



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Emilia-Romagna
Unione dei Comuni della Valconca



Regione	Soggetto realizzatore	Data
	Responsabile: Dott.Geol. Alessandro Merli Gruppo di lavoro: Dott.Geol. Carlo Copioli Dott.Geol. Fabio Vannoni Dott.Arch. Silvia Malpassi	Maggio 2024

INDICE

1. PREMESSA	3
2. INTRODUZIONE	4
3. SISMICITA' STORICA E PERICOLOSITA' DI BASE	7
4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	24
4.1. Cartografia di base	24
4.2. Inquadramento Geomorfologico	24
4.3. Inquadramento Geologico-Strutturale	27
4.4. Assetto Stratigrafico	29
5. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	36
5.1. Indagini integrative di tipo geofisico	37
5.2. Indagini integrative di tipo geotecnico	39
6. MODELLO DI SOTTOSUOLO	39
6.1. Andamento delle Vs nel sottosuolo	39
7. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	45
8. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	46
9. ELABORATI CARTOGRAFICI	47
9.1 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO I	47
9.1.1 Carta geologico-tecnica	47
9.1.2 Carta delle frequenze naturali del terreno	49
9.1.3 Carta delle MOPS (Microzone Omogene in prospettiva Sismica)	51
9.2 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO II – III	66
9.2.1 Carta delle velocità delle onde di taglio Vs	66
9.2.2 Carta dei fattori di amplificazione sismica (FA)	66
9.2.3 Fattori di amplificazione Topografica (FT)	69
9.2.4. Carta del parametro di scuotimento sismico assoluto “HSM”	91
10. MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO III (Analisi di RLS e Stabilità di sito)	93
10.1 Analisi di Risposta Sismica Locale	94
10.1.1 Modellazione numerica e codici di calcolo	94
10.1.2 Moto di input	94
10.1.3 Modello di sottosuolo e parametri dinamici	96
10.1.4 Spettri di Risposta e Fattori di Amplificazione	99
10.2 Stabilità di sito	125
10.2.1 Generalità e valutazioni geologico-tecniche	125
10.2.2 Verifiche di stabilità – metodi pseudo statici	149
10.2.3 Verifiche di stabilità – valutazione degli spostamenti in condizioni dinamiche	155
11. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	159
12. CONCLUSIONI	167
13. BIBLIOGRAFIA	169

ALLEGATI:

- ALLEGATO 1: Studio Foto-geologico
- ALLEGATO 2: Sezioni Litotecniche di dettaglio MS3
- ALLEGATO 3: Prove di laboratorio
- ALLEGATO 4: Verifiche di stabilità – metodi pseudo statici
- ALLEGATO 5: Dati spettro medio di output – RSL

1. PREMESSA

La microzonazione sismica, cioè la suddivisione dettagliata del territorio in base alla differente risposta rispetto ad un ipotetico terremoto, è uno degli strumenti più efficaci per la riduzione del rischio sismico in quanto permette, fino dalle prime fasi della pianificazione urbanistica, di valutare la pericolosità sismica nelle aree urbane e urbanizzabili, indirizzare i nuovi interventi verso quelle zone a minore pericolosità e programmare interventi di mitigazione del rischio nelle zone in cui sono presenti particolari criticità.

La L.R. 20/2000 “Disciplina generale sulla tutela e uso del territorio” e la L.R. 19/2008 “Norme per la riduzione del rischio sismico”, richiedono l’esecuzione di studi di microzonazione sismica per la redazione e l’approvazione dei piani urbanistici comunali.

In data 02/05/07 la Regione Emilia-Romagna con deliberazione dell’Assemblea Legislativa n.112/2007 ha approvato gli “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”. Successivamente tali indirizzi sono stati aggiornati con l’atto di indirizzo e coordinamento tecnico approvato con Del. G.R. 2193/2015, quindi, la più recente Del. G.R. 630/2019 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017)”. Infine con *DGR 476/2021 e successiva integrazione DGR 564/2021*, la R.E.R. ha pubblicato il recente “AGGIORNAMENTO DELL'”ATTO DI COORDINAMENTO TECNICO SUGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA (ARTT. 22 E 49, L.R. N. 24/2017)” DI CUI ALLA DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 29 APRILE 2019, N. 630” cui poter far riferimento per la redazione di studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna.

Anche il Dipartimento della Protezione Civile e la Conferenza delle Regioni e Province Autonome in data 13 novembre 2008 ha approvato gli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”, e con O.C.D.C.P. n. 780 del 20/05/2021 e Deliberazione della Regione Emilia Romagna 1885/2021, sono stati definiti i criteri e le risorse finanziarie per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna.

L’Unione di Comuni della Valconca, per conto dei Comuni di Gemmano, Mondaino, Montefiore Conca, Montegridolfo, Montescudo-Montecolombo, Morciano di Romagna, Saludecio e San Clemente, essendo in possesso dei requisiti indicati dall’ O.C.D.C.P. n. 780 del 20/05/2021 ha ottenuto il relativo finanziamento e gli studi, che sono stati previsti per le aree urbanizzate e urbanizzabili, sono relativi agli approfondimenti di Microzonazione Sismica di III livello. La redazione del presente approfondimento di III Livello è stata svolta ad integrazione ed aggiornamento dei precedenti studi di I-II Livello, già realizzati e collaudati dalla Commissione Tecnica Nazionale, sviluppandolo in ossequio alla più recente direttiva DGR 564/2021 nonché in ottemperanza agli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica dei dati di MS vers. 4.2 del 2020.

2. INTRODUZIONE

A seguito di un terremoto, si ha spesso modo di osservare come la distribuzione dei danni sul territorio sia assai eterogenea a parità di vulnerabilità dell'edificio. Le condizioni geologico-tecniche degli strati più superficiali, nonché le caratteristiche geomorfologiche possono concorrere, infatti, a modificare localmente lo scuotimento indotto da un terremoto. Per un'efficace azione di prevenzione, in materia di rischio sismico, è necessario tener conto non solo, quindi, della zonazione sismica nazionale, ma anche di eventuali sfavorevoli condizioni locali, a scala comunale o sub comunale. Particolarmente rilevanti sono i cosiddetti effetti di amplificazione di sito, ossia l'insieme delle variazioni in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, rispetto ad una formazione rocciosa di base, subisce attraversando gli strati sovrastanti, fino alla superficie. Tali effetti sono causati, essenzialmente, da un processo di intrappolamento e risonanza dell'energia del terremoto all'interno di un volume di sottosuolo costituito da materiali sedimentari a bassa impedenza sismica (IS : prodotto della velocità di propagazione dell'onda per la densità del mezzo attraversato) e posto sopra ad un dominio con più alta IS , per esempio un substrato roccioso o un suolo particolarmente rigido. L'identificazione delle aree soggette ad amplificazione sismica è dunque di fondamentale importanza per la pianificazione e lo sviluppo urbanistico comunale. Uno studio di questo genere prende il nome di Microzonazione Sismica ed ha lo scopo di individuare porzioni del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo.

La messa a punto di una procedura condivisa per lo studio di questi fenomeni è stata recentemente oggetto di un intenso lavoro di coordinamento e sintesi delle conoscenze finora disponibili da parte della Conferenza delle Regioni che, con il coordinamento del Dipartimento della Protezione Civile, ha messo all'opera una grande quantità di tecnici ed esperti per la messa a punto, nel 2008, degli **“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”** (figura 2.1).

Le prime esperienze regionali sulla microzonazione dopo vari eventi sismici e alcune normative regionali su tale ambito hanno rappresentato le condizioni preliminari per creare delle basi comuni e condivise, recependo quanto è stato elaborato e sperimentato a livello scientifico e sviluppando le istanze espresse in vario modo dalle Regioni e dalle amministrazioni.

Il gruppo di lavoro, coadiuvato anche dalle osservazioni da parte di soggetti esterni (Consiglio nazionale dei Geologi, Consiglio nazionale degli Ingegneri, Associazione Geotecnica Italiana, ecc.), nel corso della sua attività ha evidenziato che la sperimentazione e l'applicazione degli **“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”** rientra a pieno titolo nei programmi nazionali di previsione e prevenzione previsti dall'articolo 4 della legge n°225 del 24 Febbraio 1992.

Questo testo, che rappresenta un punto di riferimento per tutte le attività di microzonazione sismica ad opera degli Enti territoriali, definisce una serie di protocolli e tecniche di indagine del sottosuolo applicabile ai

settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell'emergenza e della normativa tecnica per la progettazione.

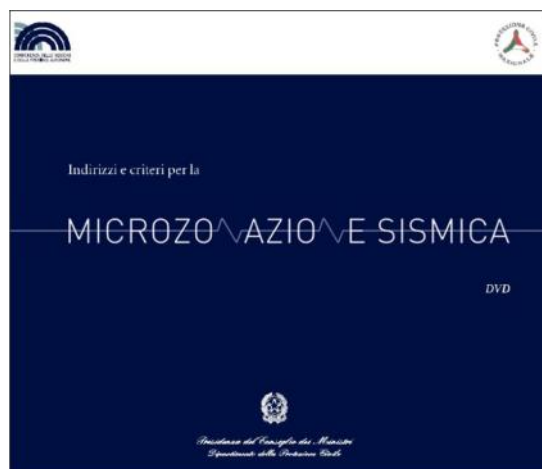


Figura 2.1- Copertina dell'elaborato "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica"

In funzione dei diversi contesti, dei diversi obiettivi e delle disponibilità economiche le linee guida (Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica) prevedono 3 differenti livelli di approfondimento, con complessità, impegno e costi crescenti.

Livello 1: è un livello propedeutico ai veri e propri studi di microzonazione sismica, in quanto consiste nella messa a punto di un quadro conoscitivo generale in base a dati preesistenti ed indagini a basso costo realizzate ex-novo. L'obiettivo è l'individuazione in pianta di una serie di settori definiti "microzone" all'interno dei quali è possibile ipotizzare un comportamento sismico dei terreni omogeneo.

Livello 2: introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee definite nel livello 1. A ciascuna microzona viene associato un fattore di amplificazione (FA) computato attraverso appositi abachi realizzati "ad hoc" per tutto il territorio regionale in base alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e sismiche.

Livello 3: restituisce una carta di microzonazione sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari (p.es. fenomenologie legate a cedimenti e liquefazione).

Nel presente rapporto tecnico-scientifico vengono illustrati gli elaborati e i prodotti informatici relativi alle indagini e agli studi svolti nell'ambito della Microzonazione Sismica di III livello di analisi, delle aree urbanizzate e urbanizzabili presenti nel territorio dell'Unione di Comuni della Valconca (RN), (figura 2.2). In Tabella 2.1 è riportata una sintesi della documentazione e degli elaborati cartografici redatti per gli studi di Microzonazione Sismica:

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

Tabella 2.1 – Sintesi delle Tavole ed elaborati cartografici allegati fuori testo alla relazione redatti per ciascun comune

Titolo Elaborato
Carta delle Indagini
Carte delle Frequenze naturali dei Terreni (F0, A0)
Carta Geologico Tecnica e Sezioni litotecniche
Carta delle Velocità delle onde di taglio S (VsH)
Carta delle MOPS
Carte di Microzonazione sismica di II-III Livello (Fa_PGA - Fa_SA1 - Fa_SA2 - Fa_SA3 - Fa_SI1 - Fa_SI2 - HSM)
Carte di Microzonazione sismica di III Livello (H ₀₄₀₈ e H ₀₇₁₁)

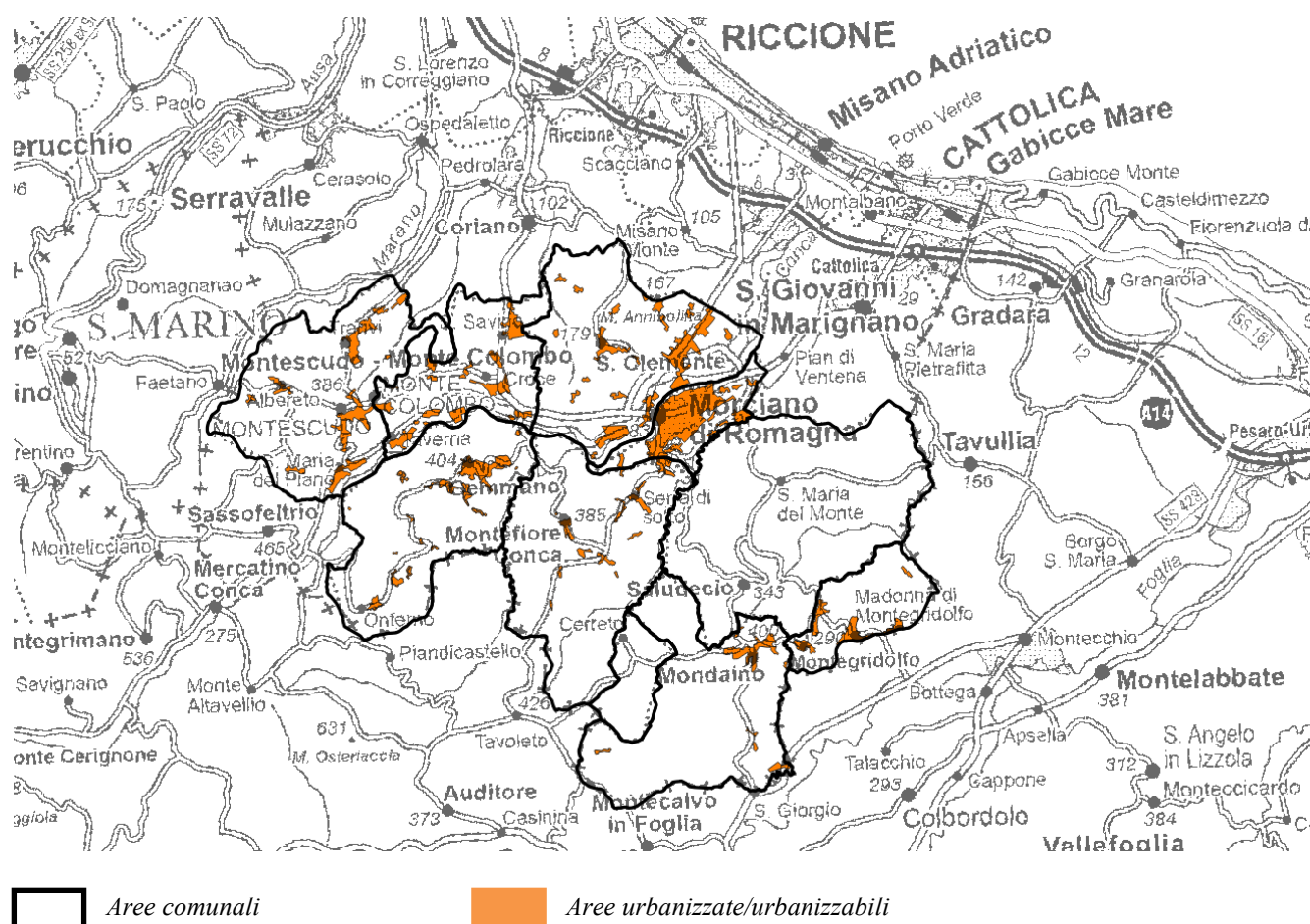


Figura 2.2- Zone urbanizzate e urbanizzabili nell'ambito del territorio dell'Unione di Comuni Valconca.

3. SISMICITA' STORICA E PERICOLOSITA' DI BASE

Il territorio in studio dell'Unione dei Comuni della Valconca si trova al margine meridionale della Provincia di Rimini e si compone dei Comuni di Gemmano, Mondaino, Montefiore Conca, Montegridolfo, Montescudo-Montecolombo, Morciano di Romagna, Saludecio e San Clemente. Si estende su un'area complessiva di circa 160 km quadrati e conta 28354 abitanti (Figura 3.1).

Per la definizione della sismicità storica del territorio in studio è stato consultato il Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>). La successiva Tabella 3.1 riporta i principali eventi sismici (scosse principali “mainshock”) risentiti nel comune in esame. Per ogni evento sismico sono riportate: data, area epicentrale, intensità epicentrale I_0 (valori in scala MCS), magnitudo momento M_w (stimata da correlazioni empiriche o misurata) e intensità al sito I_s (MCS).



Figura- 3.1: Evidenziato in rosso il territorio appartenente all'Unione di Comuni della Valconca al confine meridionale della Provincia di Rimini (RN) e con la repubblica di San Marino, oggetto del presente studio di MS.

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

Tabella 3.1 – Storia sismica del Comune di **GEMMANO** (estratta dal DBMI15).

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7-8	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5,59
7	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5,66
7	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
3	1953 12 14 07 11 06.00	Appennino forlivese	48	5-6	4,7
4-5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
5-6	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
3	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
3	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78
4	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4,21

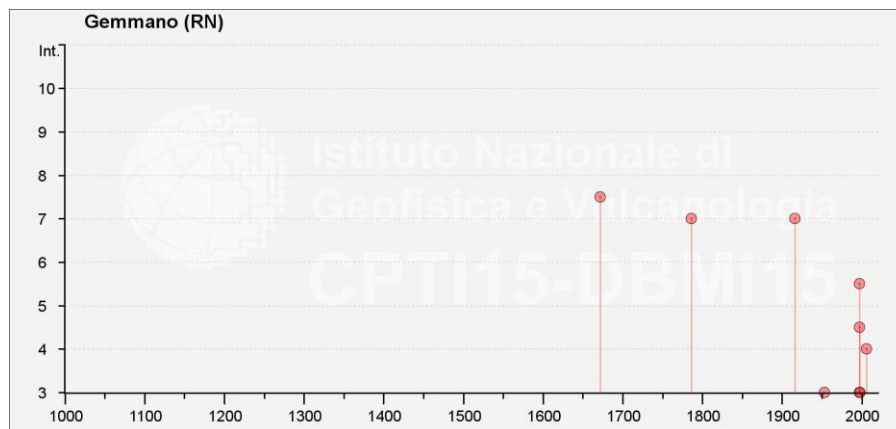
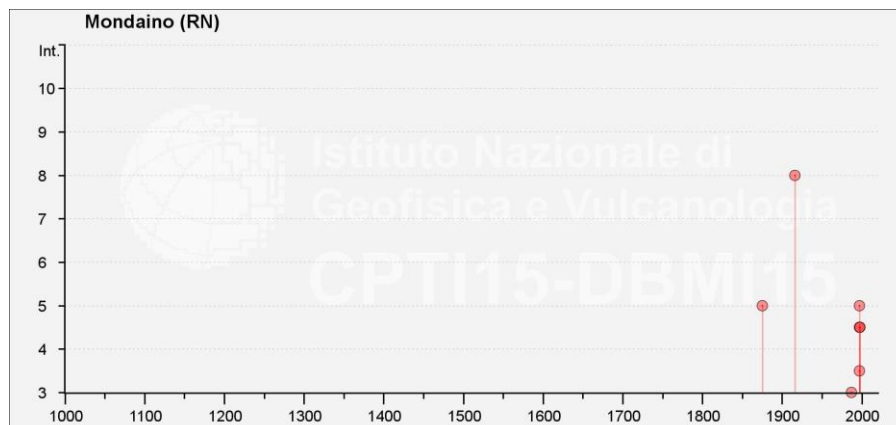


Tabella 3.2 – Storia sismica del Comune di **MONDAINO** (estratta dal DBMI15).

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5,74
F	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5,26
8	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
3	1987 07 05 13 12 37.46	Montefeltro	90	6	4,44
NF	1993 01 17 10 51 23.39	Alta Valtiberina	76	5	4,26
4-5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
3-4	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
4-5	1998 04 03 07 26 36.97	Appennino umbro-marchigiano	14		5,1

*N.F (not felt-non avvertito)



Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

Tabella 3.3 – Storia sismica del Comune di **MONTEFIORE CONCA** (estratta dal DBMI15).

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5,66
7	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
NF	1993 01 17 10 51 23.39	Alta Valtiberina	76	5	4,26
NF	1993 06 05 19 16 17.02	Valle del Topino	326	6	4,72
2	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
4-5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
4-5	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
4-5	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78
NF	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4,67
NF	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4,82
4-5	2000 08 01 02 34 31.00	Montefeltro	84	5-6	4,27
3	2001 11 26 00 56 55.46	Casentino	211	5-6	4,63
2	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4,18
NF	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4,29
3-4	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4,21

*N.F (not felt-non avvertito)

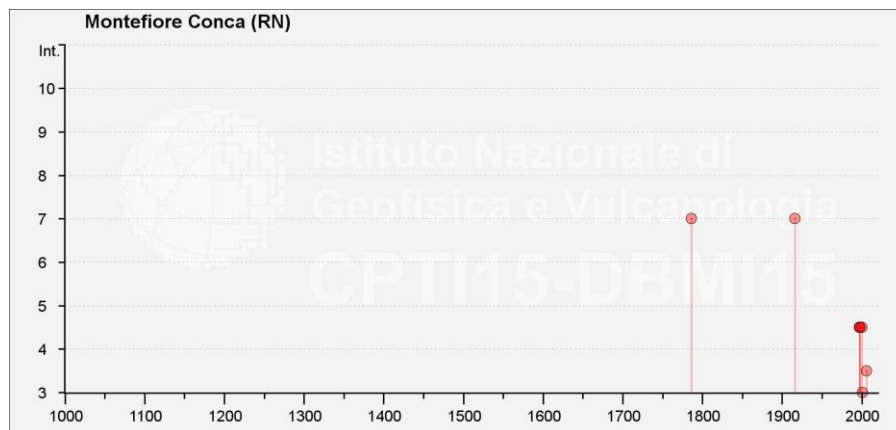


Tabella 3.4 – Storia sismica del Comune di **MONTEGRIDOLFO** (estratta dal DBMI15).

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5,66
6	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
3	1987 07 05 13 12 37.46	Montefeltro	90	6	4,44
NF	1993 06 05 19 16 17.02	Valle del Topino	326	6	4,72
4-5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
4-5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
4-5	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
2	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78
NF	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4,18
NF	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4,29
4	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4,21

*N.F (not felt-non avvertito)

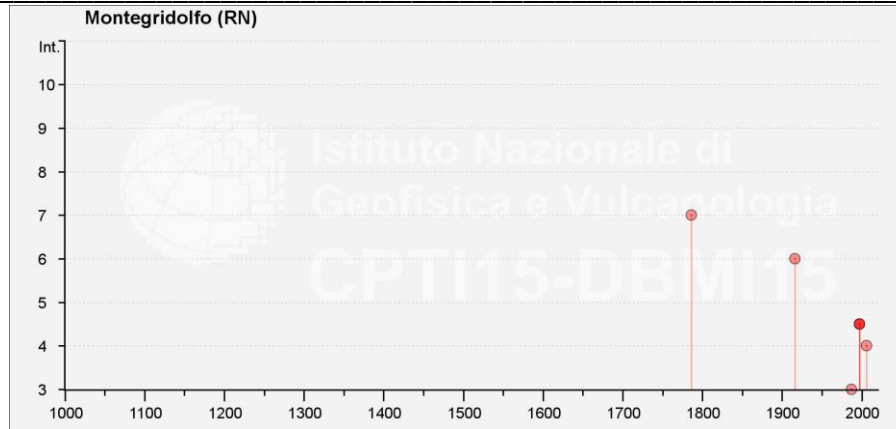
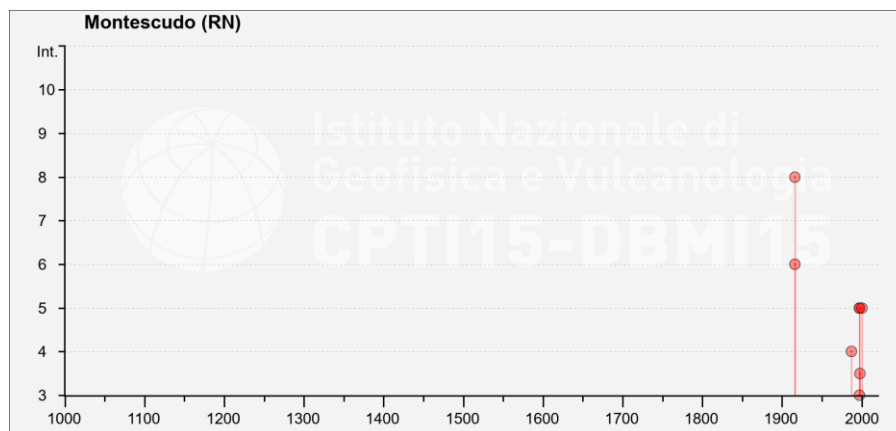


Tabella 3.5a – Storia sismica della Frazione di **MONTESCUDO** (estratta dal DBMI15).

