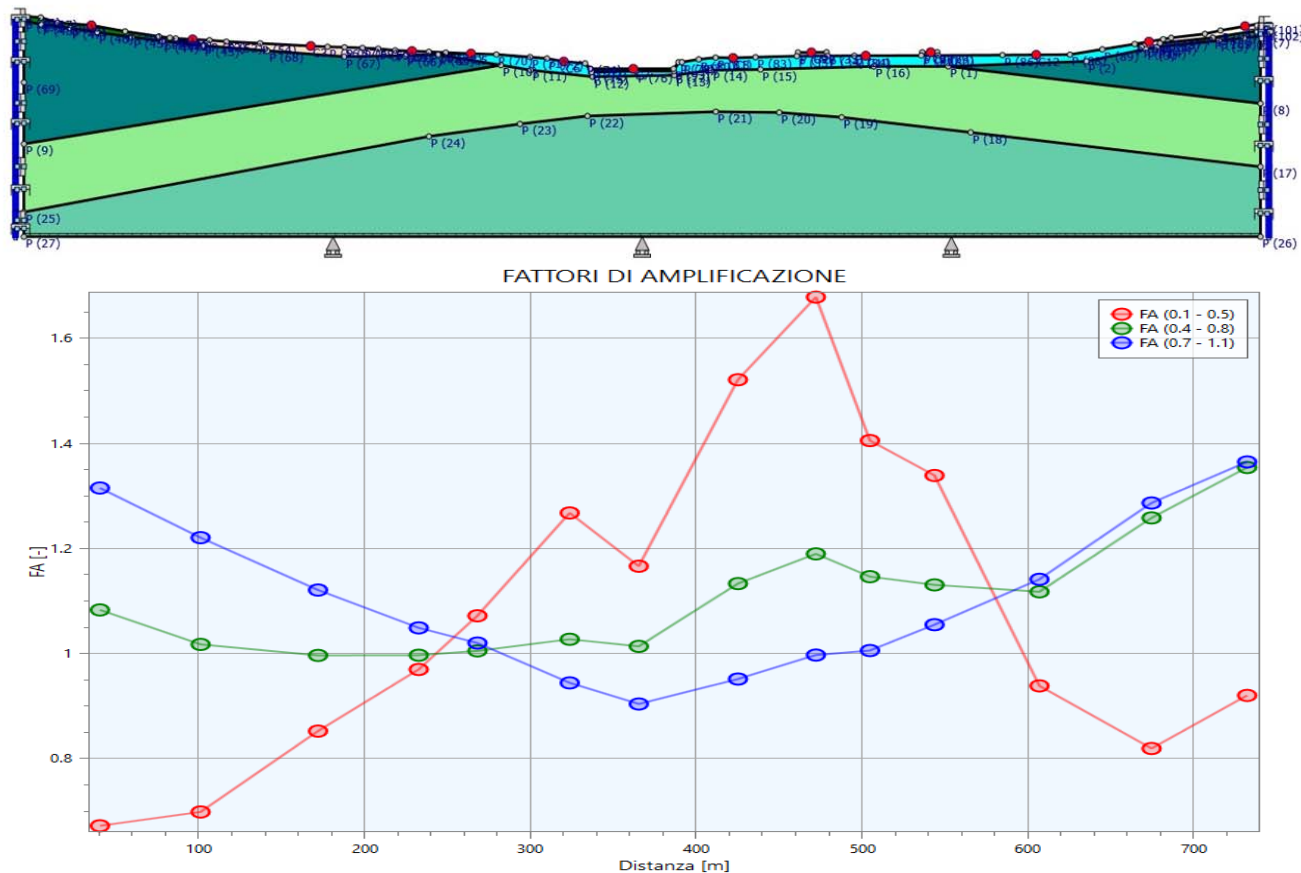


Figura 13.8: Sezione C - Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo



ProGeo Associati

via Don Luigi Sturzo, 43/A Arezzo IT
tel +39 0575 324114 fax +39 0575 406473
e-mail: progeo@progeoassociati.it P.IVA 01518320518

Sezione D

sezione D - MS3 Castel Focognano
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