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82
8	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5.82
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4.43
4	1987 07 05 13 12 37.46	Montefeltro	90	6	4.44
NF	1993 01 17 10 51 23.39	Alta Valtiberina	76	5	4.26
5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
3	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5.62
3-4	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
2-3	1999 01 25 22 45 58.08	Appennino forlivese	97	5	4.36
NF	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4.67
NF	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4.82
5	2000 08 01 02 34 31.00	Montefeltro	84	5-6	4.27
2	2001 11 26 00 56 55.46	Casentino	211	5-6	4.63
NF	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4.18
NF	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4.29
NF	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4.21



Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

Tabella 3.5b – Storia sismica della Frazione di **MONTECOLOMBO** (estratta dal DBMI15).

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
8	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5.59
7	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5.66
7	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5.82
NF	1962 08 30 06 27 07.00	Montefeltro	23	6-7	4.76
5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4-5	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
3	1999 01 25 22 45 58.08	Appennino forlivese	97	5	4.36
5	2000 08 01 02 34 31.00	Montefeltro	84	5-6	4.27
NF	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4.18
NF	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4.29
2	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4.21

*N.F (not felt-non avvertito)

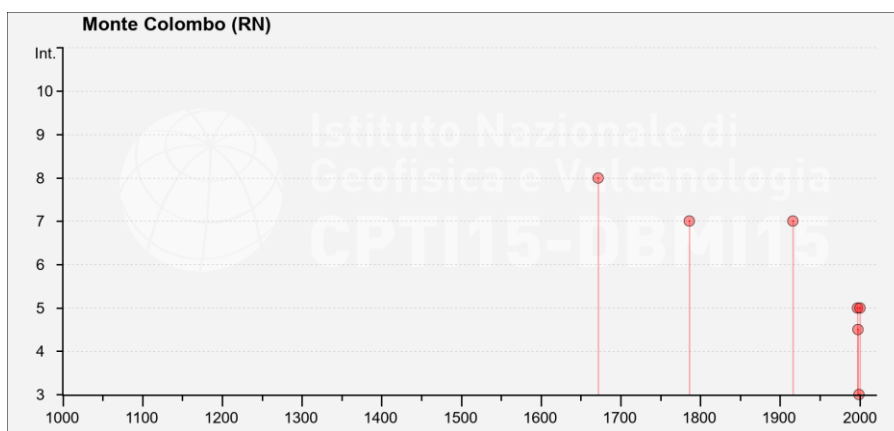


Tabella 3.6 – Storia sismica del Comune di **MORCIANO DI ROMAGNA** (estratta dal DBMI15).

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5,66
5	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5,26
8	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
5	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5,83
NF	1969 01 10 16 17 32.00	Pianura Ravennate	22	5	4,38
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
4	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
4-5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
3-4	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
4-5	1998 03 26 16 26 17.03	Appennino umbro-marchigiano	409		5,26
3	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78
NF	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4,67
2	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4,82
4-5	2000 08 01 02 34 31.00	Montefeltro	84	5-6	4,27
3-4	2001 11 26 00 56 55.46	Casentino	211	5-6	4,63
NF	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4,18
NF	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4,29
2-3	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4,21

*N.F (not felt-non avvertito)

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

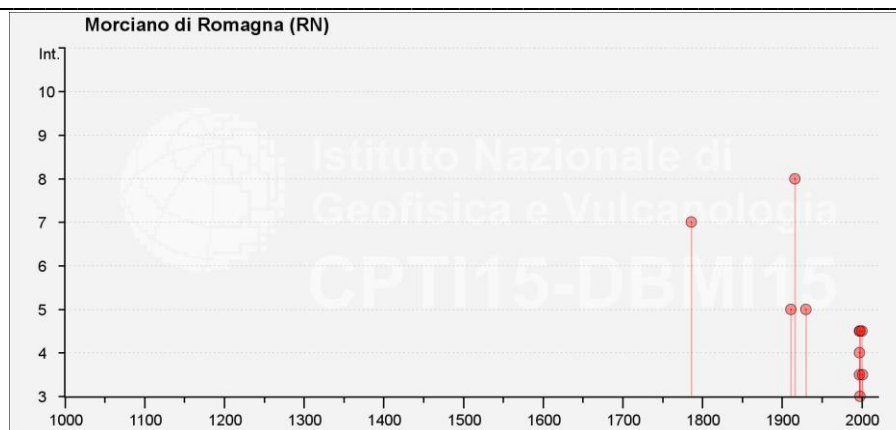


Tabella 3.7 – Storia sismica del Comune di **SALUDECIO** (estratta dal DBMI15).

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5.66
NF	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5.1
NF	1906 02 05 16 34	Valnerina	55	5	4.41
NF	1907 01 23 00 25	Adriatico centrale	93	5	4.75
NF	1908 03 17 03 59	Marche meridionali	54	5-6	4.61
NF	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5.34
NF	1910 12 26 16 30	Monti della Laga	50	5-6	4.56
4	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5.26
NF	1911 09 13 22 29 02.00	Chianti	115	7	5.08
5	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82
6	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5.82
3	1917 04 26 09 35 59.00	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
5	1924 01 02 08 55 13.00	Senigallia	76	7-8	5.48
NF	1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10	6.67
NF	1952 12 02 06 13 22.00	Appennino forlivese	53	5	4.42
3	1987 07 05 13 12 37.46	Montefeltro	90	6	4.44
NF	1993 01 17 10 51 23.39	Alta Valtiberina	76	5	4.26
NF	1993 06 05 19 16 17.02	Valle del Topino	326	6	4.72
4	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
NF	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5.62
4	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
NF	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4.82
4	2000 08 01 02 34 31.00	Montefeltro	84	5-6	4.27
NF	2001 11 26 00 56 55.46	Casentino	211	5-6	4.63
NF	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4.18
NF	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4.29
NF	2006 04 10 19 03 36.67	Maceratese	211	5	4.06
NF	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4.21

*N.F (not felt-non avvertito)

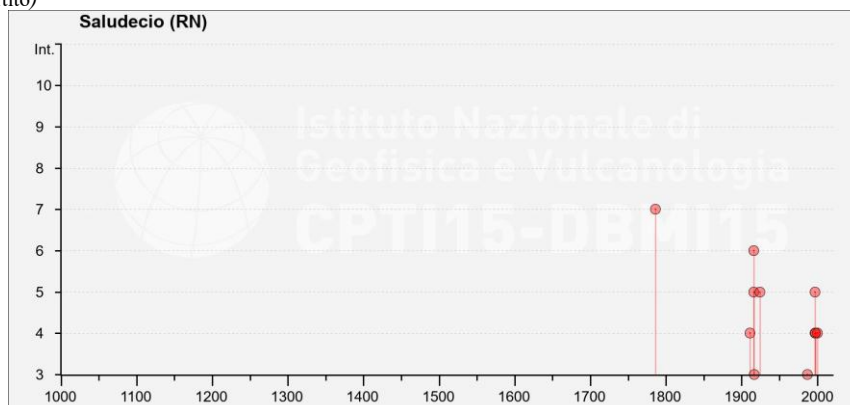
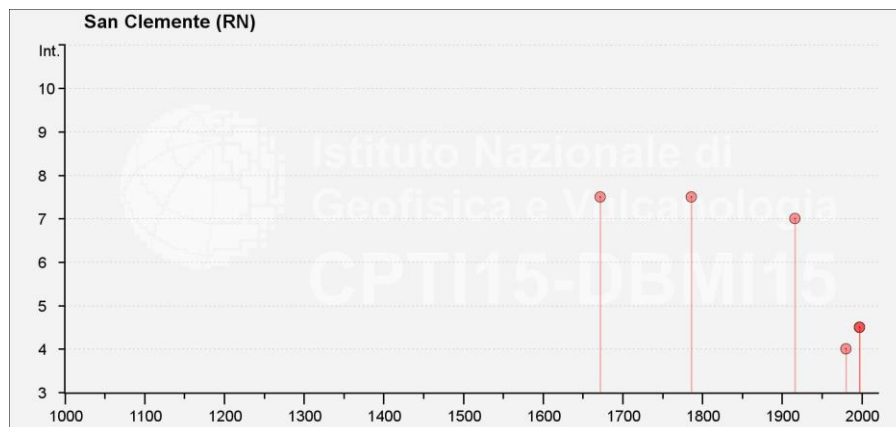


Tabella 3.8 – Storia sismica del Comune di **SAN CLEMENTE** (estratta dal DBMI15).

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7-8	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5,59
7-8	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5,66
F	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5,26
7	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
2	1953 12 14 07 11 06.00	Appennino forlivese	48	5-6	4,7
4	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6,81
2-3	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
4-5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
4-5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
NF	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4,67
NF	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4,82
NF	2000 08 01 02 34 31.00	Montefeltro	84	5-6	4,27
NF	2001 11 26 00 56 55.46	Casentino	211	5-6	4,63
NF	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4,21

*N.F (not felt-non avvertito)

*F. (felt-avvertito)



L'esame della storia sismica indica quali eventi di maggior rilevanza: il terremoto “Riminese” del 1672, 1786 e del 1916. Tali sismi hanno generato il massimo risentimento e danno ($VII \leq I_s \leq VIII$ MCS) in particolar modo quello del Riminese del 1672; l'ultimo evento, in termini temporali, di maggior risentimento significativo è stato quello del Riminese 1916, di cui in fig. 3.2 a) e b) viene riproposto lo stralcio della carta dei risentimenti macrosismici INGV rispettivamente per gli eventi principali del 17 maggio e 16 agosto 1916. Inoltre in fig. 3.3 si propongono le carte delle isosisme ricostruite da INGV per i maggiori terremoti storici della Romagna.

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

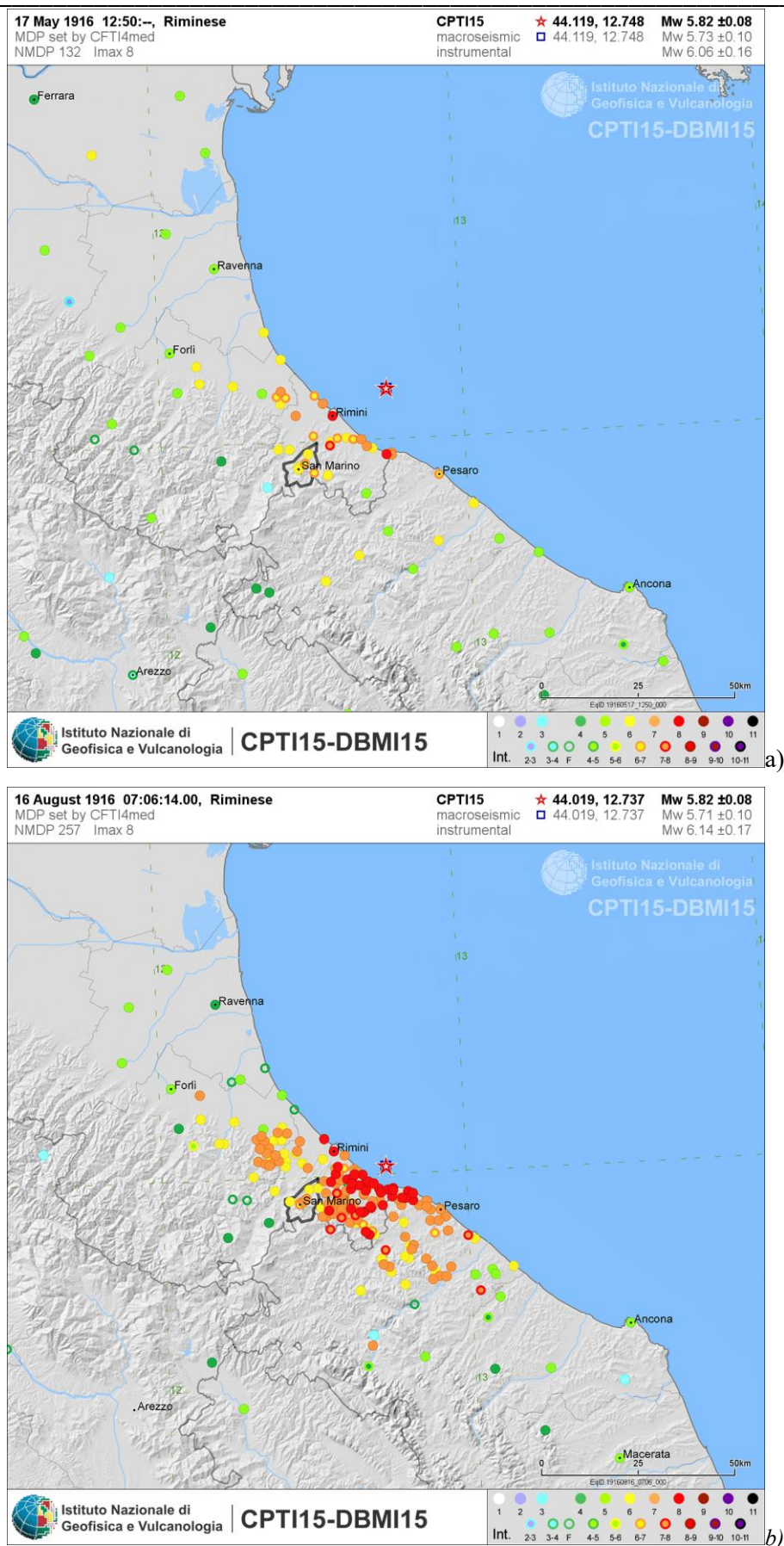
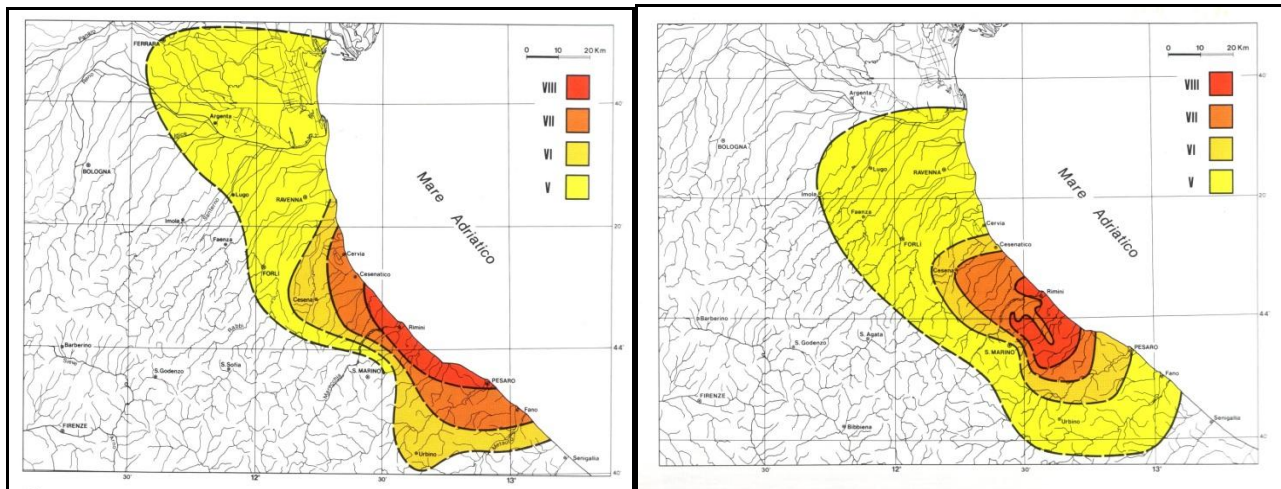
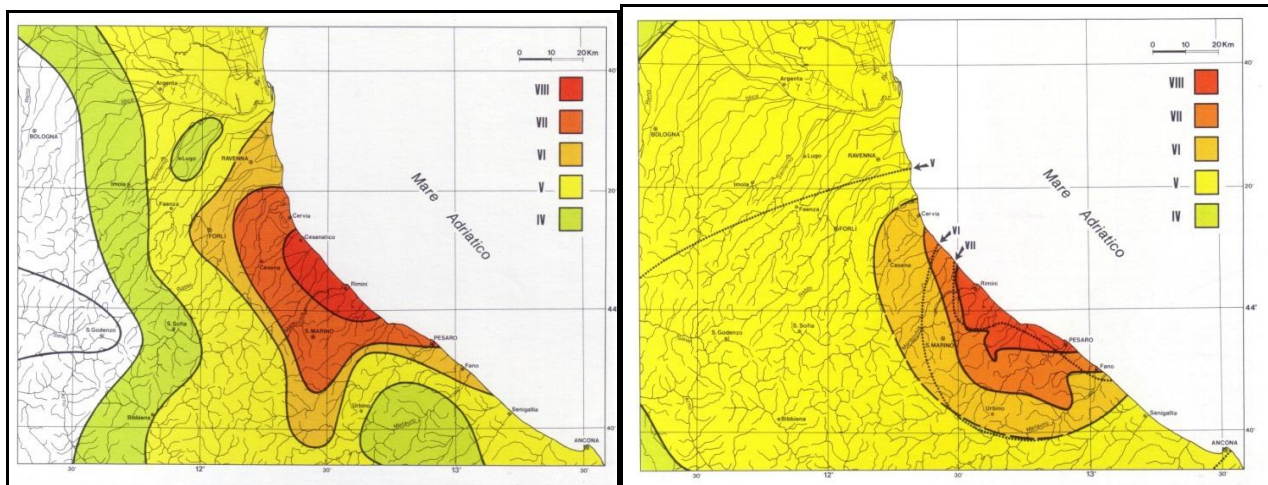


Figura- 3.2: Carta del risentimento macrosismico – terremoto Riminese eventi maggio/agosto 1916 - DBMI15 (a e b)



Terremoto del 14 aprile 1672

Terremoto del 25 dicembre 1786



Terremoto del 17 marzo 1875

Terremoto del 17 maggio – 16 agosto 1916

Figura - 3.3: Carte delle isosisme in cui le aree colorate dal rosso al verde corrispondono a parti di territorio colpite da effetti di severità decrescente. (DISS3/INGV).

In base alla disposizione degli epicentri, nonché da una verifica sul database DISS 3.3.0 (Database of Individual Seismogenic Sources) realizzato dall'INGV, è possibile risalire alle aree sismogenetiche che hanno contribuito alla sismicità storica della zona in studio ed alla pericolosità sismica dell'area (vedi fig. 3.4); in tal caso si tratta di sistemi di faglia appenninici e costieri prevalentemente di natura compressiva.

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN) Relazione Illustrativa

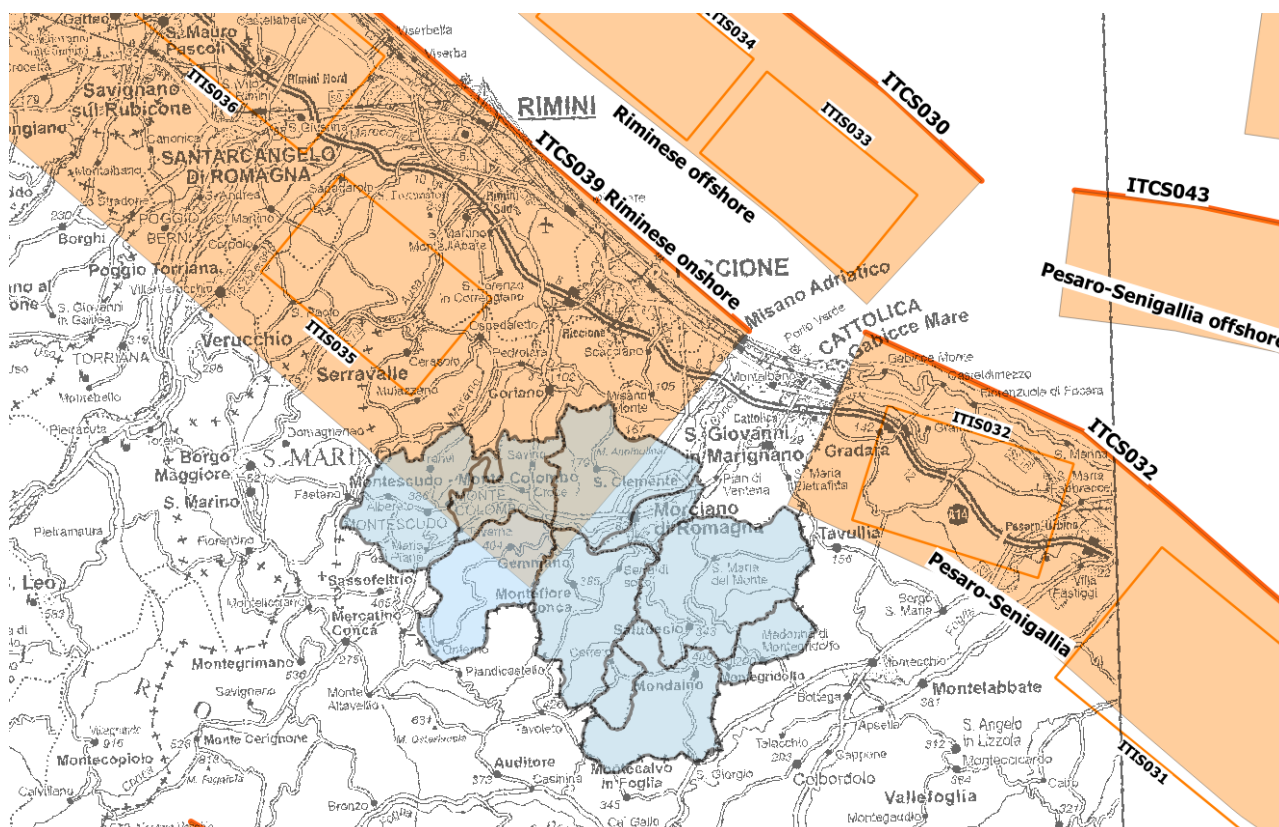
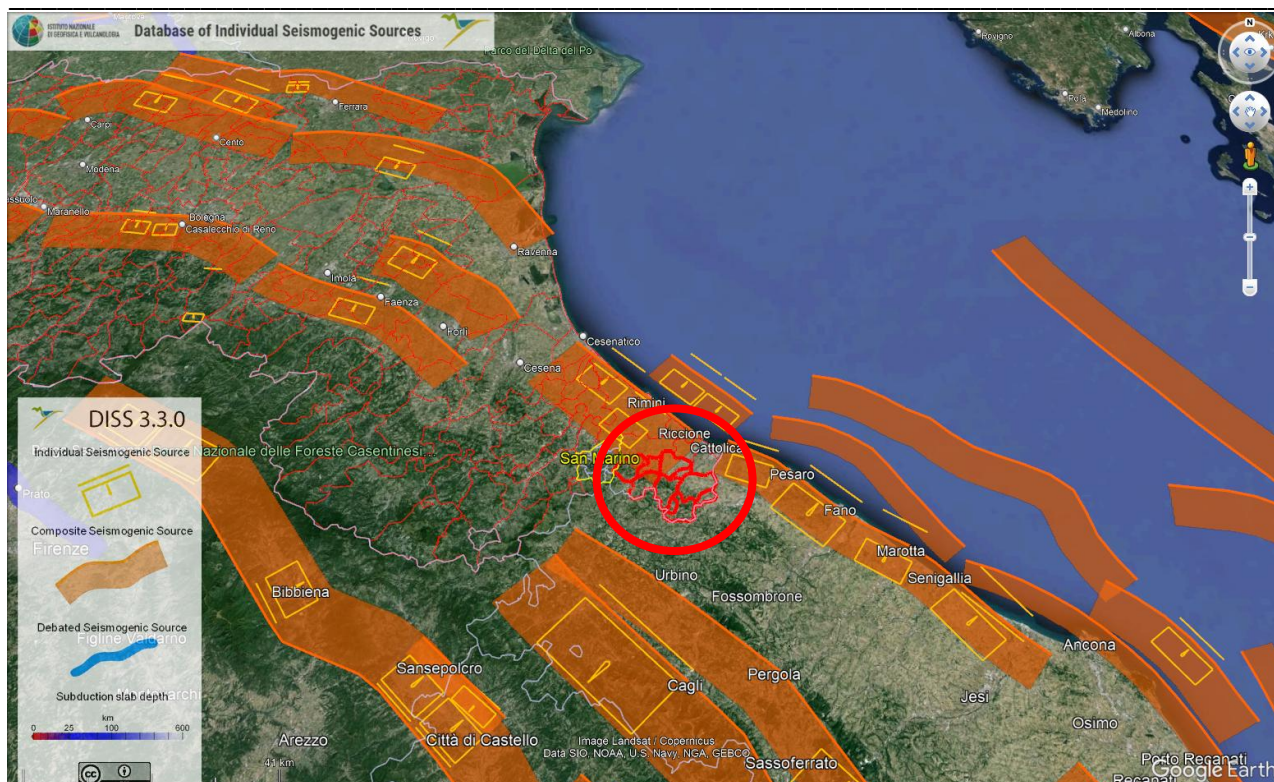


Figura – 3.4: Sorgenti sismogenetiche (Id-Nome-Max Magnitudo) individuate dal catalogo DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Come riportato da “La sismicità della zona costiera adriatica nord-marchigiana di Stefano Mazzoli e Chiara Macchiavelli” si trae che studi effettuati in tempi recenti da gruppi di ricerca (Borraccini et alii, 2002, 2005;

Di Bucci et alii, 2003; Santini et alii, 2011; Macchiavelli et alii, 2012), la sismicità della zona costiera delle Marche settentrionali mostra un comportamento complesso, caratterizzato da una notevole variabilità delle orientazioni degli assi di massima e minima compressione (Fig. 3.5)

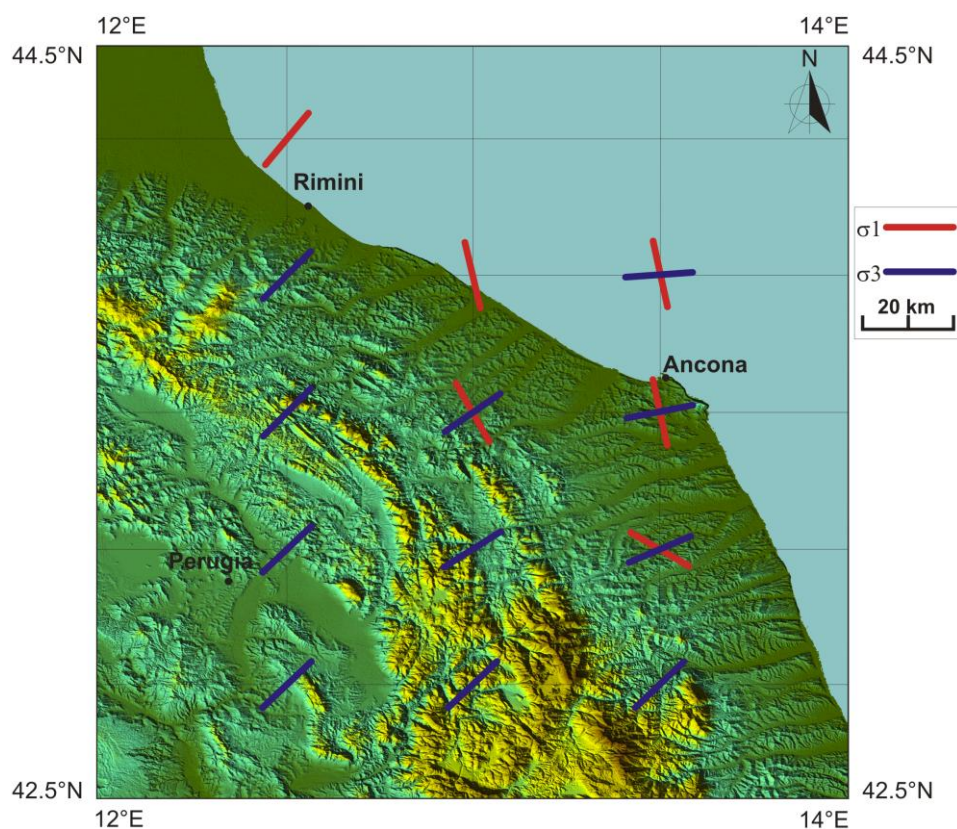


Figura 3.5 – Proiezione in mappa degli assi di massima compressione (σ_1) e minima compressione (σ_3) per l'area umbro-marchigiano-romagnola (da Macchiavelli et alii, 2012).

Nonostante un notevole dibattito scientifico esista circa la cinematica delle faglie attive ed campo di stress attualmente dominante nell'area d'interesse (Frepoli & Amato, 1997, 2000; Montone et alii, 1999, 2004, 2012; Boncio et alii, 2000; Di Bucci & Mazzoli, 2002; Vannoli et alii, 2004; Chiarabba et alii, 2005; Pondrelli et alii, 2006; Basili et al., 2007; Boncio & Bracone, 2009; Piccinini et alii, 2009; Pierdominici et alii, 2012; Macchiavelli et alii, 2012), tutti gli Autori concordano sul fatto che le faglie attive principali che controllano la sismicità dell'area siano rappresentate da strutture con direzione circa parallela alla costa e immersione dominante verso sud-ovest (costituite, almeno originalmente, da faglie inverse).

Inoltre dai diagrammi di disaggregazione per magnitudo (M) e distanza (R) in Figura 3.6 (a-i) (T_r 475 anni), desunti dal Progetto DPC-INGV-S1 (2006) e Iervolino et Al. 2011, si osserva come i maggiori contributi alla pericolosità dell'area siano legati al sistema di faglie costiere adriatiche (onshore e offshore) entro i 20 Km di distanza (valore medio $R < 10$ km). In maniera minore sembrano intervenire, quindi, i grandi sistemi appenninici conosciuti in letteratura come Etrurian Fault System (EFS) e Umbria Fault System.

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

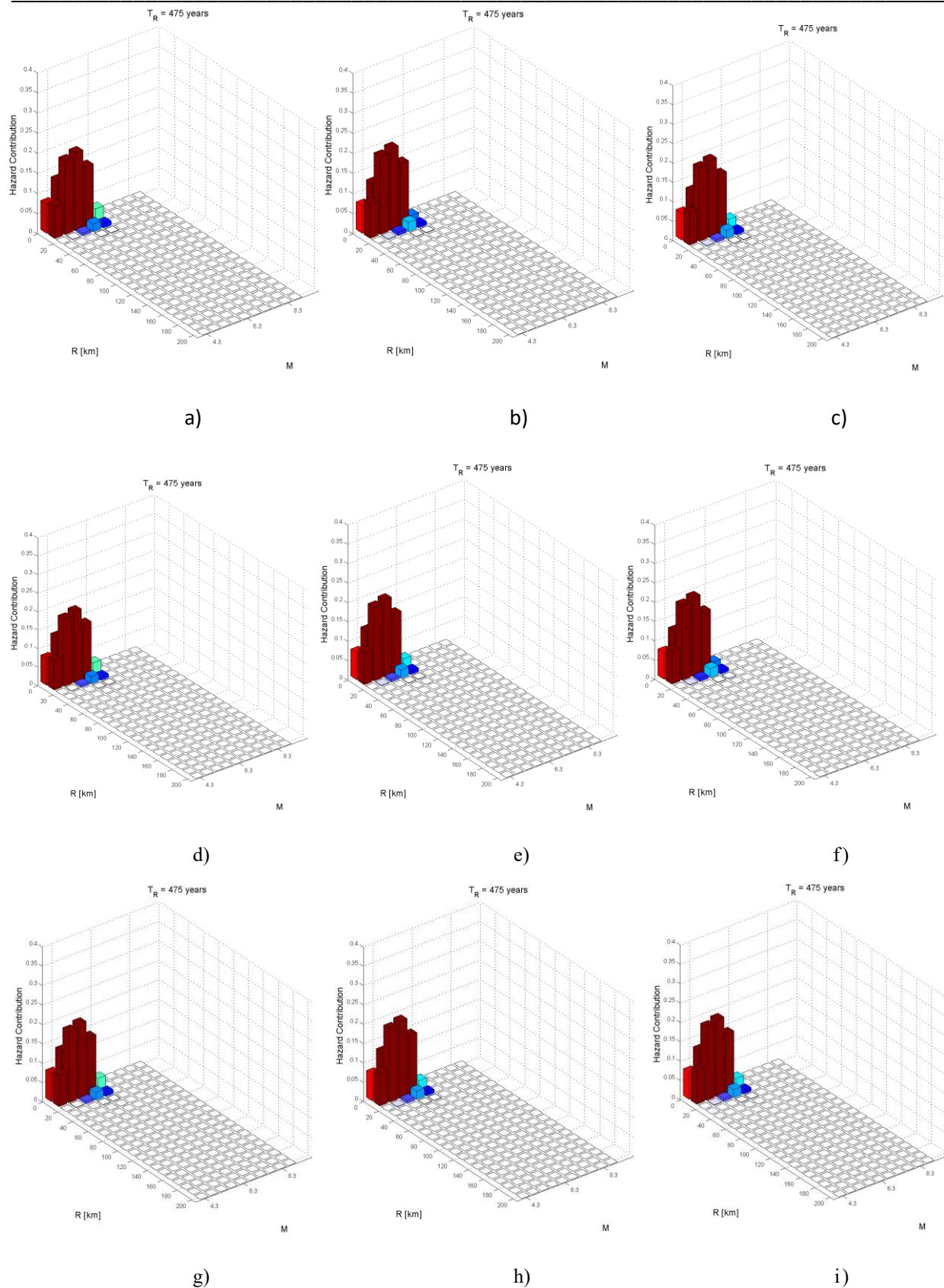
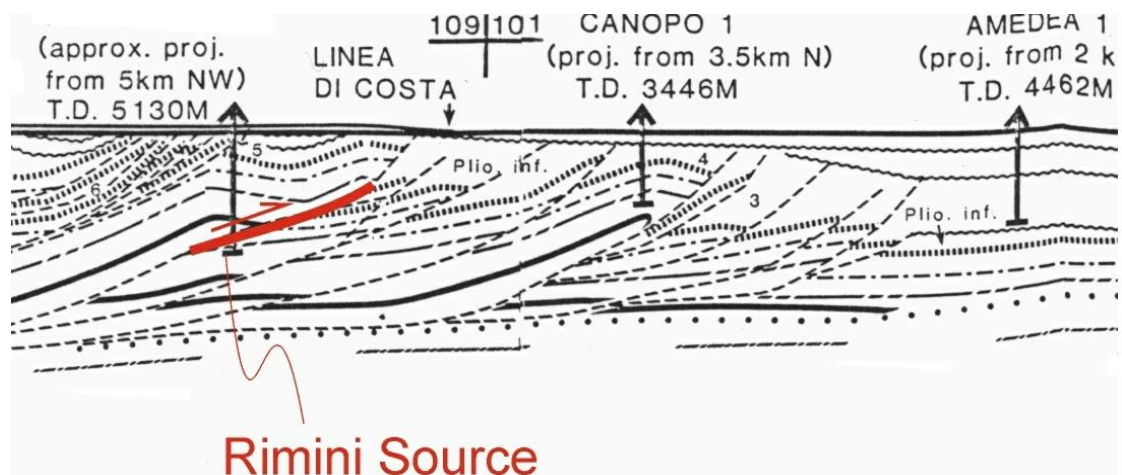


Figura 3.6–Diagramma di disaggregazione riferito all'area di Gemmano (a), San Clemente (b), Mondaino (c), Montefiore C. (d), Montegridolfo (e), Morciano di R. (f), Montescudo (g), Montecolombo (h), Saludecio (i).

Nelle tabelle 3.9, 3.10 e 3.11 vengono indicate le caratteristiche generali dei principali sistemi sismogenetici composti **ITCS030-032-039** sulla base di evidenze empiriche e dati di letteratura da catalogo DISS 3.2:

Tabella 3.9 Principali parametri della sorgente sismogenetica ITCS039 (da DISS 3.2).

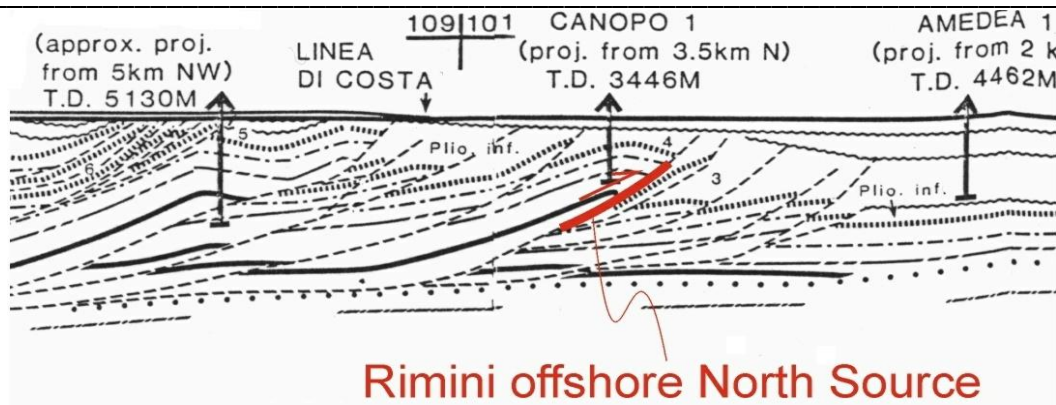
ITCS039 – RIMINESE ONSHORE	
Min Depth (km)	2
Max Depth (km)	10
Strike (deg)	120 - 140
Dip (deg)	25 - 35
Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	1.0 - 1.07
Max Magnitude (Mw)	5.9



Sorgente sismogenetica ITCS039 - Riminese "on-shore" proiettata su Sezione Amedea-M.te.Amiata di Bally et al. [1986]. Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006

Tabella 3.10 Principali parametri della sorgente sismogenetica ITCS030 (da DISS 3.2).

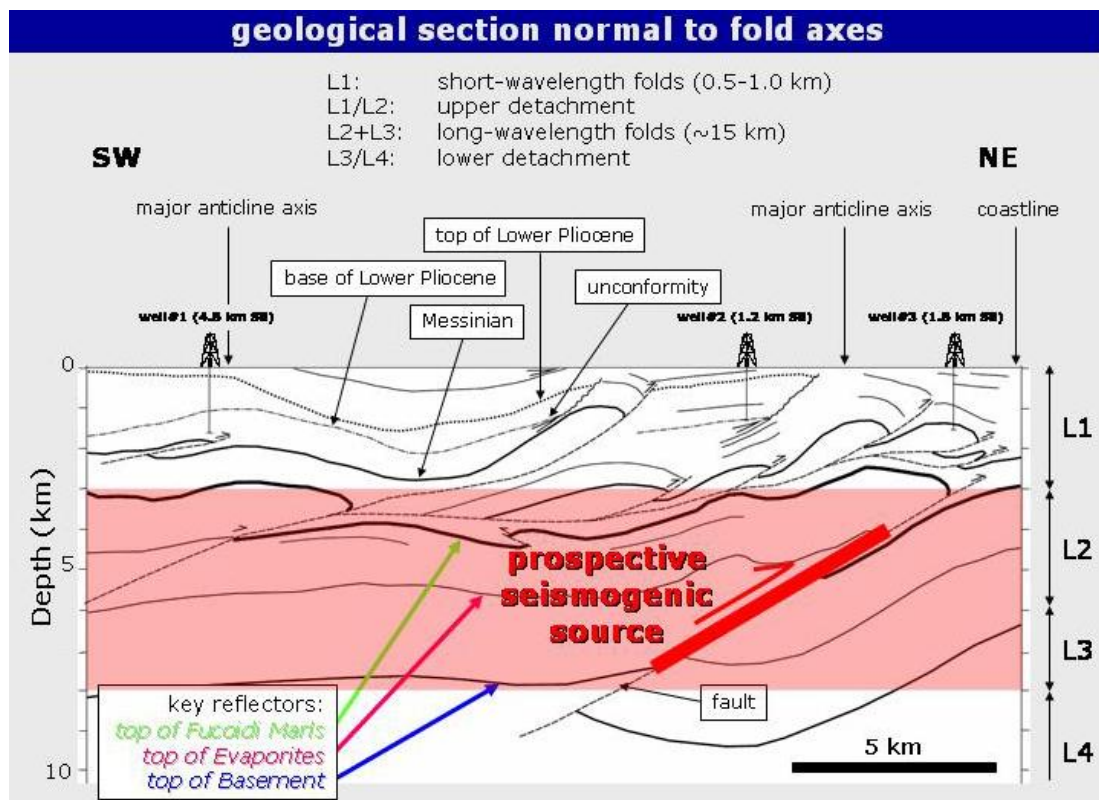
ITCS030 – RIMINESE OFFSHORE SOUTH	
Min Depth (km)	3
Max Depth (km)	7
Strike (deg)	120 - 140
Dip (deg)	25 - 35
Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	0.2 - 0.52
Max Magnitude (Mw)	6.1



Sorgente sismogenetica ITC030 - Riminese "off-shore" proiettata su Sezione Amedea-M.te.Amiata di Bally et al. [1986]. Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006.

Tabella 3.11 Principali parametri della sorgente sismogenetica ITCS032 (da DISS 3.2).

ITCS032 – PESARO-SENIGALLIA	
Min Depth (km)	3
Max Depth (km)	7.5
Strike (deg)	105 - 145
Dip (deg)	25 - 35
Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	0.2 - 0.52
Max Magnitude (Mw)	6.1



Hypothetical location of the Senigallia earthquake source based on a seismic reflection profile. The correlative fault is a main thrust which generates long-wavelength folds, (From Basili et al. [2004]).

Infine per quanto attiene la stima dei valori di Mw attesi nell'area può essere utilizzato lo studio ZS9 del 2004 ("Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica" dell'INGV), il quale è una rielaborazione della precedente sismozonazione ZS4 (Meletti et al, 2000), ripensata in base sia a nuove valutazioni del potenziale sismogenetico sia rispetto a nuove analisi eseguite sui terremoti storici e considerazioni statistiche.

La zona di studio ricade a cavallo delle zona "Rimini-Ancona" definita come ZS n. 917 (ad est) e n. 918 denominata "Medio-Marchigiana/Abruzzese" (ad ovest), come evidenziato in figura 3.7; tuttavia parte prevalente dei capoluoghi e delle aree oggetto di approfondimento risulta interessata dalla zona 917.

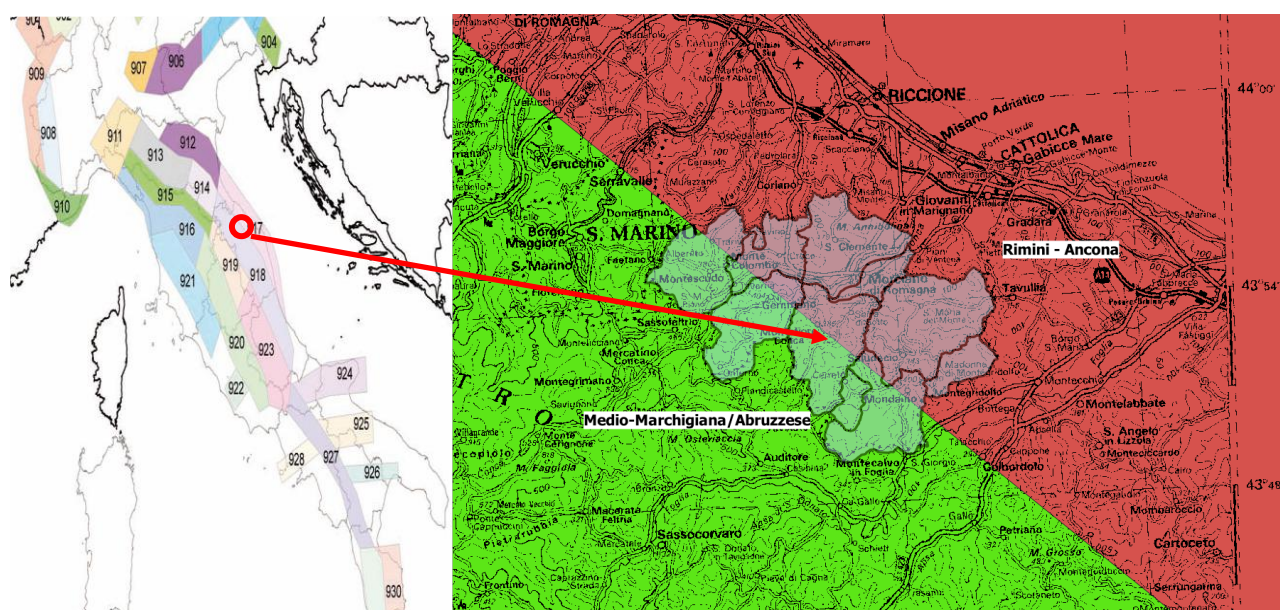


Figura 3.7–Dettaglio della Zonazione Sismogenetica ZS9 ("Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica" dell'INGV, 2004). Evidenziata in rosso la ZS n. 917 "Rimini-Ancona" ed in verde la ZS n. 918 "Medio-Marchigiana/Abruzzese".

Le caratteristiche associate a tali zone prevedono:

- Un meccanismo focale prevalente.
- Una Magnitudo Momento Massima "Osservata" (Mw-max1) definita sia dalle analisi legate agli eventi storici sia su basi geologiche legate al Database of Individual Seismogenic Sources (DISS).
- Una Magnitudo Momento Massima "Cautelativa" (Mw-max2) definita aggiungendo un margine di sicurezza rispetto alla Mw-max1 in relazione alle conoscenze strutturali, geofisiche e sismologiche.

Zone	917	918
Meccanismo focale	inverso	indeterminato
Mw-Max	6.14	6.37

In figura 3.8 invece viene riportato un ulteriore dettaglio dell'area. Oltre alle zone sismogenetiche individuate dal DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia, in quest'altra figura vengono visualizzati gli andamenti delle principali faglie attive e capaci tratte dal catalogo *ITHACA* (ITHACA Working Group (2019). *ITHACA (ITaly HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>*).

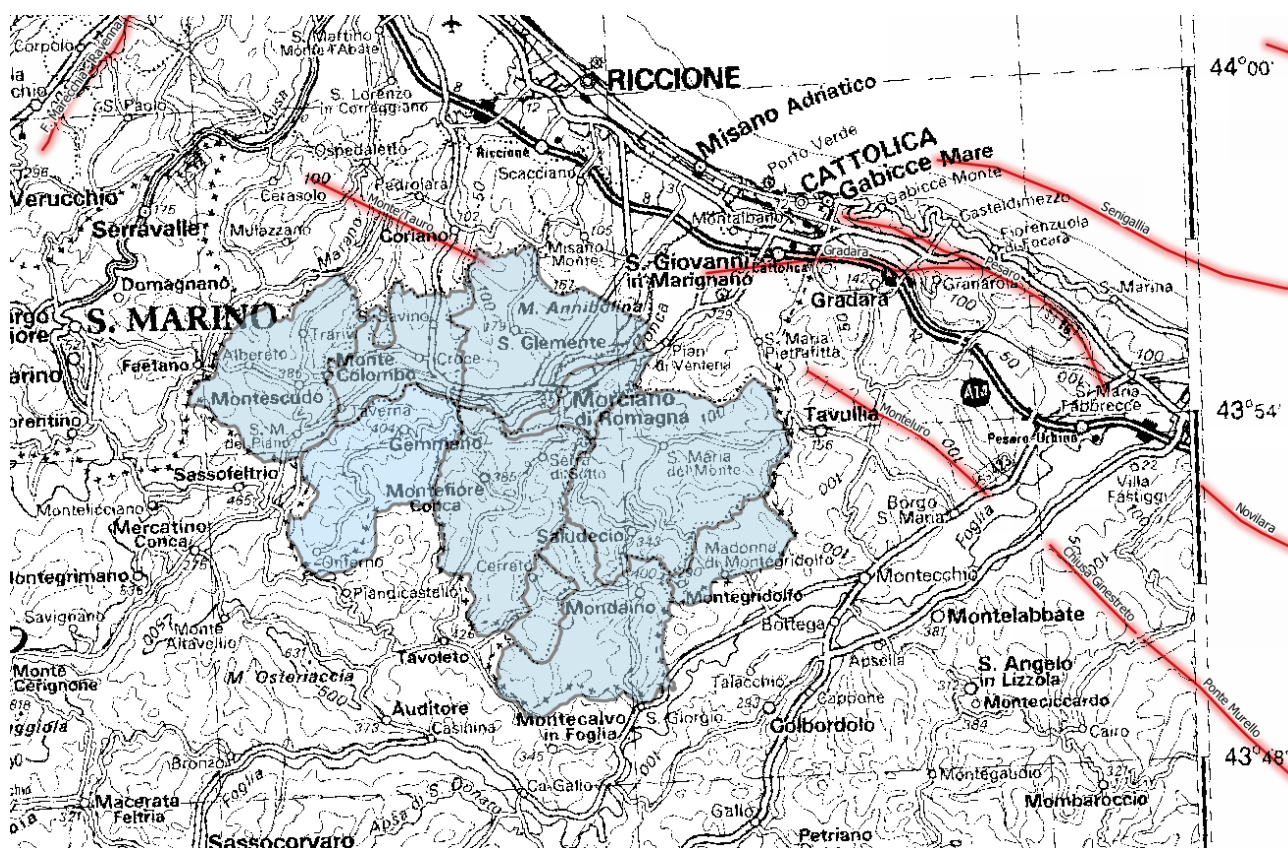


Figura 3.8 – Dettaglio catalogo ITHACA delle faglie attive e capaci.