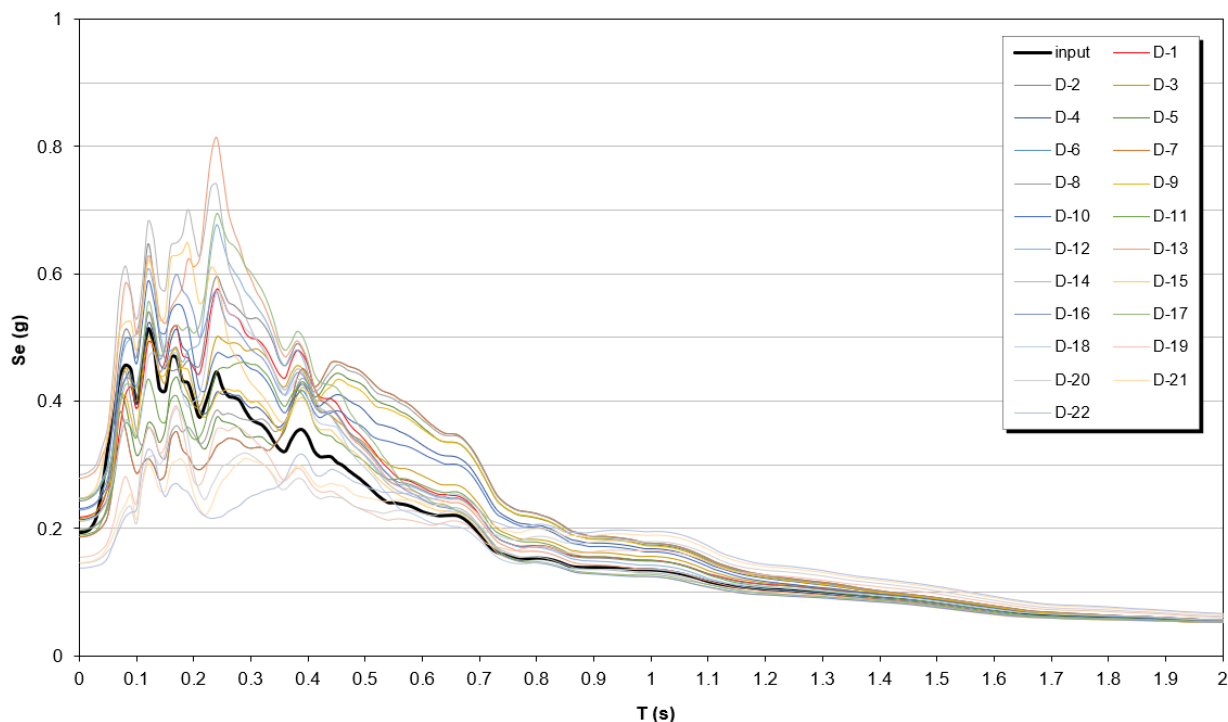


Figura 13.9: Sezione D - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

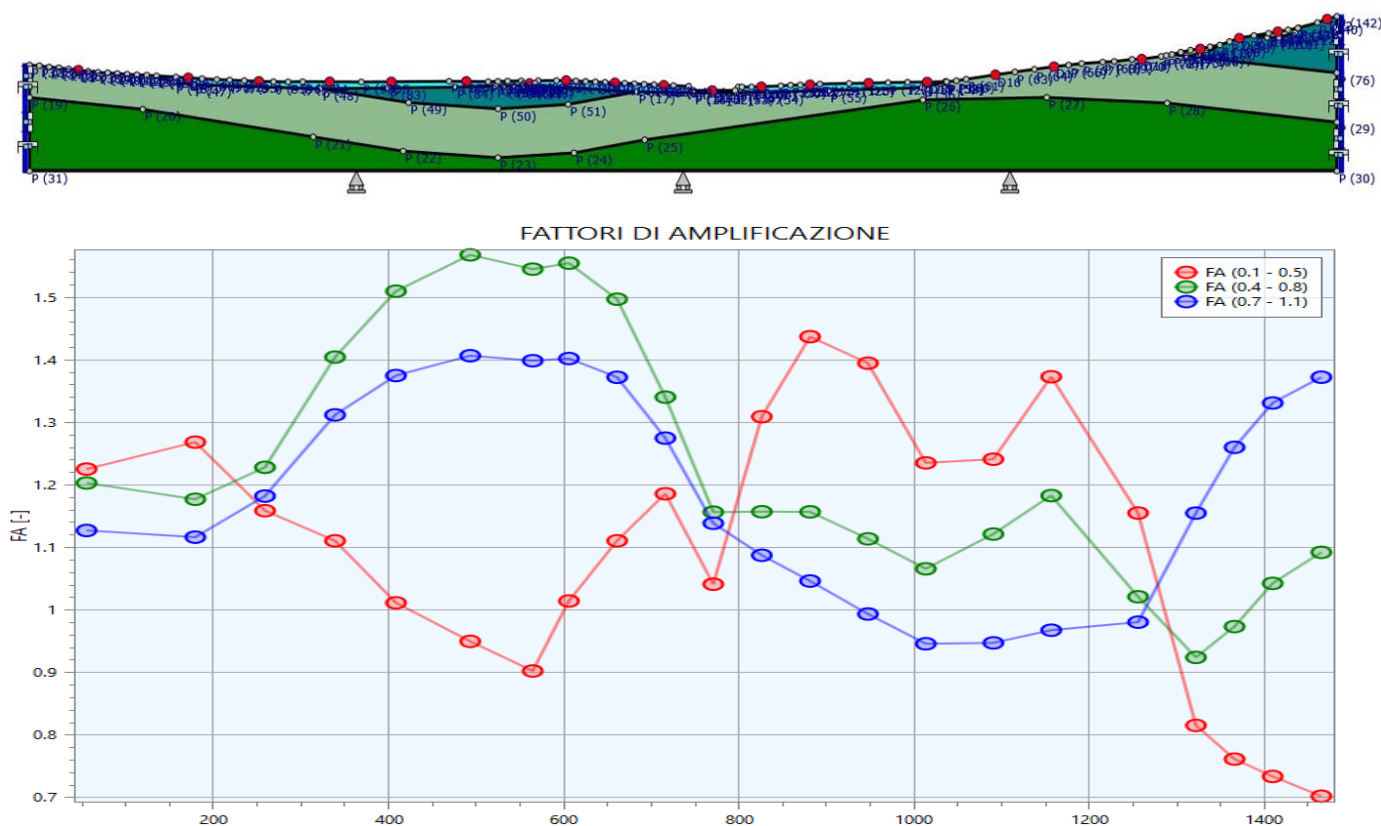


Figura 13.10: Sezione D - Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo



ProGeo Associati

via Don Luigi Sturzo, 43/A Arezzo IT
tel +39 0575 324114 fax +39 0575 406473
e-mail: progeo@progeoassociati.it P.IVA 01518320518

Sezione E

sezione E - MS3 Castel Focognano
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