Da queste si evince come entro la zona in studio risulti interferire, per un piccolissimo tratto marginale del comune di S. Clemente, l'estremità di una faglia inversa di direzione NW-SE denominata “Monte Tauro” (Fault code 43806); tuttavia i dati disponibili nel catalogo ITHACA riportano una scarsa conoscenza di tale struttura, così come non ci sono evidenze superficiali né elementi noti su recenti attività, per cui la qualità delle informazioni è ritenuta bassa.

In conseguenza di ciò si può affermare che nel territorio oggetto di studio non vi siano situazioni accertate riconducibili a “zone di faglia attiva e capace” in grado di condizionare la pericolosità sismica locale e che, pertanto, possano essere segnalate negli studi di Microzonazione Sismica, come previsto negli I.C.M.S. (gruppo di lavoro MS 2008), nella versione 1.0 a titolo “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci FAC”.

Per completare l'inquadramento sismico dell'area, in accordo con quanto descritto nell'Allegato A4 alla Delibera di G.R. 564/2021 della Regione Emilia-Romagna, per ciascuna zona significativa interna al Comune in studio è possibile, infine, calcolare lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) a partire da un moto di riferimento al bedrock (PGA0).

La definizione del moto di riferimento (PGA0 al bedrock) si basa sui valori di pericolosità sismica elaborati da INGV per il territorio nazionale, disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - "Sismica Microzonazione Sismica".

Il valore di arefg relativo a ciascun sito analizzato si ottiene interpolando i valori di arefg definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino. Tale valore corrisponde all'accelerazione di ancoraggio prevista al bedrock per lo spettro elastico normalizzato regionale e per cui:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato è rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%);
- i valori di arefg di ogni comune sono riferiti al 10% di probabilità di superamento in 50 anni;

In figura 3.9 viene illustrato uno stralcio di insieme della griglia di punti con i valori di PGA0 di riferimento sostanzialmente derivato dal progetto DPC-INGV-S1:

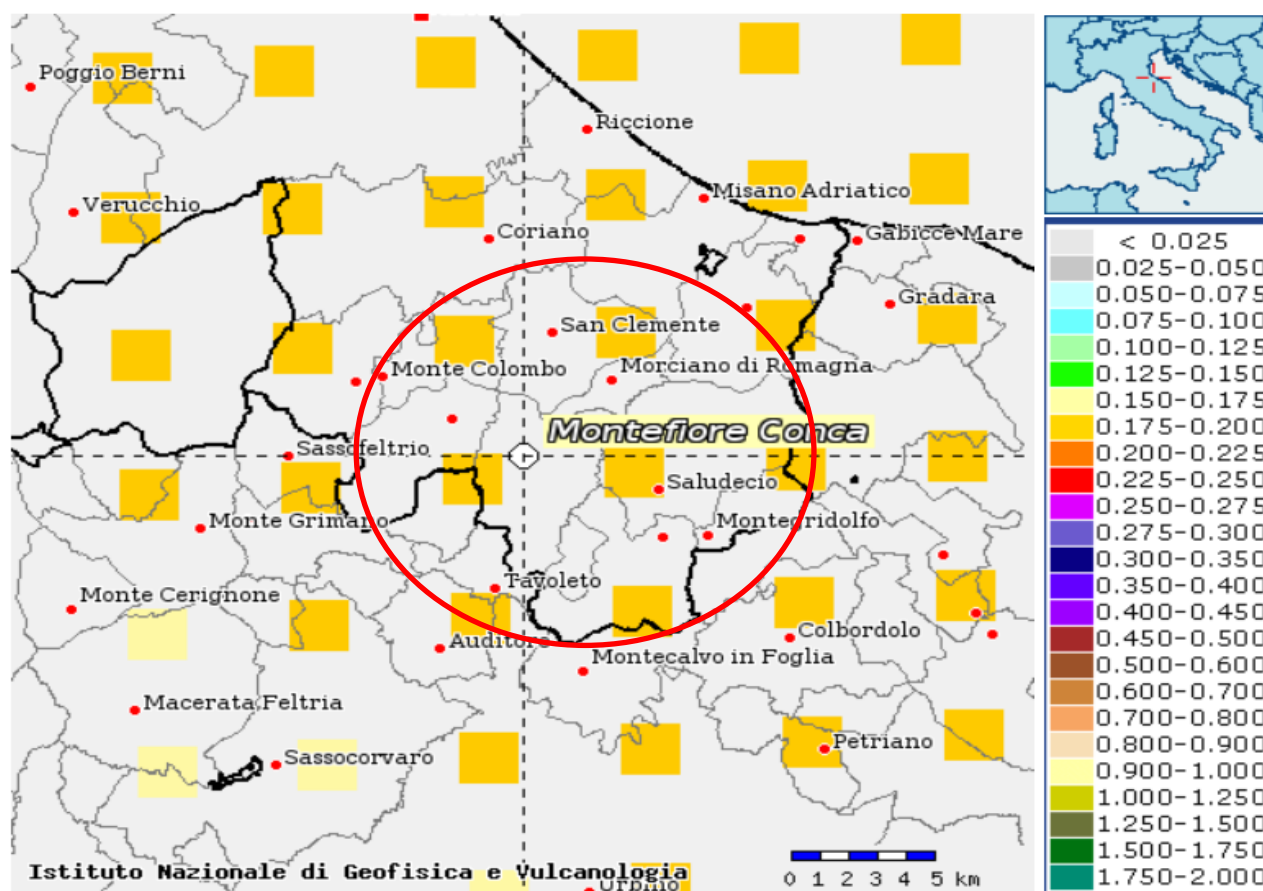


Figura 3.9 – Dettaglio griglia punti di analisi PGA0 attraverso disaggregazione, progetto DPC-INGV-S1 Web-Gis

4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

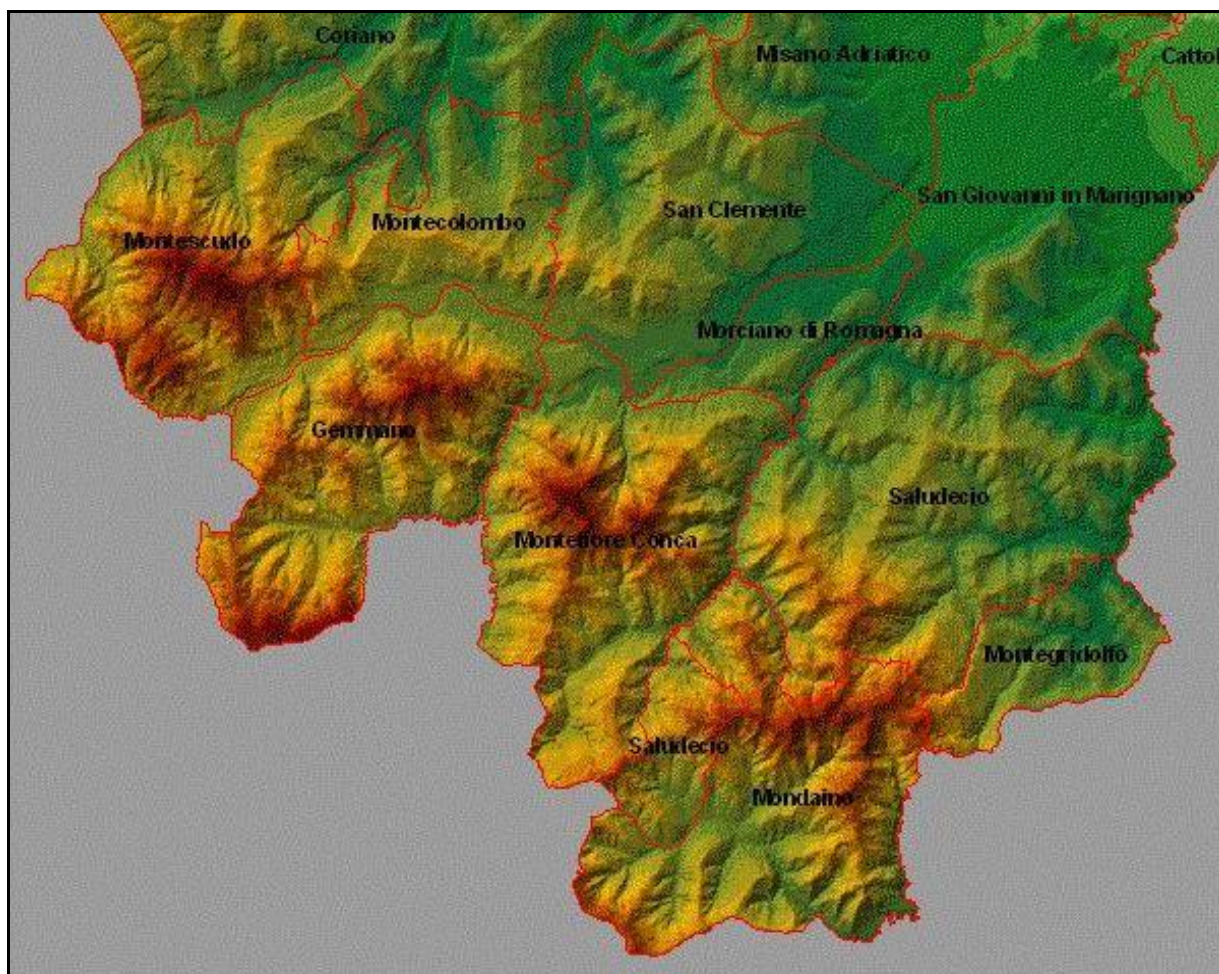
4.1. Cartografia di base

Al fine di realizzare un corretto inquadramento del sito di interesse, è stata reperita la seguente documentazione pregressa:

- Carta Geologica D'Italia Foglio 267 (San Marino) e 268 (Pesaro), scala 1:50.000 (Progetto Carg).
- Banca Dati della Carta Geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna.
- Quadro Conoscitivo PTCP2007 Rimini
- Piano Regolatore Generale e successive Varianti dei Comuni della Valconca.
- Microzonazione Sismica di I-II Livello – 2017/2020

4.2. Inquadramento geomorfologico

Il territorio del comune di Coriano è caratterizzato da una morfologia alquanto eterogenea che alterna aree pianeggianti intravallive a rilievi collinari, circoscritti rilievi rupestri ad aree calanchive.



Carta della morfologia del territorio dell'Unione della Valconca

Come si può osservare dalla carta sopra riportata, la parte nord orientale del territorio dell'Unione è caratterizzata principalmente da una morfologia dominata da modesti rilievi collinari (quota massima 340 m.) interclusi dal reticolo idrografico minore e dalle aree pianeggianti intravallive, specialmente quella maggiore del torrente Conca.

Questa morfologia collinare comprende il territorio dei comuni di Montescudo-Montecolombo, San Clemente, Morciano di Romagna e parte di Montegridolfo e Saludecio. In sponda idrografica sinistra del Conca, dalla località Montecolombo a San Clemente, si osserva una linea di crinale collinare che funge da spartiacque tra il bacino idrografico del Conca ed i bacini minori del torrente Marano e del rio Melo.

Nel settore sud occidentale, i territori dei comuni di Gemmano, Montescudo-Montecombo, Montefiore Conca, Mondaino e parte di Montegridolfo sono invece caratterizzati dalla presenza di un lineamento geologico-strutturale di terreni consistenti che hanno determinato la formazione di rilievi collinari maggiori come la Cima di Montescudo (474 m. s.l.m.), Monte Croce (551 m. s.l.m.), Monte Gardo (449,5 m. s.l.m.), Monte Auro (480 m. s.l.m.) e Monte Zaccarelli (421,3 m. s.l.m.).

Le quote massime e minime dei singoli territori comunali, espresse in metri sul livello del mare, sono riportate nella seguente tabella riassuntiva:

Comune	Altitudine Minima	Altitudine Massima	Escursione Altimetrica
<u>Gemmano</u>	107	551	444
<u>Mondaino</u>	81	421	340
<u>Montefiore Conca</u>	75	480	405
<u>Montegridolfo</u>	57	340	283
<u>Montescudo-Montecolombo</u>	48	464	416
<u>Morciano di Romagna</u>	40	130	90
<u>Saludecio</u>	31	381	350
<u>San Clemente</u>	35	232	197

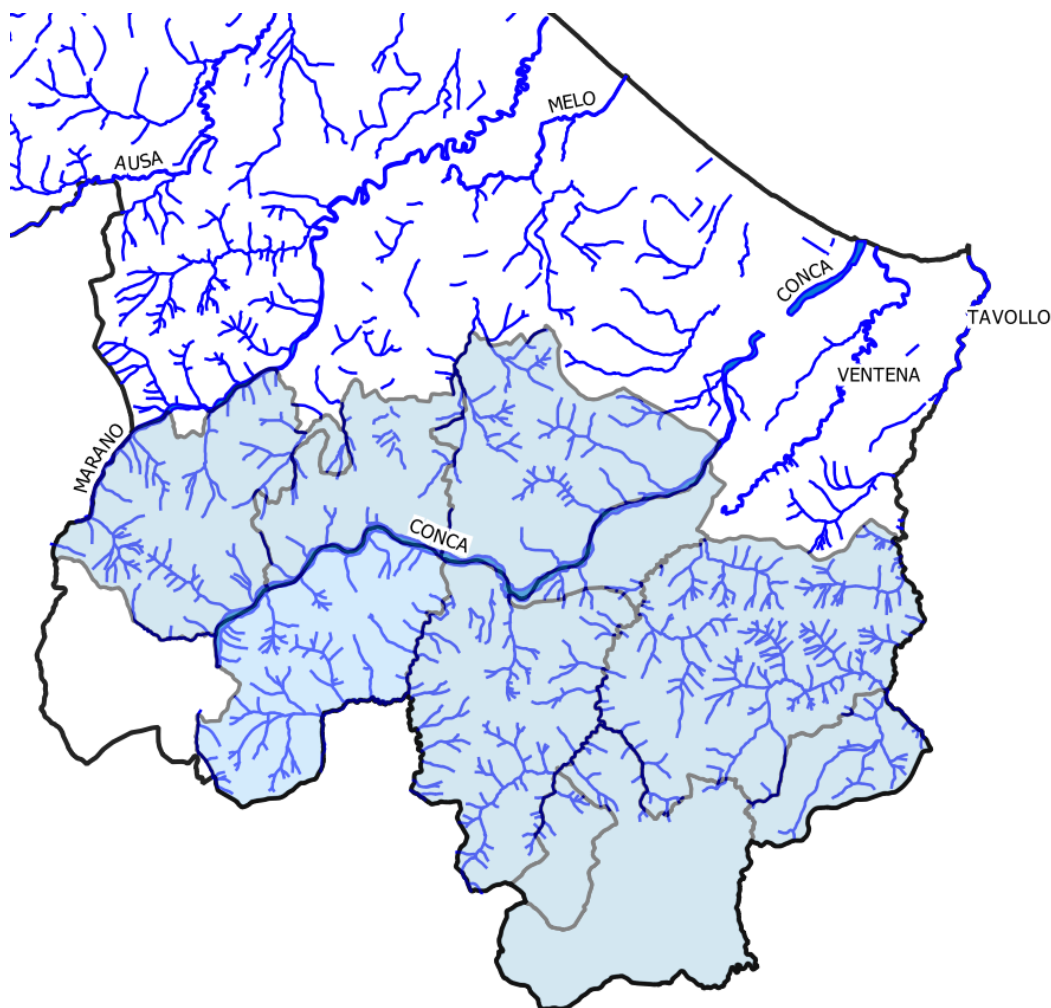
Questa catena di rilievi collinari ha un asse allineato secondo con direzione appenninica (SE-NW) ed è interrotto dai numerosi corsi d'acqua che solcano le aree intercollinari, come il torrente Conca, il Rio Ventena, il Ventena di Gemmano, il rio Salso, il torrente Tavollo, ed i numerosi fossi loro affluenti.

Nella parte occidentale del territorio dell'Unione si rileva infine la presenza di estese aree argillose, dominate da una morfologia calanchiva, che si riscontra particolarmente nelle località di Gesso di Montescudo, Marazzano e Onferno di Gemmano, Montespino di Mondaino.

L'unica zona pianeggiante del territorio è rappresentata dalla pianura alluvionale del Conca, che si estende nei comuni di Montescudo, Gemmano, Morciano di Romagna e San Clemente. In questi ultimi due comuni sono presenti le maggiori estensioni dei terrazzi alluvionali sui quali si sono sviluppate le espansioni urbanistiche, specialmente del comparto artigianale e produttivo.

Dal punto di vista idrografico, nel territorio dell'Unione della Valconca si possono distinguere cinque corpi idrici principali con foce diretta in Adriatico: Marano, Melo, Conca, Ventena e Tavollo. Si evidenziano inoltre piccoli rii e fossi affluenti dei corsi d'acqua principali.

Lo schema generale del reticolo idrografico nel territorio dell'Unione della Valconca è riportato nella seguente carta di inquadramento generale.



Carta del reticolo idrografico principale dell'Unione Valconca

In linea generale, si tratta di corsi d'acqua a carattere torrentizio con forti magre estive e piene straripanti nei periodi autunno-invernali. Tale situazione di portate estreme è dovuta principalmente al regime pluviometrico (deflussi legati agli afflussi meteorici) ed alla presenza di terreni scarsamente permeabili (argille, marne, argille marnose).

La rete idrografica minore è caratterizzata da criticità connesse a problematiche assai dissimili a quelle relative alle aste principali: negli areali di pianura le situazioni di pericolosità sono infatti essenzialmente legate a difficoltà nello smaltimento delle acque piovane in occasione di eventi di pioggia particolarmente intensi, in relazione ai tombinamenti dei tratti urbani, mentre nel territorio montano-collinare si evidenziano criticità spesso connesse a fenomeni di sovralluvionamento o di erosione di sponda.

4.3 Inquadramento geologico-strutturale

L'appennino romagnolo è sinteticamente costituito da una catena principale e da una fascia marginale. La catena principale presenta uno stile tettonico ad ampie strutture (pieghe fagliate, accavallamenti, ecc) con dominante orientamento appenninico: la successione è continua dal Langhiano al Messiniano per oltre 3.000 mt di spessore e cioè dalla Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola con passaggio da una sedimentazione torbiditica ad una di ambiente lagunare a sedimentazione chimica e meccanica.

Di seguito si riporta uno schema tettonico dell'Appennino Settentrionale - Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Servizio Geologico, 2004) e una sezione trasversale regionale (Fantoni e Franciosi, 2009) (Figure 4.1 e 4.2)

A livello regionale l'area costiera e di fondovalle risulta delimitata a SO da due megacolate gravitative della Coltre della Val Marecchia: la prima della fine del Tortoniano presenta numerosi ed ingenti esotici derivanti dai complessi "tosco-emiliani"; la seconda, originatasi per smembramento della prima dopo il sollevamento del paleoappennino interno nel pliocene inferiore, segue la regressione deposizionale (depositi marini per lo più di fase regressiva in Val Marecchia dello spessore anche di 1.700 mt) della successione pliocenica deposta sull'alloctono. Ad essa succedono le ultime spinte e faglie ad orientamento appenninico trasversale che hanno variamente dislocato i contatti della colata sia con il paleoautoctono che con il mesoautoctono e neoautoctono. Segue il ciclo pliocenico medio - superiore marino anch'esso con fase regressiva dominante e spessori anch'essi notevoli. Si succede poi un successivo ciclo pleistocenico inferiore marino sul cui tetto poggiano i depositi continentali-litorali del ciclo pleistocenico inferiore medio.

Gli eventi orogenetici che hanno portato alla successione stratigrafica attuale sono riconducibili alle spinte tettoniche, avvenute secondo direzione SW-NE, di origine appenninica e che hanno determinato, verso la fine del Miocene l'innalzamento dei depositi pliocenici. La linea di costa era collocata abbastanza vicino al limite di spartiacque che corrispondeva alla linea di cerniera tra aree in sollevamento e aree subsidenti. Tale

linea era interrotta da faglie trasversali ad andamento antiappenninico (oggi ancora sismicamente attive) su cui si sono impostati i principali assi di erosione fluviale.

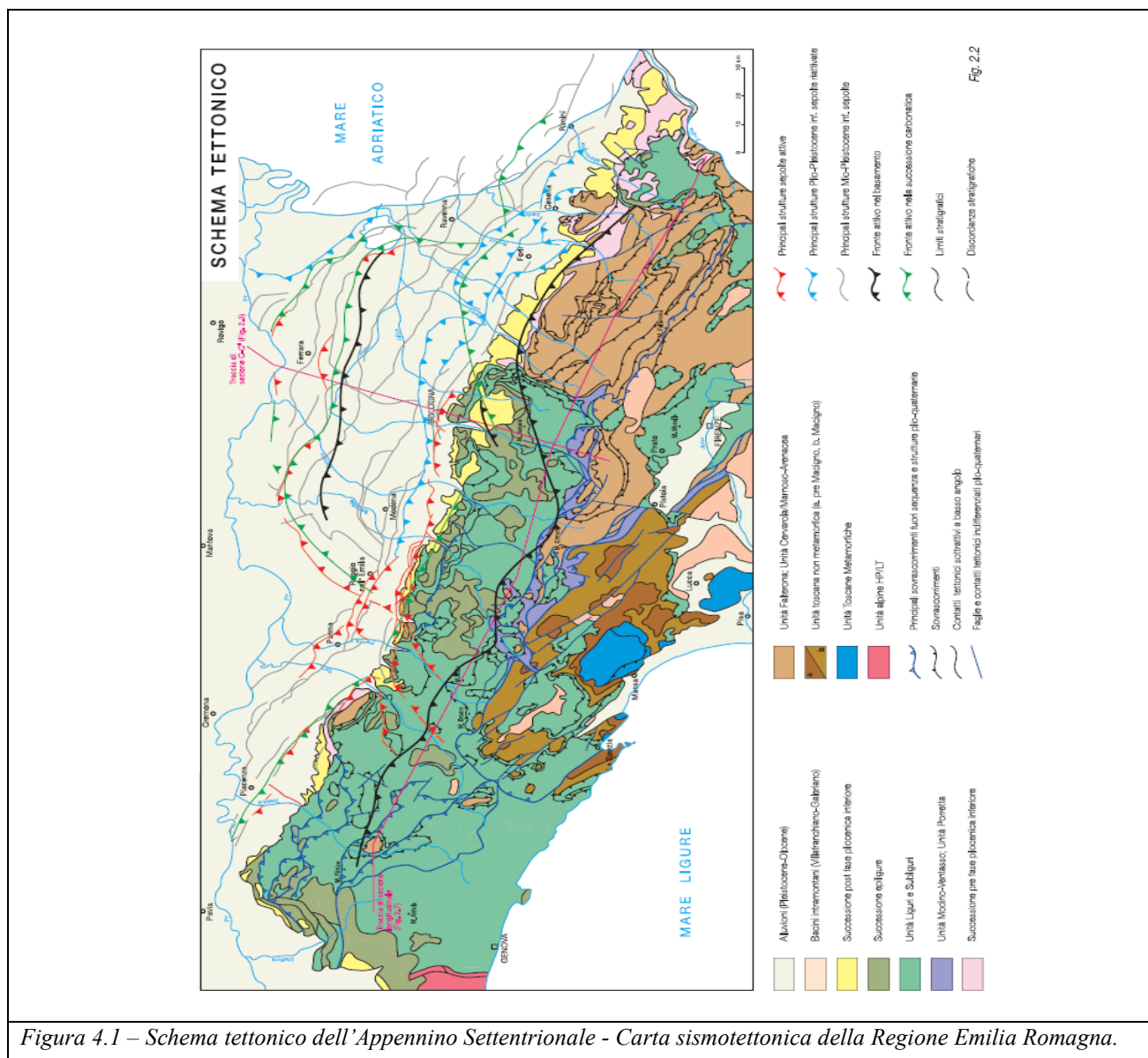


Figura 4.1 – Schema tettonico dell'Appennino Settentrionale - Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna.