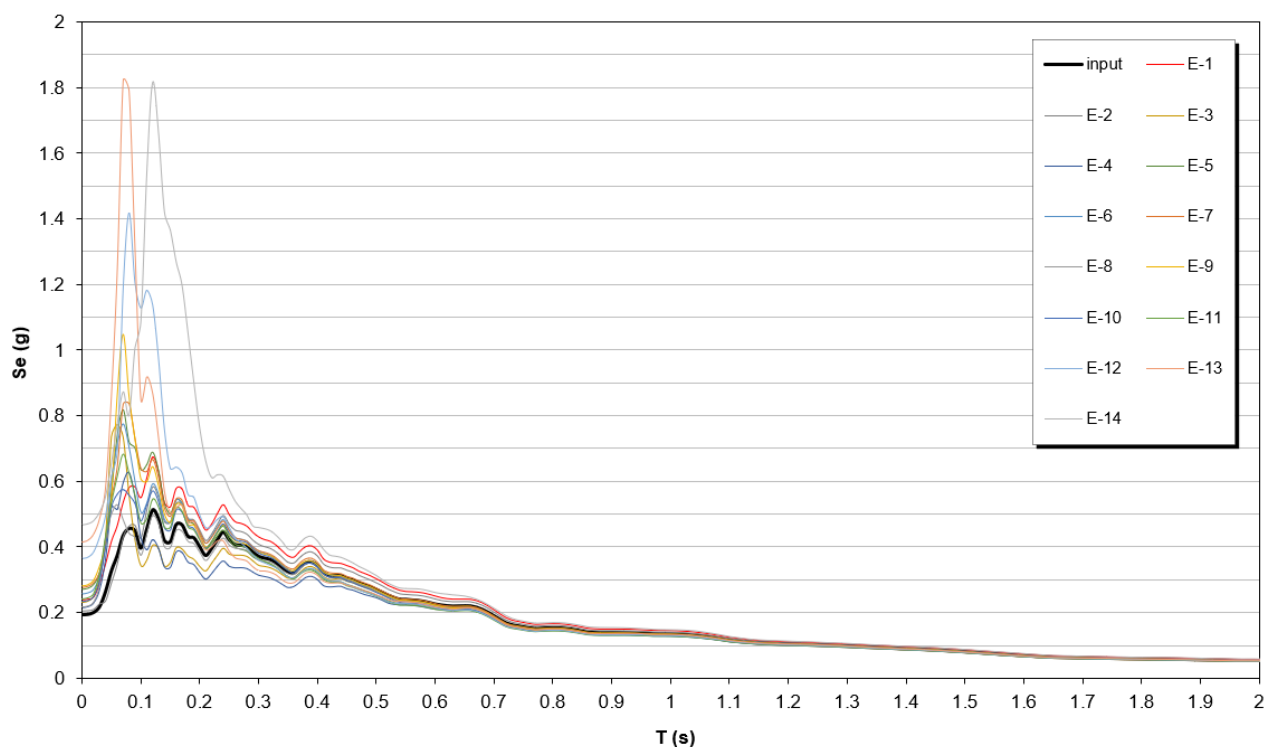


Figura 13.11: Sezione E - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali

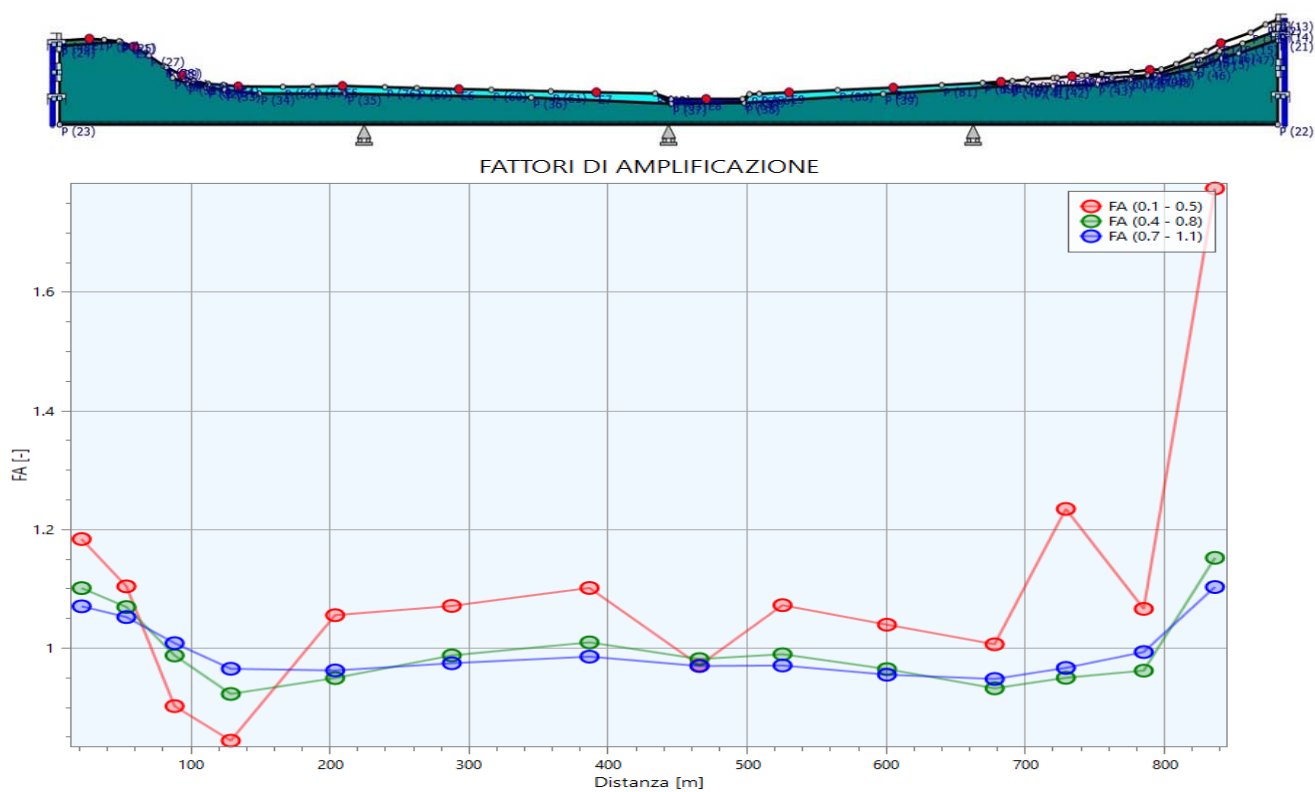


Figura 13.12: Sezione E - Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo



ProGeo Associati

via Don Luigi Sturzo, 43/A Arezzo IT
tel +39 0575 324114 fax +39 0575 406473
e-mail: progeo@progeoassociati.it P.IVA 01518320518

13.2. - 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.