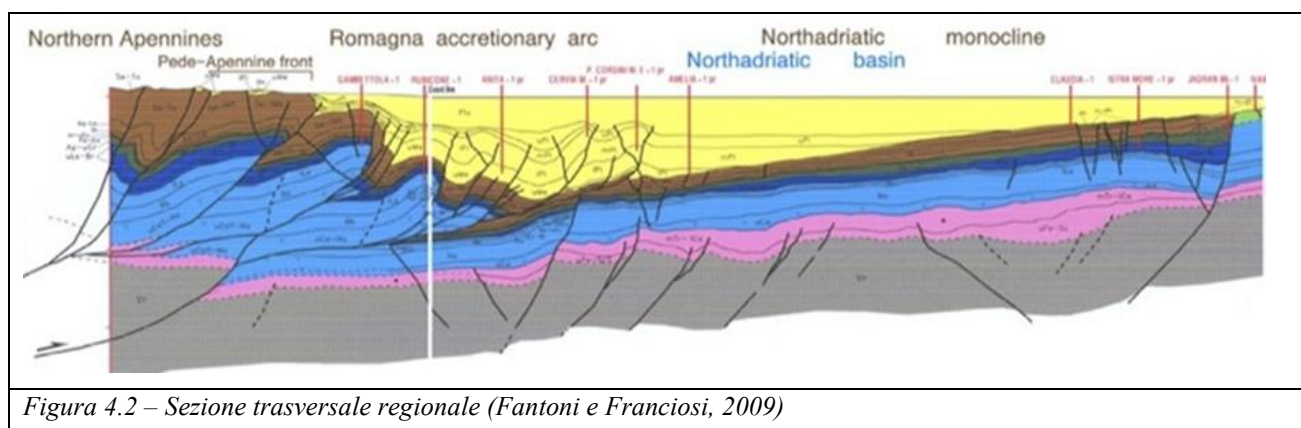


Figura 4.2 – Sezione trasversale regionale (Fantoni e Franciosi, 2009)

Pertanto appare evidente come il bordo appenninico esterno e l'attuale fascia costiera siano il prodotto del sistema ad embrici e accavallamenti che ha regolato e regola il sollevamento e lo sviluppo della catena appenninica.

L'intrecciarsi di complessi meccanismi sedimentari e tettonici hanno dato luogo alla formazione di bacini alla fronte e sulla parte retrostante degli accavallamenti traslando con essi all'interno della Avanfossa. Il risultato finale è quello di un consistente impilamento di sedimenti caratteristici della successione sedimentaria plio-peistocenica della zona di studio.

La tetto-genesi della nostra area inizia nel Tortoniano, in corrispondenza di una fase tettonica molto accentuata ad occidente, quando la fascia romagnolo - marchigiana interna, ubicata sul fronte della catena, costituisce una depressione fortemente articolata in piccoli bacini con sviluppo parallelo all'asse appenninico ("Bacini minori intrappenninici"; Ricci Lucchi, 1975).

Il bordo appenninico esterno e l'avanfossa appenninica - adriatica propriamente detta, a cavallo dei quali ricade il territorio dell'Unione di Comuni, iniziano a delinearsi durante il Messiniano migrando nella fascia esterna e trovano il loro massimo sviluppo nel pliocene inferiore quando la tetto-genesi appenninica raggiunge il suo acme e la catena si estende ormai su tutta l'area. Durante il pliocene medio - superiore la distensione, legata all'avanzamento del fronte estensionale tirrenico, comincia ad interessare la parte più interna della catena mentre i principali fronti compressivi sono ubicati nella fascia romagnolo - marchigiana esterna determinandone il sollevamento e la parziale emersione.

Nel pleistocene inferiore - medio i fronti compressivi migrano in Adriatico. Si hanno movimenti differenziali verticali delle aree che continuano anche nel "Pleistocene glaciale" influenzando lo sviluppo e la tipologia della sedimentazione. L'attività tettonica non si è ancora esaurita, almeno nella fase avanzata dell'orogene (Pianura Padana, Adriatico) come è dimostrato dalla frequente attività sismica della regione.

4.4 Assetto stratigrafico

I litotipi del substrato sono in gran parte rappresentati dalla formazione delle argille azzurre e, in subordine nelle parti più interne dei rilievi, dai depositi messiniani pseudolitoidi della Formazione Gessoso Solifera e della Formazione a Combacci (vedi figura 4.3).

La morfologia del tetto del substrato prealluvionale presenta un fondo piano e debolmente ondulato, in cui talora sono riconoscibili alcune depressioni e solchi di paleoalvei.

Una prima incisione segue un tracciato più o meno rettilineo coincidente nel tratto iniziale con l'alveo attuale del Conca.

Nelle zone collinari i terreni del substrato geologico sono ricoperti da coltri di alterazione e depositi quaternari (depositi di frana, di versante ed eluvio-colluviali) di variabile spessore, generalmente crescente

dalla sommità dei rilievi verso il piede e mediamente compreso tra i 2 e gli 8 metri; talora, in concomitanza di particolari movimenti gravitativi o depositi di versante, le coperture possono mostrare spessori maggiori. Nei settori di fondovalle, invece, i terreni del substrato sono ricoperti dai depositi quaternari della conoide del Torrente Conca, il cui spessore raggiunge valore di circa 4÷9 metri, tendendo ad aumentare a ridosso dei comuni più a valle.

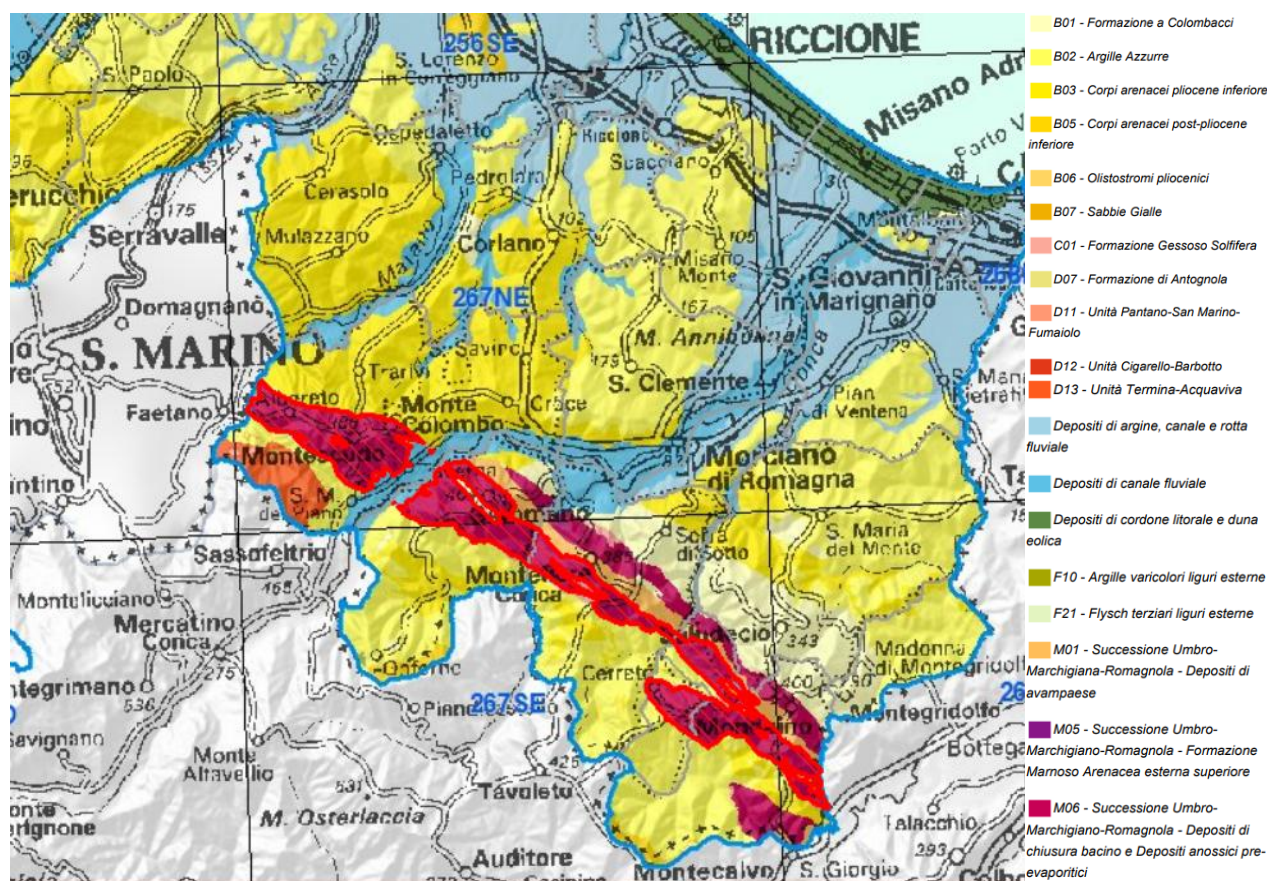


Figura 4.3 – Inquadramento geologico generale – stralcio progetto CARG (Web-Gis Emilia Romagna)

Tali depositi, coincidenti con i terrazzi alluvionali del III e IV ordine, appartengono al Sintema Emiliano - Romagnolo superiore (AES), all'interno del quale vengono individuati il Subsintema di Ravenna (AES₈) e l'Unità di Modena (AES_{8a}), costituiti essenzialmente da materiali grossolani (sabbie e ghiaie) alternati a materiali a granulometria più fine (limi e argille); questi ultimi, in corrispondenza del terrazzo superiore, occupano la parte più superficiale del deposito. In corrispondenza dei terrazzi alti, presenti a tratti a margine delle valli alluvionali di San Clemente e Morciano, sono rilevabili lembi appartenenti al Subsintema di Villa Verucchio (AES₇) e, talora nelle parti più rilvate, al Subsintema di Bazzano (AES₆).

I materiali alluvionali grossolani rappresentano il prodotto dell'erosione delle sequenze calcareo-marnose ed arenacee (Formazione del Bisciario, dello Schlier, della Gessoso-Solfifera, dell'Alberese, di S. Marino, ecc.) drenate dal torrente Conca nel tratto di bacino compreso tra il Monte Carpegna e Monte Cerignone, mentre i

sedimenti più fini hanno origine dalla degradazione delle formazioni argillose presenti nell'Alta Valle, dove il fiume scorre sui depositi della colata gravitativa della Valmarecchia e in pianura, da Morciano di Romagna al mare, sui depositi delle formazioni plioceniche.

Di seguito si fornisce una descrizione dettagliata delle formazioni geologiche presenti nei territori studiati, tratta dal Catalogo dei Dati Geografici del Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romagna.

DEPOSITI QUATERNARI CONTINENTALI

a1 Frane attive

Depositi di litotipi eterogenei più o meno caotici, delle dimensioni dai blocchi alle argille, con contenuto in matrice variabile; frane di diverse tipologie con evidenze di movimenti in atto o recenti.

a2 Frane quiescenti

Depositi di litotipi eterogenei più o meno caotici, delle dimensioni dai blocchi alle argille, con contenuto in matrice variabile; frane di diverse tipologie senza evidenze di movimenti in atto o recenti.

a3 Detriti di versante

Depositi eterometrici, angolosi, con matrice in proporzione variabile, a luoghi stratificati e/o cementati. Origine gravitativa e/o ruscellamento.

a4 Depositi eluvio-colluviali

Depositi eterometrici, spesso siltoso-sabbiosi, generalmente privi di strutture sedimentarie e non cementati.

b1 Alluvioni attuali

Depositi dei fondovalle attuali, eterometrici (dalle ghiaie alle argille), che costituiscono le forme di letto dei fiumi e che vengono rimaneggiati durante gli eventi alluvionali principali. Spessore: 0-10m.

SINTEMA EMILIANO - ROMAGNOLO - SUPERIORE (AES).

Sabbie e ghiaie con subordinati limi argillosi costituenti terrazzi intravallivi e conoidi, talora con indizi di pedogenesi, e i depositi attualmente in evoluzione nei fondovalle.

Sintema parzialmente suddiviso in subsintemi limitati, in affioramento, dalle principali scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e, nel sottosuolo della pianura, da bruschi contatti fra depositi trasgressivi marino-marginali e palustri su depositi di conoide e di piana alluvionale. Contatto inferiore erosivo e discordante sui vari terreni prequaternari.

Pleistocene superiore-Olocene

AES8 - Subsintema di Ravenna.

Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Corrisponde nelle aree intravallive ai depositi terrazzati più bassi. Rientrano in questa unità anche le alluvioni attualmente in evoluzione in alveo e quelle del primo terrazzo, talora fissate da arbusti. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,3 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a.

Pleistocene superiore-Olocene

AES8a - Unità di Modena.

Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro al tetto. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive.

Olocene

Subsintema di Villa Verucchio (AES7)

ghiaie, sabbie, limi ed argille di origine fluviale affioranti nei settori intravallivi. Nella valle del F. Marecchia ghiaie di canale fluviale prevalenti (piana intravalliva e conoide alluvionale) organizzate in un solo ordine di terrazzo con inclinazione di c.a. 10 per mille: Limite superiore dato da un suolo non calcareo spesso fino a 2 m di colore bruno scuro e bruno rossastro (7,5-5YR). Limite inferiore dato, in affioramento, da una superficie di erosione fluviale che incide AES6 ed i depositi marini preesistenti.

Pleistocene medio-superiore

Subsintema di Bazzano (AES6)

ghiaie, sabbie, limi ed argille di origine fluviale affioranti nei settori intravallivi. Nella valle del F. Marecchia ghiaie di canale fluviale passanti a limi ed argille di origine fluviale e/o eluvio-colluviale di versante (piana intravalliva e conoide alluvionale) organizzate in un solo ordine di terrazzo con inclinazione di c.a. 18 per mille. Limite superiore coincidente, in affioramento, con il piano topografico e dato da 2 suoli non calcarei sovrapposti: uno inferiore sviluppato su ghiaie (colore bruno scuro; 7,5YR) e uno superiore, policiclico, sviluppato su limi ed argille (colore giallo olivastro; 2,5Y); spessore complessivo del fronte di alterazione di 5-6 m. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale che incide, in discordanza, i depositi marini preesistenti ;

Pleistocene medio;

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE PADANO

FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE (FAA)

Argille di colore grigio-azzurro con rare intercalazioni di arenarie giallastre in letti da sottili a spessi, e argille marnose e siltose grigie in letti sottili e molto sottili.

Sono fossilifere ricche in foraminiferi e macrofossili, spesso bioturbate, a stratificazione poco marcata. Sono talora diffusi slumps con olistoliti di gesso derivati da unità evaporitiche. Limite inferiore netto, probabilmente discontinuo, su FAA2; paraconcordante su FCO. Depositi di scarpata e base scarpata. Potenza complessiva affiorante di circa 700 m.

Piacenziano-Gelasiano

Membro arenaceo di Borello (FAA2).

Membro interamente suddiviso in litofacies caratterizzate da variabilità del rapporto A/P e spessore medio degli strati, che si ripetono a più altezze stratigrafiche e mostrano rapporti di eteropia. Passaggio rapido a FAA. Spessore estremamente variabile, raggiunge i 1000 m e localmente si riduce fino ad annullarsi.

Pliocene inferiore

FAA2p - litofacies pelitico-arenacea.

Prevalenti argille ed argille marnose grigio-azzurre, siltose, fossilifere, in strati molto sottili e sottili, con livelli di sabbie fini e siltiti, caratterizzate da intensa bioturbazione; rari intervalli pelitico-arenacei, con arenarie giallastre, molto sottili, e $A/P < 1/2$.

FAA2ap - Litofacies arenaceo-pelitica

Alternanze di argille sabbiose grigie, localmente marnose, fortemente fossilifere, biancastre all'alterazione, e arenarie silicoclastiche grigio-giallastre in livelli sottili e medi, poco cementate, con A/P variabile da $1/2$ a 2 ; talora arenarie prevalenti in strati da spessi a molto spessi, mal definiti, a laminazione inclinata e con livelli di tritume conchigliare; sono presenti livelli siltosi; le arenarie, solitamente poco cementate presentano nuclei a maggiore cementazione (cogoli).

FCO - Formazione a colombacci (FCO)

Argille, marne e marne argillose, grigie, grigio-scuri, verdastre, viola o nere, in strati sottili e medi, con intercalati livelli carbonatici biancastri (colombacci), di spessore variabile da 2 a 40 cm fortemente laminati, e subordinate siltiti e arenarie grigie medio-fini in sottili strati lenticolari ($A/P < 1/3$), lamine calcaree o calcareo marnose.

Nelle arenarie sono presenti frustoli carboniosi, gusci di Gasteropodi e Lamellibranchi ed evidenze di bioturbazione. Sono state distinte alcune litofacies, sulla base del rapporto arenite/pelite, intercalate a più livelli all'interno della formazione e che formano dei corpi più o meno lenticolari. Limite inferiore discordante su GHT, GES e FMA, (dove affioranti) spesso complicato da franamenti sinsedimentari. Potenza molto variabile, fin no ad alcune centinaia di metri.

Messiniano medio e sup.

FCOa - litofacies arenacea

Alternanza arenaceo-marnosa (A/P da $2/1$ a $10/1$). Arenarie grigie medie e grossolane, con fitta laminazione piano-parallela, ondulata e incrociata, in strati medi, più raramente sottili o spessi, di colore grigio alterate in giallo o marrone. Marne e siltiti grigie in strati sottili e molto sottili, raramente medi. Formano corpi lenticolari di $2-40$ m distribuiti ad altezze diverse entro FCO.

FORMAZIONE DI SAN DONATO (SDN)

Torbiditi pelitico-arenacei in strati da sottili a spessi, molto simili agli intervalli arenaceo-pelitici di FCO; sono presenti orizzonti risedimentati con clasti di evaporiti messiniani (gessi, calcari e peliti bituminose). In contatto netto su TRP.

Messiniano medio-sup.

FORMAZIONE DI TETTO (GHT)

Torbiditi marnoso arenacei sottili costituite da marne e marne argillose grigie, nocciola o nere, spesso fittamente laminate, in strati da medi a molto sottili, più raramente spessi, con sottili intercalazioni lenticolari siltose e arenacee fini. A/P variabile fra $1/5$ e $1/3$

Limite inferiore netto e discordante o paraconcordante su GES e su FMA. Potenza affiorante da 10 a 250 m.

Messiniano medio-sup.

SUCCESSIONE ROMAGNOLO-UMBRO-MARCHIGIANA
--

FORMAZIONE GESSOSO-SOLFIFERA GES

Banchi di gesso nodulare, gessi microcristallini in strati laminati, gessi alabastrini e risedimentati alternati ad argille marnose bituminose scure e a calcari dolomitici biancastri a grana fine massicci, laminati e/o brecciati, in strati sottili e medi, bituminosi, diatomeiti, sabbie fini gialle.

Potenza massima circa 100 m. In discordanza su TRP. Messiniano inf.-medio

TRIPOLI E MARNE TRIPOLACEE (TRP)

Argille marnose e marne siltose grigioverdi o bluastre, bituminose, o beige, laminate con arenarie fini poco cementate, micacee, fittamente laminate. Sono frequenti livelli decimetrici di diatomeiti bianche, siltose, in lamine fini con resti di pesci. Sono presenti strati molto spessi di arenarie, gradate, micacee, con base erosiva, cementazione differenziale, con resti di vegetali, passanti a marne siltose chiare (**TRPa**).

Potenza maggiore di 350 m. Messiniano inf. Limite inferiore stratigrafico su GHL, FMA e SCH.

Messiniano inf.

SCHLIER (SCH)

Marne grigie chiare finemente stratificate con rare arenarie in strati a grana media e fine, lenticolari. Il passaggio alla soprastante Marnoso Arenacea avviene improvvisamente con la significativa comparsa di strati arenacei.

Potenza da poche decine di metri a oltre 100 m.

Serravalliano-Tortoniano

Di seguito si riporta altresì una sintesi grafica degli assetti geologico-strutturali e delle sezioni geologiche rappresentative per le aree in studio, dalle zone di crinale più rilevate sino ai fondovalle (fig. 4.4-4.5)

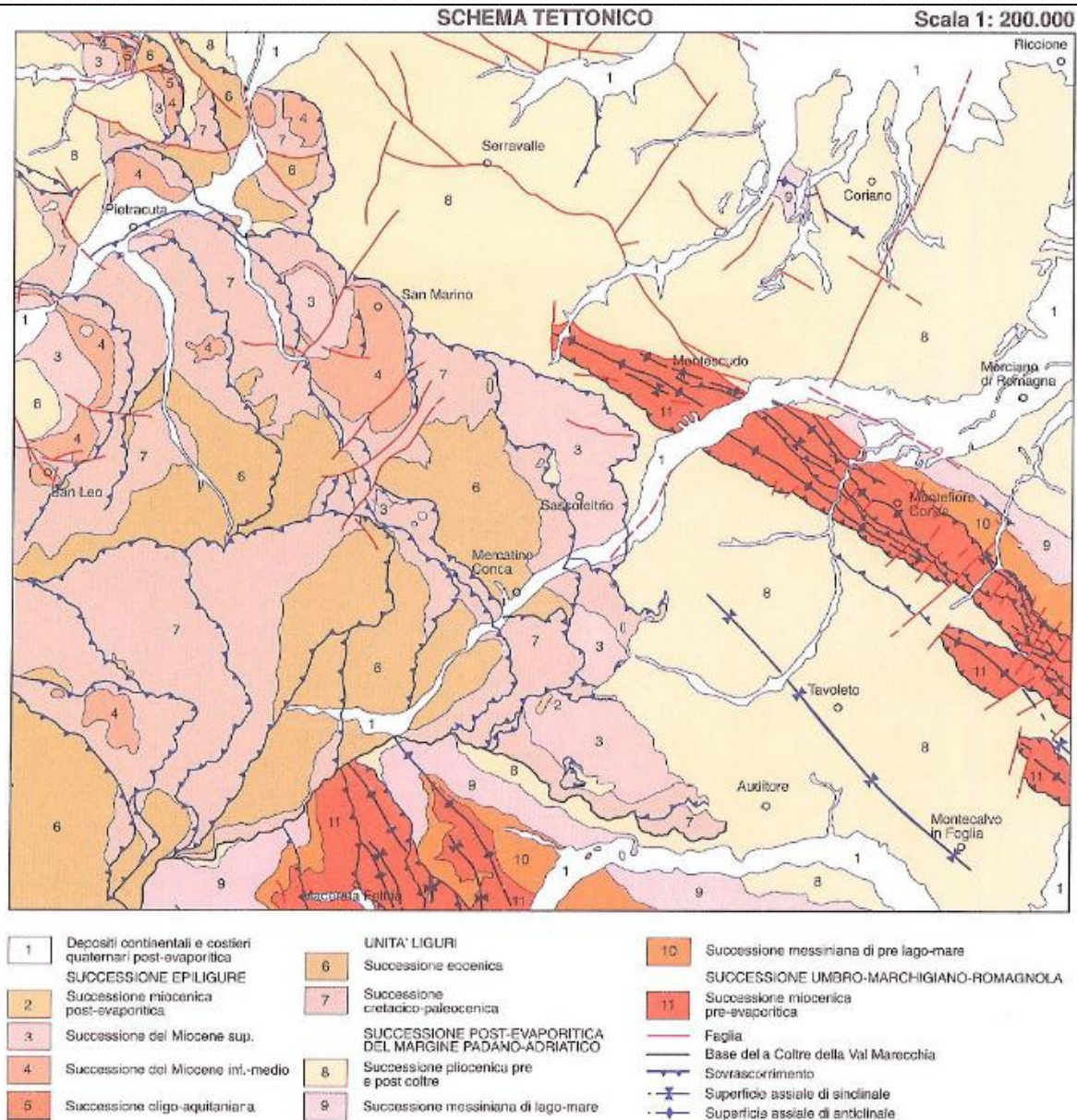


Figura 4.4 – Schema geologico e tettonico generale – progetto CARG (Foglio 267 San Marino)

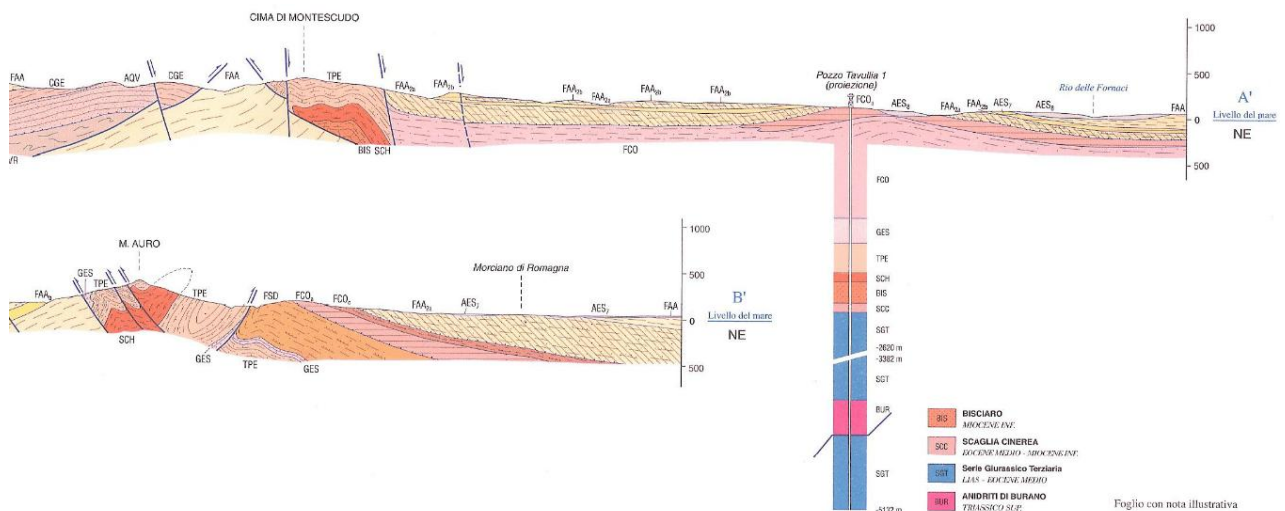


Figura 4.5 – Stralcio sezioni geologiche A-A' e B-B', direzione SW-NE, progetto CARG (Foglio 267 San Marino)

5. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Le indagini realizzate ex novo, associate a quelle degli studi di microzonazione pregressi, degli strumenti urbanistici ed a quelle realizzate da privati e dalla Regione Emilia Romagna, hanno permesso di delineare una quadro conoscitivo preliminare del territorio, indispensabile per l'adeguamento del I e II livello della Microzonazione Sismica e gli approfondimenti di III Livello.