13.3. - RAPPRESENTAZIONE SU MAPPA ED ESTRAPOLAZIONE

Ai fini dell'estensione areale del dato, nei settori dell'area di studio non coperti dalle sezioni geologico-tecniche 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 nelle sottostanti Figura 13.13 e Figura 13.14.

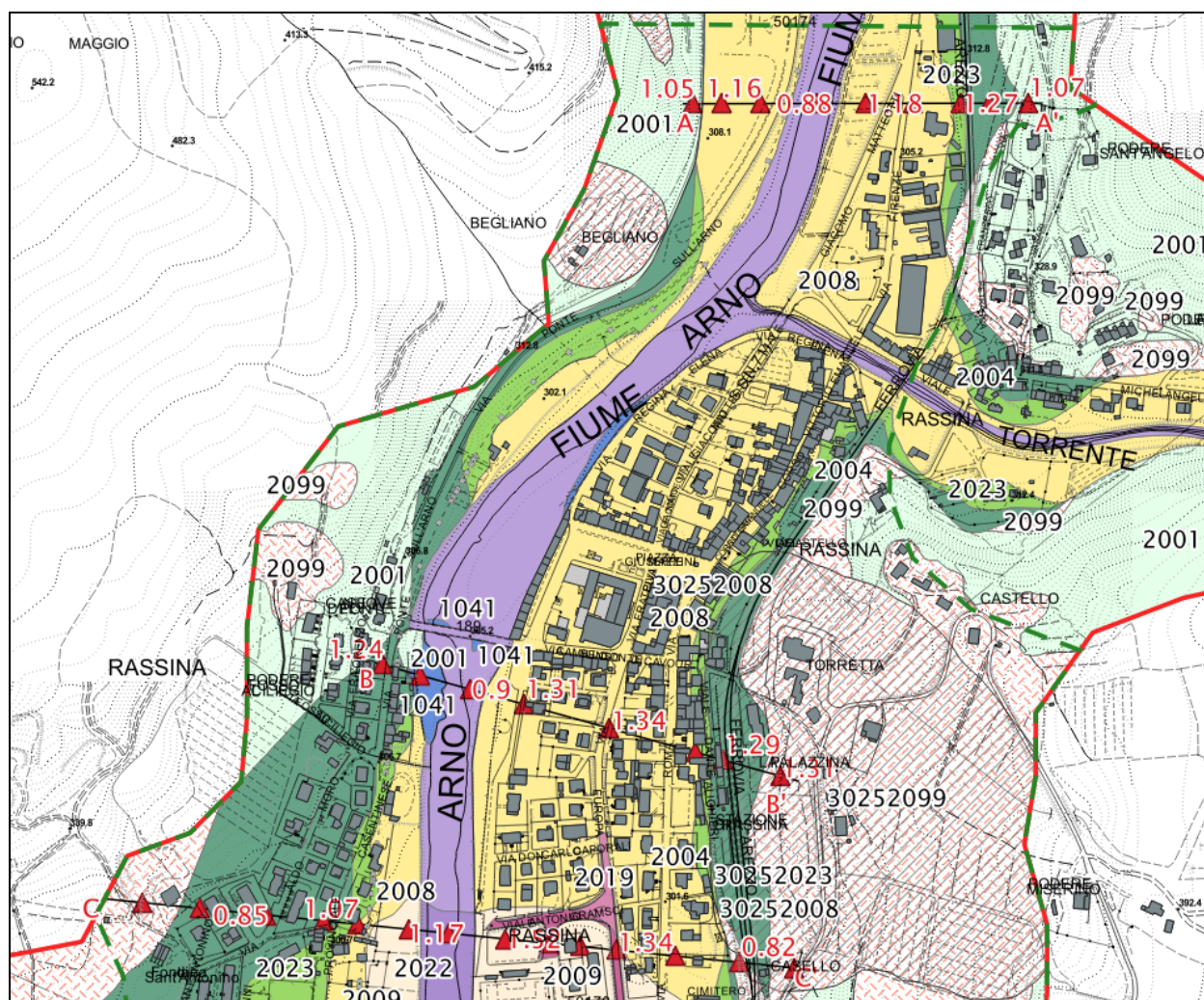


Figura 13.13: - Sovrapposizione dei valori di FA0105 con le MOPS – Zona Nord (Sezioni A, B e C)





- 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.