Ad integrazione del database di archivio, nelle aree ritenute rappresentative per l'adeguamento del I-II Livello e per il III Livello, sono state realizzate ex novo: n. 29 prove CPT con punta meccanica, n. 3 prove CPTe , n. 3 prove SCPT, n. 1 sondaggio meccanico con prova Down Hole, n. 65 prove HVSR, n. 4 prove ESAC/SPAC, n. 7 prove MASW, n. 1 prova Re.Mi., n. 10 campioni di laboratorio con caratterizz., limiti di Atterberg, granulometrie e prove di taglio CD in condizioni di picco-a volume costante-residue.

In dettaglio il data-base comprende complessive N. 907 prove selezionate, di cui N. 581 di tipo geotecnico e N. 326 di tipo geofisico, per un totale di N.854 prove puntuali e n. 53 in array lineare distribuite sul territorio in studio (fig. 5.1).

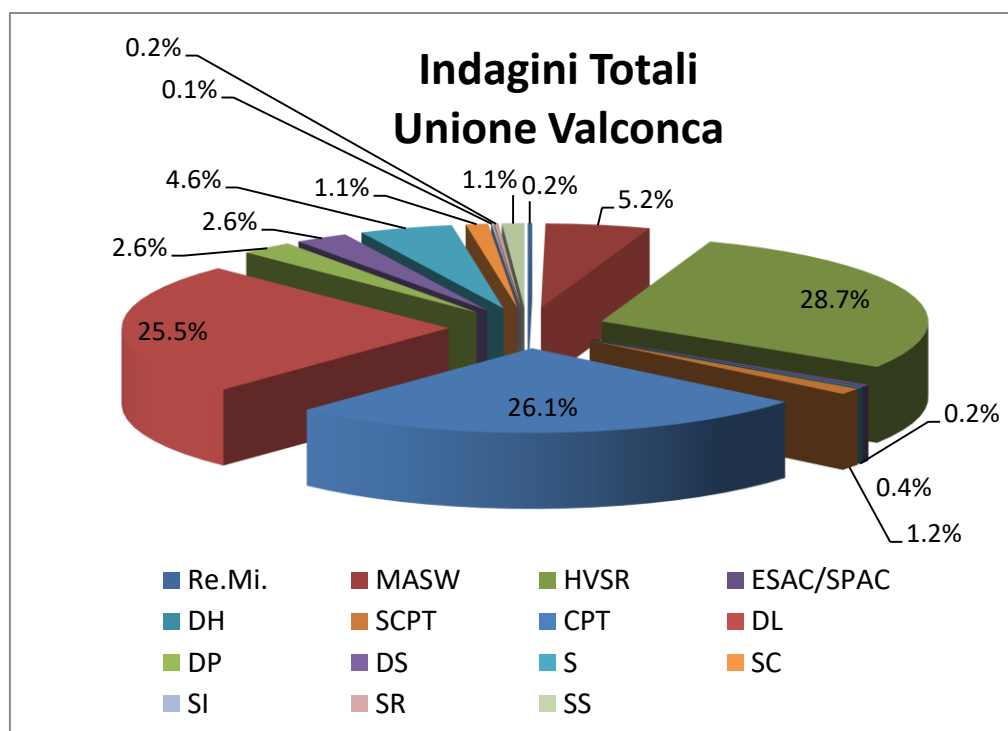


Figura 5.1 – Totale indagini geognostiche e geofisiche utilizzate per lo studio di MS dell'Unione di Comuni Valconca.

Tutte le tipologie di prospezioni sia integrative che pregresse sono state classificate e archiviate all'interno di un sistema informativo territoriale (G.I.S.) come previsto dagli standard di rappresentazione e archiviazione dati per la Microzonazione Sismica versione 4.2. (http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/standard_studi_ms.wp).

In Allegato n. 3 si riportano le prove di laboratorio di nuova realizzazione che, congiuntamente a quelle di archivio, sono state utilizzate a riferimento per la caratterizzazione dei terreni per gli approfondimenti di III Livello.

Nella “Carta delle Indagini”, in allegato alla relazione, è possibile visualizzare l’ubicazione delle differenti indagini in sito; i risultati di ciascuna prova e le modalità di esecuzione sono riportate, a mezzo di semplici “report”, nel data-base associato alla mappa.

5.1. Indagini integrative di tipo geofisico

L’analisi dei fenomeni di amplificazione locale coincide con lo studio degli effetti di risonanza legati alle onde trasversali o di taglio. Per tale ragione, quantificare l’andamento delle velocità di propagazione di questa tipologia di onde nel primo sottosuolo (profilo Vs) rappresenta un’informazione essenziale ai fini della caratterizzazione meccanica (in campo dinamico) dei terreni. Stime del profilo Vs vengono realizzate in sito attraverso appropriate prospezioni di tipo geofisico condotte, in base alle condizioni logistiche e alle profondità da esplorare, con differenti modalità esecutive:

Indagini sismiche di tipo indiretto: Sono metodologie basate sull’analisi delle proprietà dispersive delle onde Superficiali (onde di Rayleigh) nei mezzi stratificati. Lo scopo di questa tipologia di prospezioni è risalire ad una funzione caratteristica del terreno (curva di dispersione) univocamente correlata alla struttura meccanico-stratigrafica del sito. Considerando che le onde Superficiali sono essenzialmente un prodotto delle onde di Volume e in particolar modo delle onde trasversali (S) è possibile, a partire dalla curva di dispersione, risalire in maniera indiretta al profilo di velocità Vs attraverso opportune procedure numeriche di inversione dati.

Le indagini di tipo indiretto vengono spesso diversificate, in base alla sorgente energizzante utilizzata per sollecitare i sensori, in “attive” e “passive”:

Indirette Attive: Come le più comuni tecniche dirette, sfruttano sorgenti di tipo artificiale (colpo di martello) e una distribuzione lineare dei sensori sul terreno (MASW). Il principale vantaggio di questa tipologia di acquisizione consiste, oltre alla velocità ed al basso costo della prova, nell’ottima risoluzione che si ottiene nel caratterizzare gli strati di terreno maggiormente superficiali.

Indirette Passive: Utilizzano come fonte di energia la continua vibrazione del terreno, sia di origine antropica sia naturale, definita Rumore Sismico Ambientale o semplicemente Vibrazione Ambientale. I rilievi di tipo passivo sono generalmente realizzati attraverso distribuzioni bidimensionali dei sensori e raggiungono profondità di esplorazione dell’ordine delle centinaia di metri. Il principale svantaggio di questa tipologia di prova consiste in una scarsa risoluzione per gli strati più superficiali e in un’ambiguità interpretativa, spesso, non trascurabile. Tuttavia, tali indagini, se associate ad una conoscenza preliminare delle condizioni del sito

che ne “guidi” l’interpretazione, risultano essere strumenti conoscitivi molto potenti. La sismica passiva può essere applicata su stendimenti monodimensionali che prevedono l’utilizzo congiunto di più sensori (elaborazione Re.Mi. – refraction microtremors - Louie, 2001) oppure stendimenti bidimensionali a interspaziatura geofonica anche variabile, a formare una vera e propria antenna sismica di significative dimensioni, elaborandone i dati registrati con tecnica ESAC per la computazione della curva di dispersione legata alle onde di Rayleigh (Ohori et al, 2002). L’indagine passiva può inoltre essere realizzata attraverso un’unica stazione di misura.

Questa ultima tecnica, conosciuta come metodologia HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), differentemente da ogni altra prospezione di tipo indiretto non ha lo scopo di ricavare le proprietà dispersive dei materiali bensì le modalità di vibrazione del terreno (Nakamura 1983-2008). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare, infatti, le principali frequenze di vibrazione del suolo (fra cui la più importante “f0”, detta frequenza fondamentale) e sfruttarle per scopi stratigrafici. Tale tecnica consente di effettuare altresì interpretazioni congiunte con altri metodi geofisici e la conoscenza di vincoli stratigrafici per la definizione di profili profondi di Vs. Inoltre è possibile invertire le curve HVSR creando una serie di modelli sintetici da confrontare con quello sperimentale fino a considerare ottimale il modello teorico più prossimo alle curve sperimentali, basato sulla propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori.

Dall’analisi congiunta di prove sismiche attive e passive in media-alta risoluzione, sulla scorta delle conoscenze stratigrafiche locali da prove geognostiche in sito, sono stati stimati i valori di VsH (i profili associati alle misure sono visualizzabili nei report associati al DB della Microzonazione Sismica) utilizzati per le carte di MS delle Vs e dei fattori di amplificazione attesi mediante approccio semplificato tabellare.

Indagini sismiche di tipo diretto: Come dice il nome stesso questa tipologia di prospezioni ha il non trascurabile vantaggio di fornire una stima “diretta” delle velocità delle onde S. La tecnica d’indagine consiste nel generare, attraverso una sorgente artificiale (colpo di martello o piccoli esplosivi) un treno d’onde nel sottosuolo e misurare i tempi di arrivo della perturbazione in corrispondenza di una serie di sensori (geofoni) posti sulla superficie del terreno (indagine di sismica a rifrazione) o all’interno di un foro penetrometrico (prova SCPT o cono sismico) o di perforazione appositamente attrezzato (indagine down-hole e cross-hole). I principali svantaggi di tali metodologie risiedono, sia nell’esiguo volume di sottosuolo esplorato, sia nei costi d’indagine relativamente alti. Tuttavia tali tecniche risultano essere quelle a maggiore accuratezza e ripetibilità. Anche a fini di calibrazione delle indagini di tipo indiretto, per le aree oggetto di approfondimento, ci si è avvalsi anche di profili di velocità in onde Vs ottenuti tramite prove SCPT e Down-Hole eseguite direttamente presso le aree in studio o in zone vicine contraddistinte dalle medesime caratteristiche litostratigrafiche.

5.2. Indagini di tipo geognostico/geotecnico

Le indagini geognostiche utilizzate per lo studio, sia di nuova realizzazione che di archivio, sono costituite da sondaggi meccanici a carotaggio continuo, a distruzione di nucleo, prove CPT con punta meccanica, elettrica e talora piezocono e, all'occorrenza, stratigrafie di pozzi per lo sfruttamento delle acque di falda.

I sondaggi meccanici (indagini geognostiche di tipo diretto) hanno consentito di valutare l'effettivo assetto stratigrafico dei terreni sino alle profondità raggiunte e, talora, il prelievo di campioni e relative analisi di laboratorio per la caratterizzazione granulometrica nonché dei parametri di resistenza meccanica e deformabilità. Tale metodologia consente di attraversare gli orizzonti competenti e ghiaiosi spesso presenti nel primo sottosuolo alluvionale. Al proposito anche le stratigrafie dei pozzi per acqua hanno consentito di superare gli orizzonti ghiaiosi raggiungendo talora profondità elevate.

Le prove penetrometriche (indagini geognostiche di tipo indiretto) risultano spinte a profondità variabile, a volte anche sino a rifiuto nel substrato geotecnico, consentendo di desumere i caratteri stratigrafici e di resistenza meccanica alla penetrazione.

La caratterizzazione geomeccanica delle coperture ed i relativi spessori risultano di estrema importanza anche per l'elaborazione ed interpretazione delle prove geofisiche limitrofe.

La campagna geognostica realizzata "ex-novo" e le numerose informazioni pregresse hanno quindi permesso di definire un chiaro quadro litostratigrafico e geomeccanico delle aree in esame (l'ubicazione di ciascuna prova è visualizzabile nella Carta delle Indagini ed i risultati di ciascuna prova sono riportati nell'apposito database secondo le modalità definite negli standard di archiviazione dei dati.).

6. MODELLO DI SOTTOSUOLO

6.1. Andamento delle Vs nel sottosuolo

Come evidenziato nell'inquadramento geologico (Capitolo 4) le profondità del substrato geologico attese per l'area di studio vanno dall'ordine di alcuni metri sino ad oltre 10 metri nei tratti caratterizzati da spesse coperture detritiche/frana/colluviali o alluvionali. Data la quantità di informazioni geofisiche distribuite sul territorio si sono sfruttate le prove HVSr congiuntamente ai dati geognostici profondi per individuare i picchi di frequenza di maggior rilevanza per la risposta sismica locale, tra cui quelli associabili ad interfacce compatibili con un bedrock geofisico. Invece per caratterizzare i depositi di copertura (e talora del bedrock geologico) in termini di valori di velocità delle onde di taglio (profili Vs), per gli scopi dello studio, si è potuto fare riferimento ad indagini sismiche dirette attive (tipo SCPT - DH), indirette attive (tipo MASW) e passive (HVSr – Re.Mi.).

Chiaramente sviluppando lo studio di I e II Livello tramite approccio semplificato tabellare oltre alla definizione della profondità del bedrock si è data priorità, alla definizione dei profili di velocità e la stima di V_{seq} sino alle profondità richieste dai modelli di riferimento per la stima dei fattori di amplificazione; in assenza di misure sperimentali dirette si è fatto riferimento ai soli valori stimati tramite inversione delle

curve H/V con opportuna taratura stratigrafica. In corrispondenza di coperture dei depositi intravallivi e dei rilievi collinari, si sono stimati valori di V_{seq} sino all'interfaccia copertura-substrato formazionale (generalmente caratterizzato da un sensibile incremento di rigidezza sismica generalmente sempre con $V_s < 800$ m/s).

Per lo sviluppo dei modelli di sottosuolo utili alle analisi di RSL per gli approfondimenti di III Livello in corrispondenza delle frane individuate, si è data priorità alle prove sismiche in foro (SCPT-DH) eseguite in corrispondenza/prossimità di prove HVSR, al fine di poter elaborare profili di V_s tramite *inversione congiunta e/o comunque consentire l'elaborazione di profili di velocità affidabili*. Tale modalità di analisi consente di ottenere un'interpretazione del sottosuolo con idonea risoluzione sismostratigrafica sino ad elevate profondità e, all'occorrenza, stimare con buona approssimazione la profondità del bedrock sismico e la sua velocità rappresentativa.

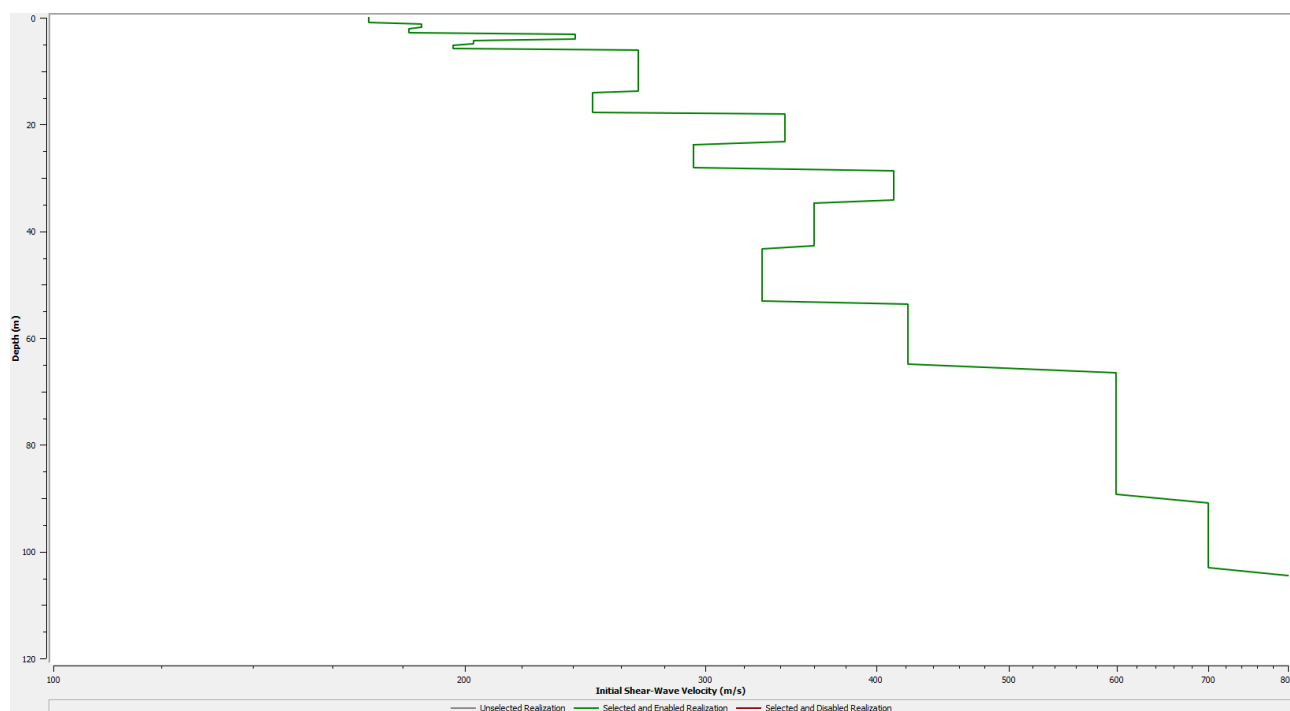
I risultati ottenuti per i diversi siti in studio sono visualizzabili nei report associati alla Carta delle V_s e delle Indagini (Data-Base Microzonazione Sismica).

Generalmente le inversioni di velocità non portano ad un unico modello di velocità (non esiste l'univocità della soluzione), pertanto si sono scelti i profili che avessero le seguenti caratteristiche:

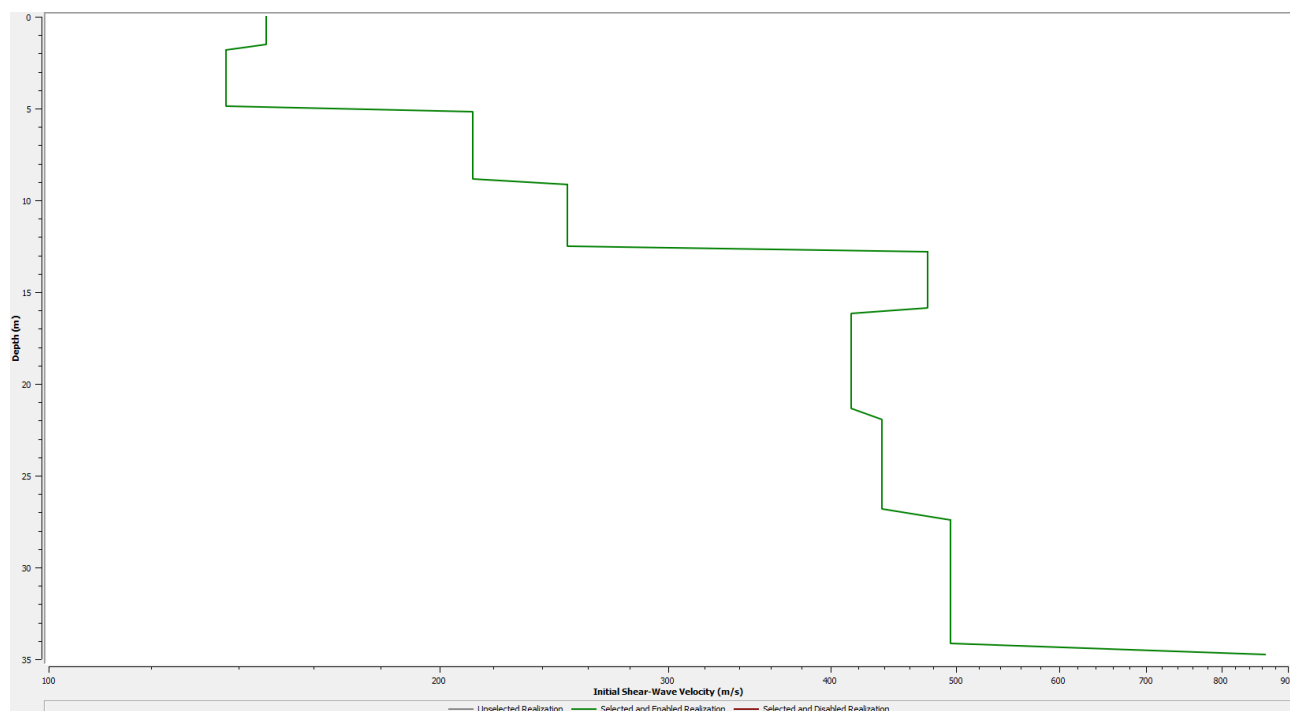
- miglior compatibilità tra dato sperimentale e teorico
- maggior coerenza con l'assetto geologico e strutturale di sito (da evidenze dirette e dati di bibliografia)
- identificazione locale del substrato (bedrock) geologico e sismico attesi per il sito di studio.

I modelli generali di V_s , determinati con le modalità appena descritte, sono stati ulteriormente "ottimizzati" aggiungendo un ulteriore vincolo alle procedure di inversione, ovvero utilizzare la stratigrafia sismica superficiale ad alta risoluzione derivata dalle indagini sismiche in foro (Down-Hole e Coni Sismici) effettuate in sito o nelle immediate vicinanze.

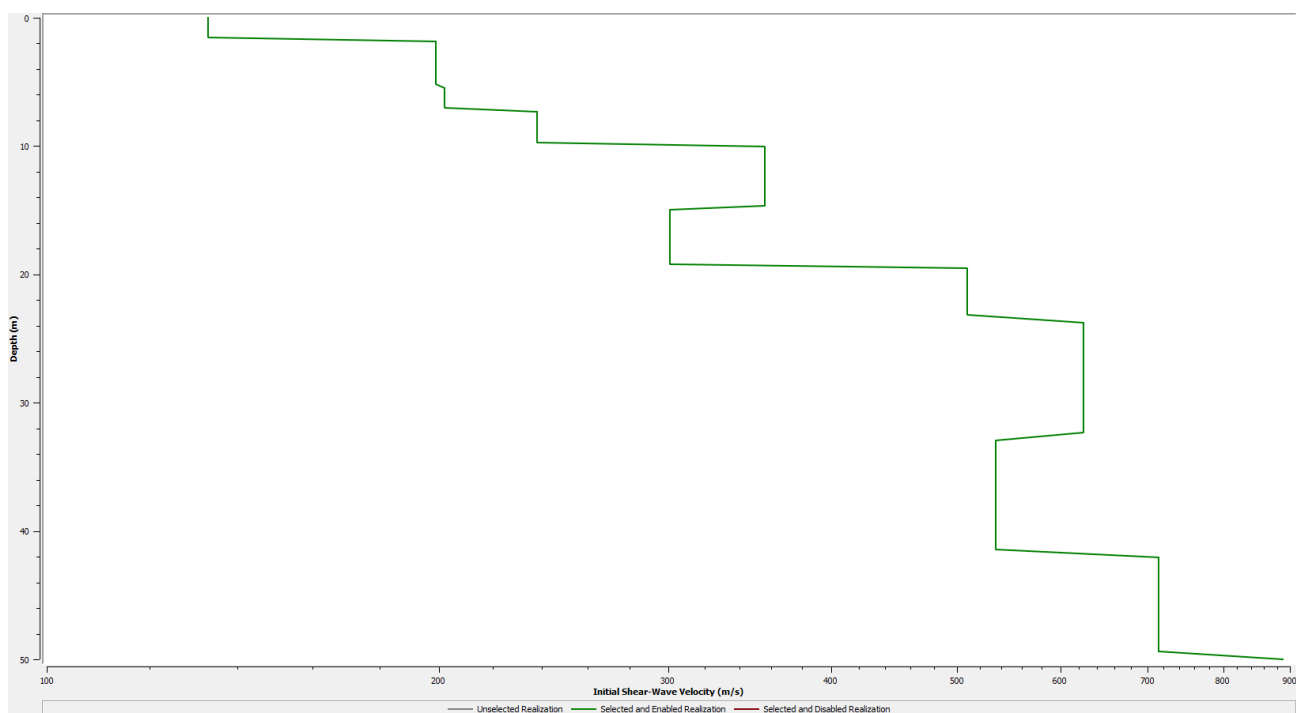
Pertanto, sulla scorta di tali elaborazioni (e dei dati di correlazione presenti nel database ed in bibliografia), ciascuna area studiata, identificabile in carta e in corrispondenza dei seguenti comuni con le sezioni litotecniche 3-3' (Gemmano, Mondaino, Montegridolfo, Morciano di R.), 4-4' (Gemmano), 5-5' (Montefiore, San Clemente), 9-9' (Montescudo-Montecolombo), 12-12' / 13-13' / 14-14' (Saludecio), viene caratterizzata da modelli di sottosuolo e profili di V_s caratteristici (figura 6.1), con individuazione del bedrock sismico, poi utilizzati per le successive modellazioni di RSL, al fine di addivenire alle azioni sismiche di progetto per la stima dei fattori di amplificazione attesi e per le successive analisi di stabilità.