13.4. – REDAZIONE DELLA CARTA DI MS3

La realizzazione delle analisi di risposta sismica locale bidimensionale, illustrata nei capitoli precedenti, ha permesso la redazione della cartografia di microzonazione sismica di livello 3, per quanto attiene all'area di studio delimitata dalla linea verde tratteggiata riportata in Tavola A della Carta di MS2-3 per i tre fattori amplificativi considerati.

I risultati in termini di FA (fattore di amplificazione), desunti dalle analisi 2D effettuate in corrispondenza delle 5 sezioni geologico-tecniche 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 1.0 (FA < 1.05): include solamente le aree di affioramento della Formazione di Monte Morello in corrispondenza dell'alveo del Fiume Arno ed in corrispondenza di un'area posta all'inizio della Sezione C in cui si ha una leggera deamplificazione, poiché al di sotto di limitati spessori di copertura è presente MML sovrapposto alla F.ne di Sillano costituita essenzialmente da argilliti.



ZONA 1.1-1.2 ($1.05 < FA < = 1.24$): include le aree di affioramento del substrato rigido su superfici topografiche più inclinate di 15° , le aree in cui affiora il substrato non rigido, o in cui è sub-affiorante ed in alcune aree in cui sono presenti, al di sotto dei depositi alluvionali, litotipi competenti (M.Morello) al di sopra di lapideo meno competente (Sillano).

ZONA 1.3-1.4 ($1.25 < FA < = 1.44$): include buona parte dell'area di fondovalle in presenza di coperture alluvionali di limitato spessore ($< 10\text{m}$) o piccole porzioni di detrito di versante, entrambi poggianti al di sopra del substrato lapideo competente (M.Morello). In questa zona è posizionato gran parte dell'abitato di Rassina, sia il centro storico che l'area industriale posta a sud.

ZONA 1.5-1.6 ($1.45 < FA < = 1.64$): include le aree in frana quiescente poste in sinistra idrografica dell'Arno, oppure quelle in corrispondenza del fondovalle dove, al di sotto di coperture alluvionali di limitato spessore ($< 10\text{m}$), è presente il substrato lapideo meno competente (Sillano), che diventa competente ($V_s > 800\text{ m/s}$) a profondità di alcune decine di metri (30-40). Questa zona è compresa tra l'Arno ad ovest ed il rilevato stradale della SR71 ad est e limitata a nord da via A. Gramsci ed a sud da via F.lli Cervi.

ZONA 1.7-1.8 ($1.65 < FA < = 1.84$): include solo la porzione interessata da una frana quiescente posta nel rilievo ad est della zona industriale di Rassina, subito sopra la SR71.

14. - 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 una frana quiescente ($FA > 1.7$).

In tutta l'area della pianura del F.Arno caratterizzata dalla presenza degli alluvioni poggianti direttamente sul bedrock sismico (F.ne di M.Morello) il fattore amplificativo è costantemente $FA < 1.4$; diversamente in corrispondenza di un'area dove il substrato roccioso è costituito dalla F.ne di Sillano, caratterizzato da valori di V_s crescenti fino ad arrivare a valori $> 800\text{ m/sec}$ a profondità di circa 30-40 m, il valore di FA aumenta leggermente $FA = 1.5$, fino ad arrivare a $FA = 1.6$ in corrispondenza del rilevato stradale della SR71.



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 $FA=1.3$.

E' inoltre presente una piccola porzione di territorio, tra la confluenza del T.Soliggine con il Fiume Arno, caratterizzata da bassi valori di FA_{01-05} (1.1), che aumentano nell'intervallo FA_{04-08} (1.5); quest'area andrà in una sottoclasse della pericolosità S_2 (cap. 3.6.5 del reg. 5R/20).

Per tutto il resto del territorio studiato con modellazione MS_3 , nell'intervallo dei periodi 0.4-0.8 sec. e 0.7-1.1 sec, si ha una generale diminuzione dei valori di FA e dunque bassi effetti di amplificazione.



15. 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.