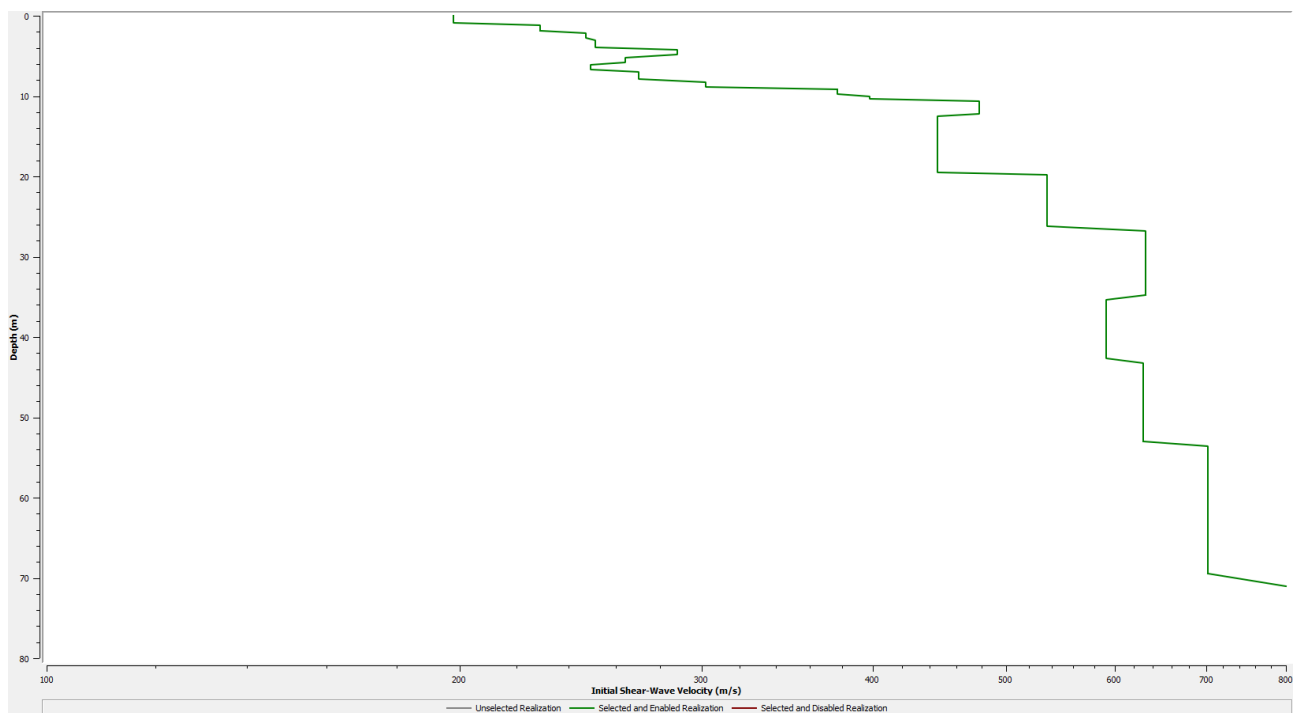
Frana "Gemmano" – Sezioni 3-3' e 4-4'



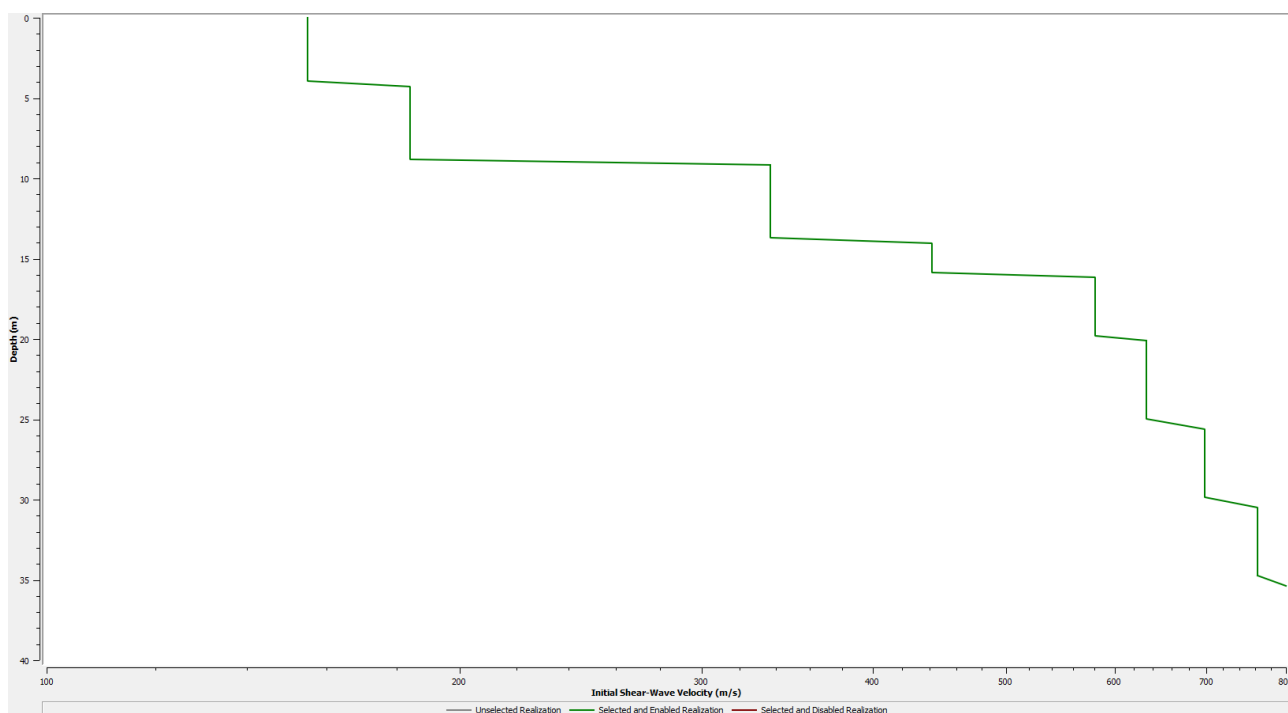
Frana "Mondaino" – Sezione 3-3'



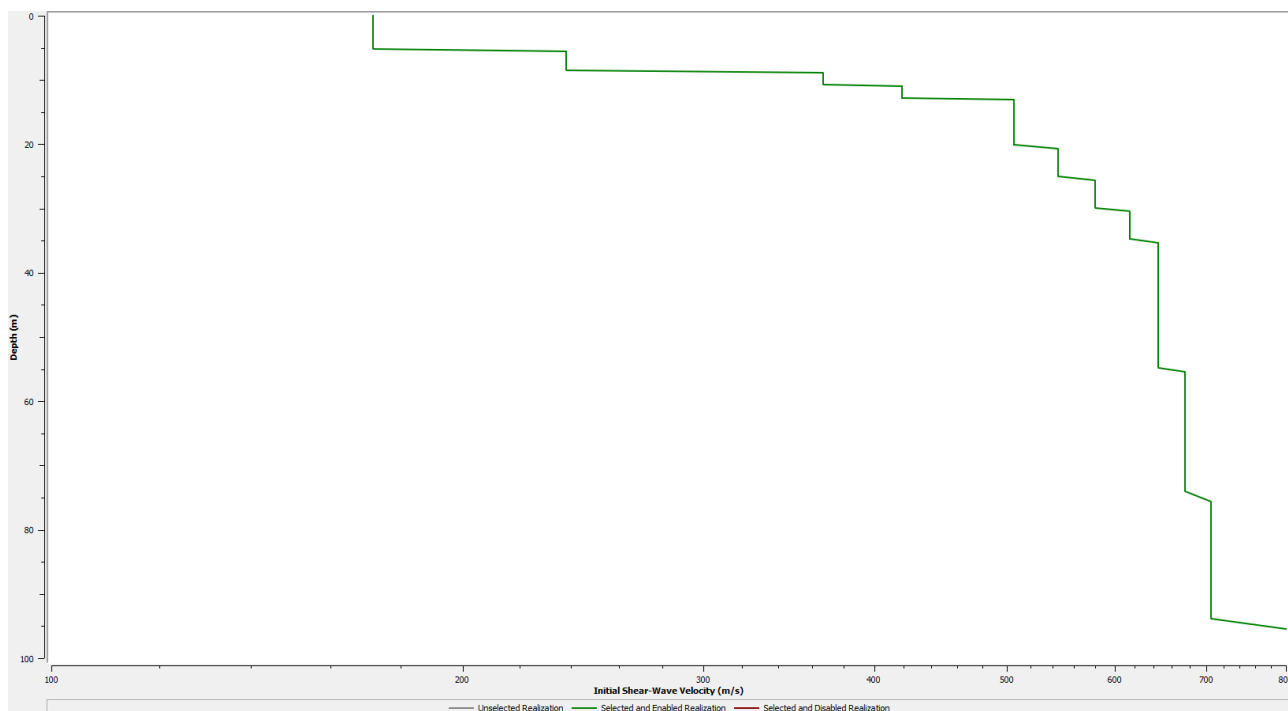
Frana "Montefiore Conca" – Sezione 5-5'



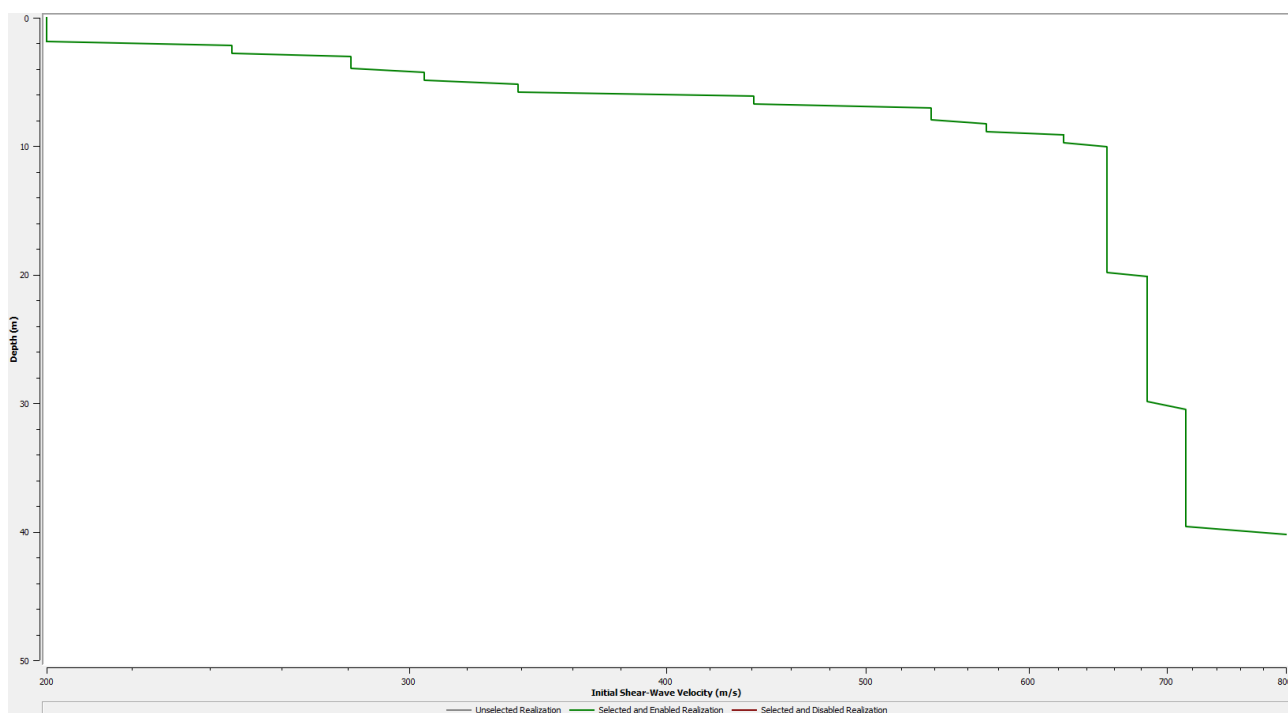
Deposito "Montegridolfo" – Sezione 3-3'



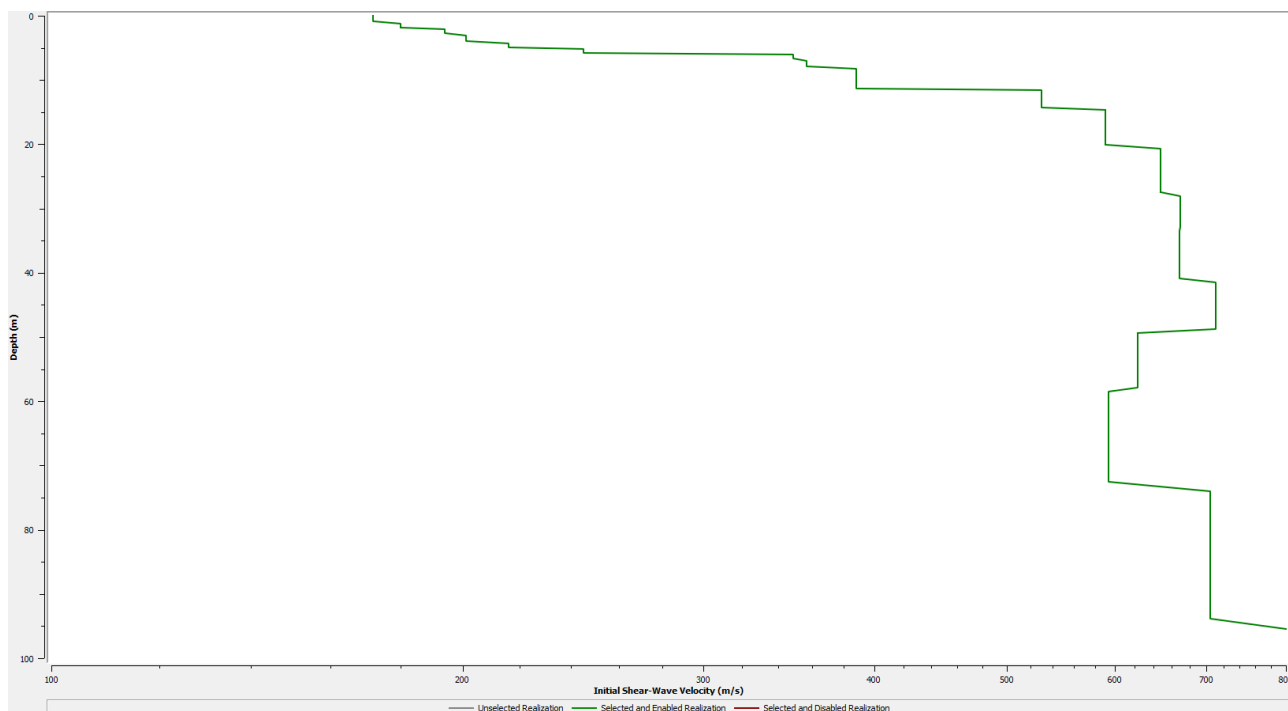
Frana "Montescudo - Montecolombo" – Sezione 9-9'



Deposito "Morciano di R." – Sezione 3-3'



Frana "Saludecio" – Sezioni 12-12' / 13-13' / 14-14'



Frana "San Clemente" – Sezione 5-5'

Figura 6.1- Profili di Vs rappresentativi per ciascuna zona di RSL.

7. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

L'areale studiato risulta caratterizzato da un assetto geologico/morfologico articolato e spazialmente variabile, passando da ambiti alluvionali a contesti di bassa-media collina, caratterizzati da assenza di evidenze o affioramenti geologici superficiali. La ricostruzione di tali assetti richiede, pertanto, una diffusa e capillare rete di informazioni geognostiche, talora non sempre possibile, soprattutto nelle aree meno urbanizzate e quelle collinari. A livello geologico altri elementi di incertezza sono relativi all'andamento in profondità dei lineamenti tettonico-strutturali principali, allo spessore dei depositi di copertura nelle zone di piana alluvionale nonché allo spessore dei depositi in frana e delle coperture potenzialmente instabili. Tale aspetto riveste particolare importanza anche per quanto riguarda poi la definizione dei modelli geofisici e di comportamento dinamico di riferimento. Le prove geofisiche "dirette" di media profondità *non hanno consentito di rilevare "direttamente"* la posizione e caratteristiche del bedrock sismico così come definito e richiesto dalle norme di settore. Pertanto ivi è stato possibile solo attraverso l'utilizzo di metodi di indagine/inversione congiunta, basati sul prevalente utilizzo di rumore ambientale quale forzante/ eccitazione energetica. Chiaramente tali metodi e le relative metodologie di elaborazione, portano con sé una certa aliquota di incertezze attribuibili sia a fattori strumentali quanto ai modelli numerici interpretativi; per cui nelle analisi di tali dati sperimentali e relative valutazioni di sintesi si ritiene sempre e comunque estremamente necessario attribuire un significativo peso alle conoscenze/evidenze geologiche disponibili ed alla coerenza con il modello geologico di riferimento.

Il programma delle indagini geotecniche va perciò commisurato, oltre che al problema sismico e geotecnico, anche ai codici di calcolo impiegati nelle analisi numeriche (Microzonazione Sismica di livello superiore al 1°) nonché all'accuratezza dei modelli utili ad affrontare le diverse problematiche di pericolosità sismica (analisi della risposta sismica locale, stima del potenziale di liquefazione, analisi della stabilità dei pendii, valutazione dei cedimenti).

8. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di studio, sono stati acquisiti tutti i dati bibliografici e d'archivio riguardanti la cartografia geologica, geomorfologica, e le indagini geognostiche pregresse già utilizzate per gli studi di I-II Livello di approfondimento nell'ambito territoriale dell'Unione di Comuni. Nella seconda fase sono state definite, di concerto con l'amministrazione committente ed in funzione delle risorse disponibili agli approfondimenti di indagine, le aree da sottoporre con maggior attenzione allo studio di Microzonazione Sismica per il I-II e III Livello; chiaramente l'attenzione prioritaria è stata volta alle zone urbanizzate ed urbanizzabili così come previste nei piani urbanistici comunali e/o di previsione, definendo quindi i settori territorio sul quale eseguire la campagna di nuove indagini geognostiche/geofisiche di approfondimento per le finalità di MS.

Chiaramente tali indagini sono state progettate e pianificate nell'ottica di un perfezionamento ed approfondimento, per quanto possibile, delle conoscenze sui vari assetti geologici e, quindi, per la partizione del territorio di interesse in macro/microzone a comportamento sismico omogeneo sulla scorta di una base di dati sufficientemente robusta.

Quindi i dati sperimentali di nuova e mirata acquisizione, così come quelli derivati dagli archivi pubblici e privati (ritenuti adeguatamente rappresentativi), sono stati utilizzati per analizzare problematiche di MS attraverso modelli numerici di riconosciuta validità scientifica nonché secondo le procedure ed indicazioni raccomandate dalle linee guida regionali e della Protezione Civile.

I risultati di tali elaborazioni sono stati esplicitati, quindi, attraverso le basi dati numeriche allegate al presente studio e gli elaborati grafici di sintesi richiamati al successivo Par. 9.

9. ELABORATI CARTOGRAFICI

9.1 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO I

9.1.1 Carta Geologico-Tecnica

La “Carta Geologico-Tecnica” rappresenta un modello integrato di sottosuolo funzionale alle valutazioni sismiche legate agli studi di Microzonazione Sismica, che permette di individuare in modo semplice ed efficace, i rapporti stratigrafici tra le litologie che rappresentano il substrato formazionale e le coperture.

Tale elaborato, in generale, è costruito in base ad un'attenta valutazione delle Carte Geologiche e Litologiche di riferimento e da un accurata analisi delle prove geognostiche, geotecniche e geofisiche a disposizione.

In dettaglio, la carta viene costruita codificando le litologie e le formazioni affioranti in differenti unità litotecniche specificate dagli standard di archiviazione informatica 4.2 allegati alle linee guida “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”.

Nel caso specifico, è necessario ricordare (come già descritto al capitolo 4) che i depositi di superficie affioranti nell'area di studio sono riferibili sia ad unità geo-litologiche alluvionali, rappresentate dal Sub-sistema di Ravenna (AES8), di Villa Verucchio (AES7), che depositi di frana, di natura eluvio-colluviale e di accumulo gravitativo. Pertanto, per ottenere un Carta Geologico-Tecnica che rappresentasse adeguatamente le condizioni del territorio in esame, è stato scelto di procedere come segue:

- *Dai risultati dei numerosi dati geognostici sono state estrapolate le stratigrafie che consentivano di caratterizzare ed individuare con certezza la posizione del substrato geotecnico;*

- *E' stata valutata, in ciascun log stratigrafico estrapolato, la litologia prevalente, la natura geologica e il possibile ambiente deposizionale;*
- *Le differenti litologie evidenziate, derivate dai dati puntuali di sondaggio, sono state interpolate in pianta per ottenere una realistica distribuzione sul territorio;*
- *Ciascuna litologia (ed ovviamente ciascun poligono ad essa associato) è stato codificato in unità litotecnica per la realizzazione della Carta Geologico-Tecnica.*
- *Sono stati cartografati i rari affioramenti del substrato marino visibili in corrispondenza di scarpate o scavi, prevalentemente antropici, lungo le sponde di erosione fluviali od in corrispondenza delle zone in dissesto.*
- *Sono stati cartografati i terreni di copertura (con spessori > 3 metri) suddivisi su base granulometrica con l'indicazione dell'ambiente genetico/deposizionale.*
- *Sono state cartografate le instabilità di versante con distinzione dello stato di attività e della tipologia di movimento.*
- *Sono state cartografate le forme di superficie e sepolte (es. conoidi alluvionali e falde detritiche).*
- *Sono stati cartografati gli elementi tettonico strutturali quali faglie, assi sinclinali ed assi anticlinali.*
- *sono state cartografate la giacitura degli strati, in corrispondenza degli affioramenti del substrato marino e l'indicazione dei sondaggi con la relativa profondità a cui è stato raggiunto il substrato geologico.*
- *Sono stati cartografati gli orli di terrazzo fluviale.*

Questi dati si sono resi necessari alla definizione del modello geologico del sottosuolo per l'intero territorio e propedeutici per la definizione in chiave sismica degli effetti attesi al suolo.

In ciascuna carta sono inoltre rappresentate le tracce delle sezioni litotecniche elaborate, ritenute rappresentative per l'ambito comunale, generalmente ortogonali e passanti per gli abitati principali.

Tali sezioni di caratterizzazione litotecnica generale, sviluppate a partire dal modello digitale del terreno e lungo una rete di sondaggi, vengono rappresentate in calce alla medesima carta alla scala 1:2000, permettendo di definire gli andamenti e lineamenti geologici principali nonché di definire le dinamiche evolutive dell'area e gli aspetti geomorfologici e strutturali salienti.

Diversamente le sezioni litotecniche di dettaglio riportate in Allegato 2 alla presente relazione, sono state sviluppate presso le zone in dissesto accertato/potenziale oggetto di approfondimento di studio e risultano particolarmente importanti per la definizione delle problematiche legate alla stabilità di sito nonché un importante ausilio per la stima della profondità del bedrock geologico e per la correlazione dei picchi di frequenza H/V correlabili all'assetto geologico locale.

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN) Relazione Illustrativa

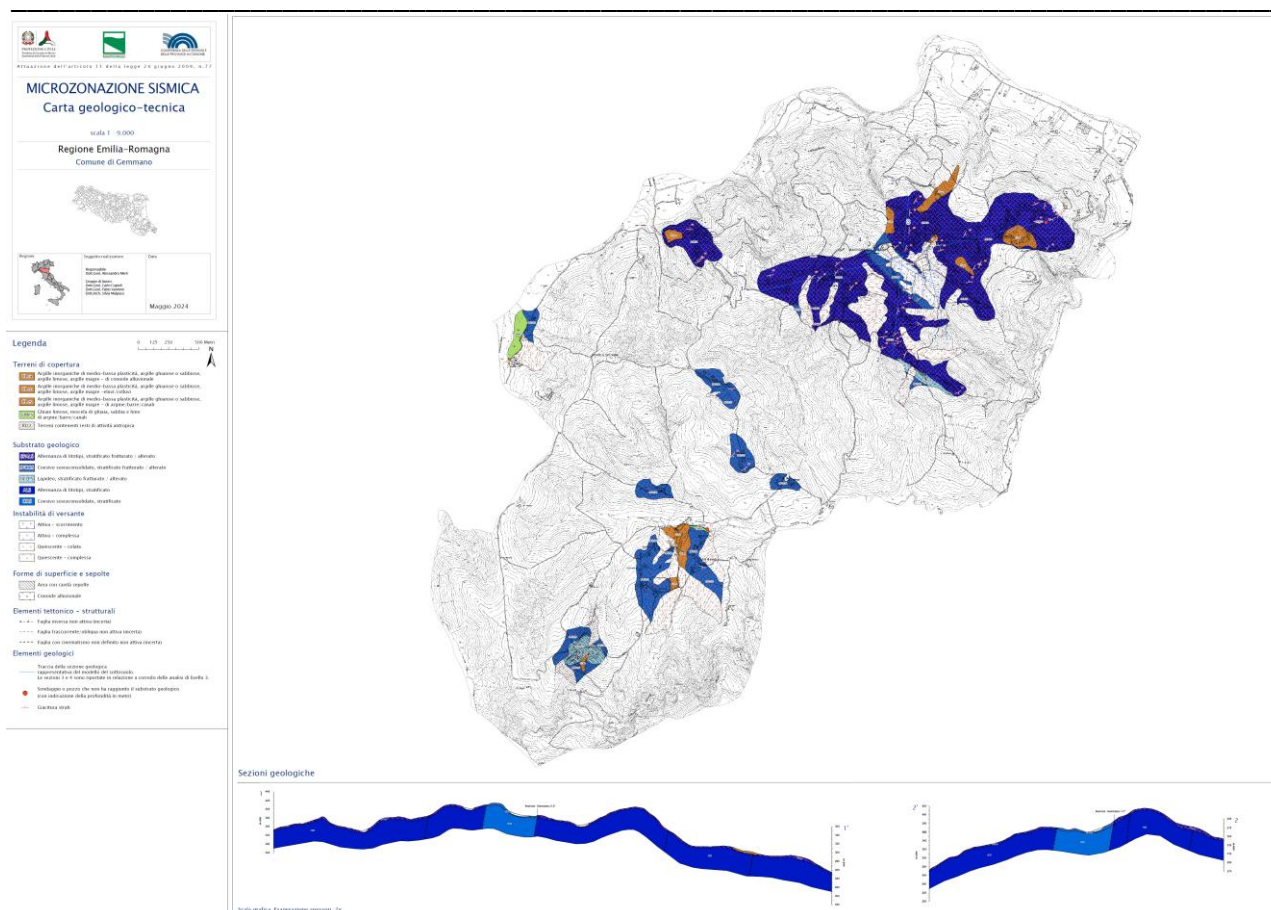


Figura 9.1 – Miniatura della Carta Geologico-Tecnica riferita al Comune di Gemmano (RN).

9.1.2 Carta delle Frequenze Naturali del Terreno

Sulla base dei risultati delle registrazioni a stazione singola HVSR, ritenute più rappresentative (sia di nuova realizzazione che pregresse), si è sviluppata la mappa delle Frequenze Naturali dei terreni dell'ambito territoriale studiato.

Nonostante, comunemente, negli studi di Microzonazione Sismica venga prodotta un'unica carta delle Frequenza Naturali, è stato scelto in questo caso di sviluppare 2 differenti elaborazioni (frequenze F ed F1) contenute nella medesima carta per non perdere importanti informazioni legate a massimi risonanti secondari, talora significativi ai fini della risposta sismica di sito; ciò al fine di non perdere importanti informazioni legate a massimi risonanti secondari, talora significativi per l'assetto geologico locale e/o in presenza di spessi depositi di copertura o per la presenza di orizzonti risonanti interclusi (es. orizzonti ghiaiosi/litoidi di rilevante spessore ed estensione).

Al fine di chiarire quanto appena espresso viene di seguito riportato un esempio sui criteri di elaborazione adottati; talora, a seguito degli effetti di smorzamento indotti da depositi soffici e profondi e/o dalla presenza di situazioni stratigrafiche con inversioni di velocità, il giudizio e la definizione dei picchi di frequenza sono

stati guidati anche dal reciproco andamento delle singole componenti verticali ed orizzontali del moto registrato. In figura 9.2 è riportata, a titolo di esempio, la misura 099004P81.

Ad es. la misura con codice 099004P81, così come la maggior parte dei rilievi realizzati, è caratterizzata da più massimi in Frequenza, in cui le ampiezze del picco H/V risultano verosimilmente condizionate da fenomeni di smorzamento. Quello maggiormente significativo a maggior ampiezza e minor valore in frequenza viene indicato come F che, nell'esempio, presenta una frequenza di circa 3.30 Hz con rapporto H/V di ampiezza media pari a circa 3.0; in aggiunta si rileva un ulteriore massimo significativo F1 centrato alla frequenza di circa 5.5 Hz con ampiezza del picco H/V pari a circa 2.8.

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

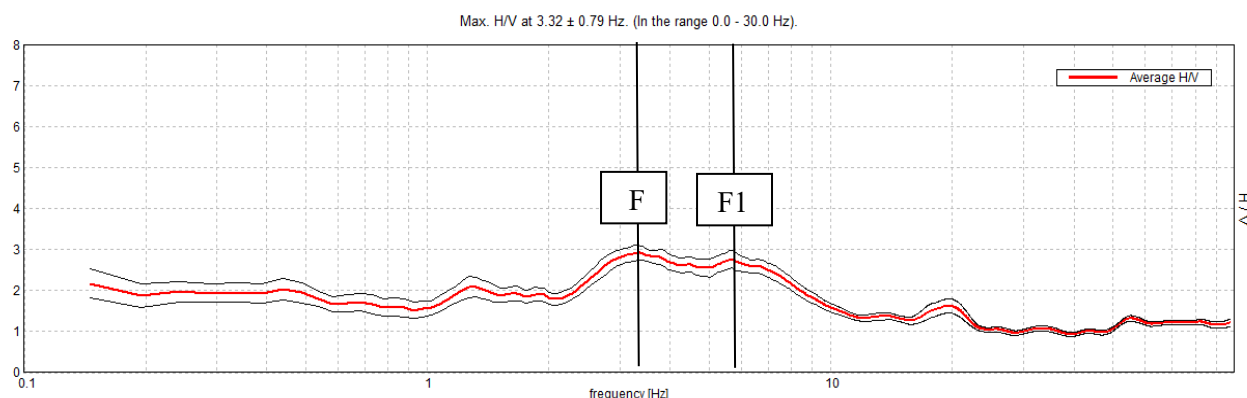


Figura 9.2-Curva dei rapporti spettrali relativa alla registrazione 099004P81.

Tutti i picchi di frequenza rappresentativi ricadono nell'intervallo di frequenze ingegneristico di risonanza delle strutture (compreso all'incirca tra 0.5 e 15 Hz) e, dunque, risultano potenzialmente pericolosi per fenomenologie di amplificazione locale o, comunque, di alterazione del moto sismico atteso. Il picco a maggior ampiezza ed a più bassa frequenza individua la frequenza fondamentale “f0”, ovvero il “contrasto d’impedenza sismico” più significativo in profondità ed a cui è associata la maggior aliquota di trasferimento dell’energia del moto vibratorio/sismico e, pertanto, risulta particolarmente informativo ai fini della ricostruzione del substrato sismico e di comportamento dinamico dell’area. Inoltre tutti i valori di frequenza individuati con tale tecnica, essendo il frutto di medie statistiche, sono affetti da una deviazione standard che ne può comportare uno scostamento talora di entità pari al 20-25% del valore definito.

Per la correlabilità dei picchi/range di frequenza rappresentativi con elementi stratigrafici significativi ci si può riferire alle indicazioni contenute nella DGR 564/2021 nonché alle analisi e modelli definiti in Mascandola et al., 2019.

I valori di ampiezza rappresentativi per ciascuna classe di frequenza, vengono quindi illustrati tramite diversa colorazione dei simboli secondo specifici range caratteristici per l’area, modulando l’ampiezza del simbolo in funzione dell’ampiezza dei relativi picchi H/V, secondo la seguente schematizzazione (vedi figura 9.3):

Ampiezze dei picchi (F)

$F \leq 0.6\text{Hz}$	$0.6\text{Hz} < F \leq 1.0\text{Hz}$	$1.0\text{Hz} < F \leq 2.0\text{Hz}$	$2.0\text{Hz} < F \leq 8.0\text{Hz}$	$F > 8\text{Hz}$
	● $2 \leq A < 3$	● $2 \leq A < 3$	● $2 \leq A < 3$	● $2 \leq A < 3$
			● $A \geq 3$	● $A \geq 3$

Ampiezze dei picchi secondari significativi (F1)

$F1 \leq 0.6\text{Hz}$	$0.6\text{Hz} < F1 \leq 1.0\text{Hz}$	$1.0\text{Hz} < F1 \leq 2.0\text{Hz}$	$2.0\text{Hz} < F1 \leq 8.0\text{Hz}$	$F1 > 8\text{Hz}$
		★ $2 \leq A < 3$	★ $2 \leq A < 3$	★ $2 \leq A < 3$
			★ $A \geq 3$	

Figura 9.3 – Codifiche per la visualizzazione in mappa delle Frequenze e della Ampiezze individuate dai rilievi HVSR.

In base a quanto esposto in figura 9.4 viene riportata un esempio in miniatura della tavola.

E' necessario precisare che, talora, esistono anche ulteriori massimi con frequenza $F > 15\text{-}20\text{ Hz}$ che, tuttavia non vengono ritenuti particolarmente significativi per la pericolosità sismica dell'area. Questa tipologia di massimi rappresenterebbe infatti occasionali contrasti di impedenza molto superficiali che, in relazione al normale piano di fondazione degli edifici, è ragionevolmente non significativo.

E' opportuno comunque ricordare che esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute) e può essere sensibilmente influenzata da altre variabili naturali e strumentali.

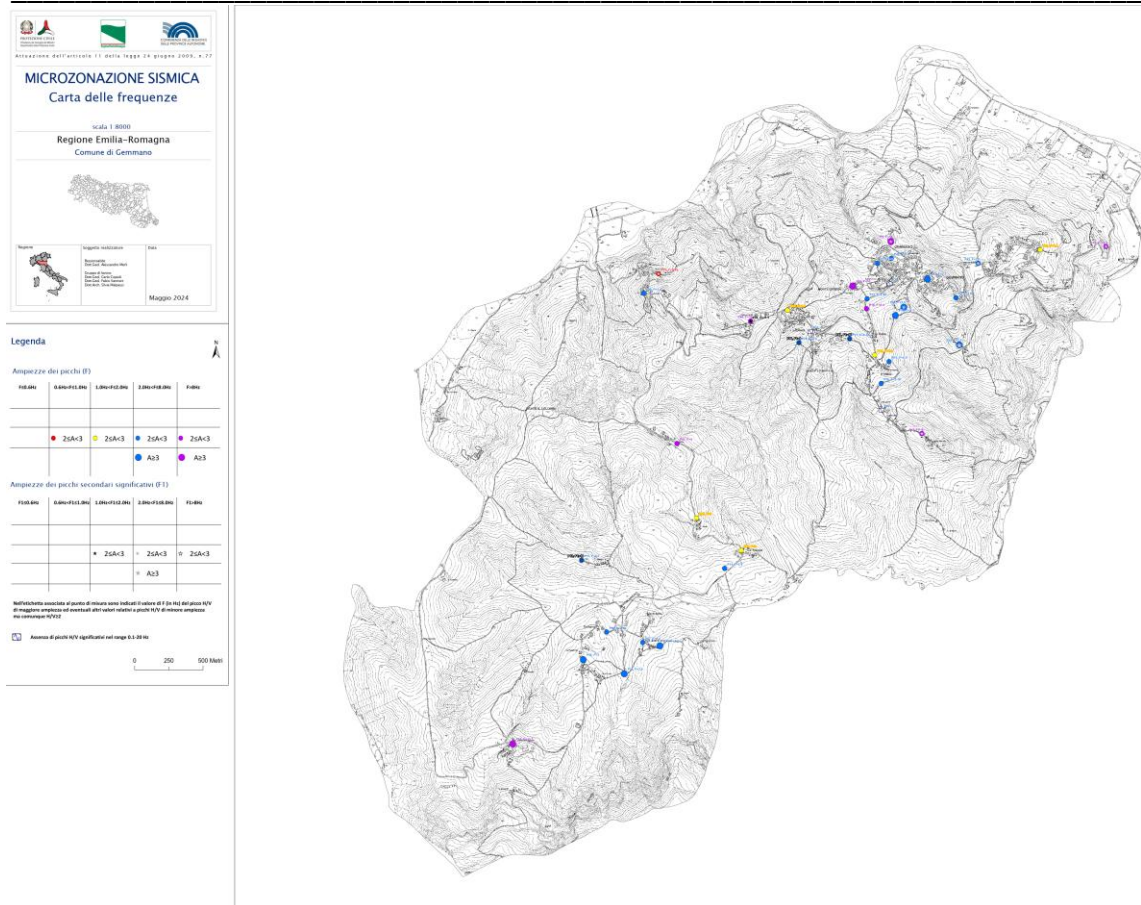


Figura 9.4 – Miniatura esemplificativa della Mappa delle Frequenze Naturali dei Terreni.

9.1.3 Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica)

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica di Livello 1 costituisce il documento fondamentale di questo livello di approfondimento. La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e delle valutazioni dei dati litostratigrafici è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc...).

Sulla base degli elementi individuati, precedentemente descritti e già riportati nella Carta geologico tecnica è stata redatta la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, restituita alla scala <1:10.000.

In funzione delle informazioni rappresentate, la legenda è distinta nelle seguenti parti:

- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.
- Zone suscettibili di instabilità.
- Forme di superficie e sepolte.
- Tracce di sezione topografica.
- Punti di misura del rumore ambientale.

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento di Protezione Civile e agli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica MS versione 4.2, sono state individuate e delimitate le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica.

Di seguito si riporta una descrizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica con gli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi.

Per l'area di studio sono state realizzate differenti tavole riferite a ciascun Comune; in figura 9.5 è riportato, a titolo di esempio, uno stralcio dell'elaborato MOPS del Comune di Gemmano.

Zone stabili

All'interno del territorio dei comuni della Valconca non sono state riscontrate microzone che è possibile definire stabili. Questo è dovuto in particolare al fatto che non è presente in affioramento il bedrock sismico ne quello geologico.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Nei comuni di Gemmano, Mondaino, Montefiore, Montegridolfo, Montescudo-Montecolombo, Morciano di R., Saludecio, San Clemente, sono presenti Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali per motivi stratigrafici rappresentate dalle colonnine stratigrafiche con codice 2001-2002-2003-2004-2005-2006.

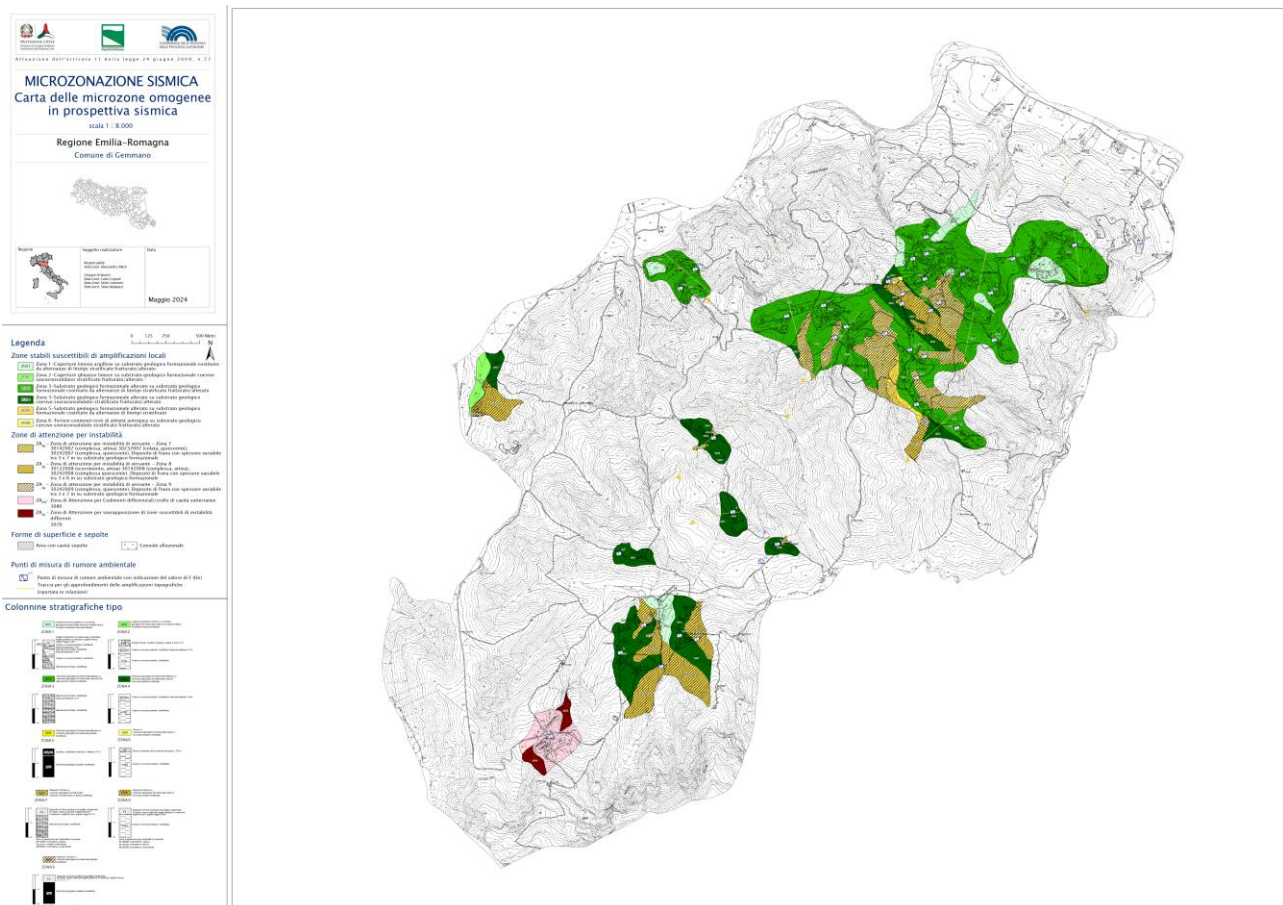


Figura 9.5-Stralcio della Carta delle MOPS riferita al Comune di Gemmano (RN).

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

La corrispondenza, per ciascun Comune, tra elementi di copertura geologico-tecnici e le Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali della Carta delle MOPS diventano quindi le seguenti:

Gemmano		Mondaino		Montefiore		Montegridolfo		Montescudo Montecolombo		Morciano di R.		Saludecio		S_Clemente	
Codice colonnina	Copertura	Codice colonnina	Copertura	Codice colonnina	Copertura	Codice colonnina	Copertura	Codice colonnina	Copertura	Codice colonnina	Copertura	Codice colonnina	Copertura	Codice colonnina	Copertura
2001	CL	2001	CL	2001	CL	2001	SFALS	2001	CL	2001	CL	2001	CL	2001	CL
2002	GM	2002	SFALS	2002	GM	2002	SFCOS	2002	CL	2002	GM	2002	GM	2002	GM
2003	SFALS	2003	SFCOS	2003	SFALS	2003	CL	2003	GM	2003	SFCOS	2003	SFALS	2003	SFCOS
2004	SFCOS	2004	SFLPS	2004	SFCOS			2004	SFALS			2004	SFCOS	2004	RI
2005	SFLPS	2005	RI	2005	SFLPS			2005	SFCOS						
2006	RI							2006	SFLPS						

La litologia prevalente è sicuramente quella rappresentata dai limi argillosi di alterazione del substrato e/o di accumulo eluvio/colluviale con spessori medi variabili generalmente da 2-3 m fino a 4-10 m. Nei limitati tratti sub pianeggianti di fondovalle dei comuni di Montescudo-Montecolombo, Morciano di Romagna, San Clemente (Loc. Sant'Andrea) e in tratti marginali di Gemmano e Montefiore C., sono inoltre presenti depositi di copertura alluvionali soprastanti il bed-rock geologico, con orizzonti ghiaioso-sabbiosi, di spessore variabili da 4 a max 9 mt a partire dal piano campagna.

Va rilevata la particolarità riscontrata nel comune di Montegridolfo dove, all'interno della microzona in località San Pietro e Molino Tenti, si rilevano spesse coperture, talora con rapide variazione di spessore, imputabili a vasti depositi di versante.

Zone suscettibili di instabilità

Le zone suscettibili di instabilità individuate all'interno delle aree urbanizzate e urbanizzabili dei comuni della Valconca, fanno riferimento sia ad aree con evidente presenza di fenomeni di instabilità gravitativa sia ad aree contraddistinte dalla presenza di cavità. In particolare nei comuni dell'Unione sono presenti le seguenti aree instabili per frana con stati di attività quiescenti, attivi, inattivi ed indeterminati:

Gemmano	n. 27
Mondaino	n. 8
Montefiore	n. 13
Montegridolfo	n. 5
Montescudo Montecolombo	n. 33
Morciano di R.	n. 0
Saludecio	n. 11
San Clemente	n. 4

Ciascuna zona in frana (ZA_{FR}) viene individuata con un proprio codice composito e colorazione, caratterizzandone il relativo deposito dal punto di vista tessiturale/litologico e degli spessori (generalmente compresi tra 2-8/10 m, soprastanti la formazione geologica di base). Tali caratteristiche salienti vengono di seguito riportate nella descrizione sintetica che accompagna ciascuna zona MOPS (vedi di seguito riepilogo tabelle MOPS per ciascun comune).

Invece le zone di potenziale Instabilità per cedimento o crollo di cavità vengono rilevate e censite nei comuni di Gemmano, Montescudo-Montecolombo, Saludecio e Mondaino. Nel primo caso trattasi del sistema di grotte carsiche di Onferno (settore meridionale del comune), mentre per gli altri 3 comuni si tratta di sistemi di cavità antropiche scavate al di sotto dei centri storici; per quanto riguarda queste ultime risulterebbe trattarsi di sistemi di cavità antropiche usualmente scavate al di sotto degli abitati storici (di strade e fabbricati) e/o talora in prossimità delle mura di cinta e/o dei rinterri retrostanti, le quali risultano solo parzialmente censite e conosciute. In tal caso, data la scarsa conoscenza dei tracciati, del loro stato di conservazione e del loro utilizzo, si ritengono necessari ulteriori studi per il relativo censimento e/o eventuali verifiche tecniche di approfondimento.

Invece per quanto riguarda le grotte di Onferno sono censite nel Catasto delle Cavità Naturali dell'Emilia Romagna (scheda ER RN 456 - Grotta di Onferno) e, per cui è possibile riportarne anche uno schema sintetico ed immagini rappresentative. Alcune tratti del sistema di grotte, peraltro, risultano già interrotti per crollo (vedi punti gialli in stralcio cartografico soprastante) e catalogati con le schede "ER RN 477 - Buco delle Lumache di Onferno" e "ER RN 476 - Buco I di Onferno".

Oltre all'accesso principale vi sono altri accessi tra cui quello individuato col punto verde nello stralcio in fig. 9.6 e catalogato con la scheda "ER RN 771 - Buco della Gomma".

Presso tale area, in corrispondenza del settore sudoccidentale del comune di Gemmano, caratterizzata da cavità sepolte, si rilevano anche delle aree in dissesto e, quindi, la presenza di "Zone di attenzione per sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti".

Per i dettagli e descrizioni sintetiche delle singole zonazioni si rimanda alla tavola delle MOPS.

Nell'area di studio, con particolare riferimento alle zone urbanizzate ed urbanizzabili, non sono presenti elementi strutturali (faglie, ecc.), in quanto dalla consultazione del database Itaca non è stato rilevato alcun elemento tettonico certo che possa determinare effetti superficiali nelle aree urbanizzate in oggetto.

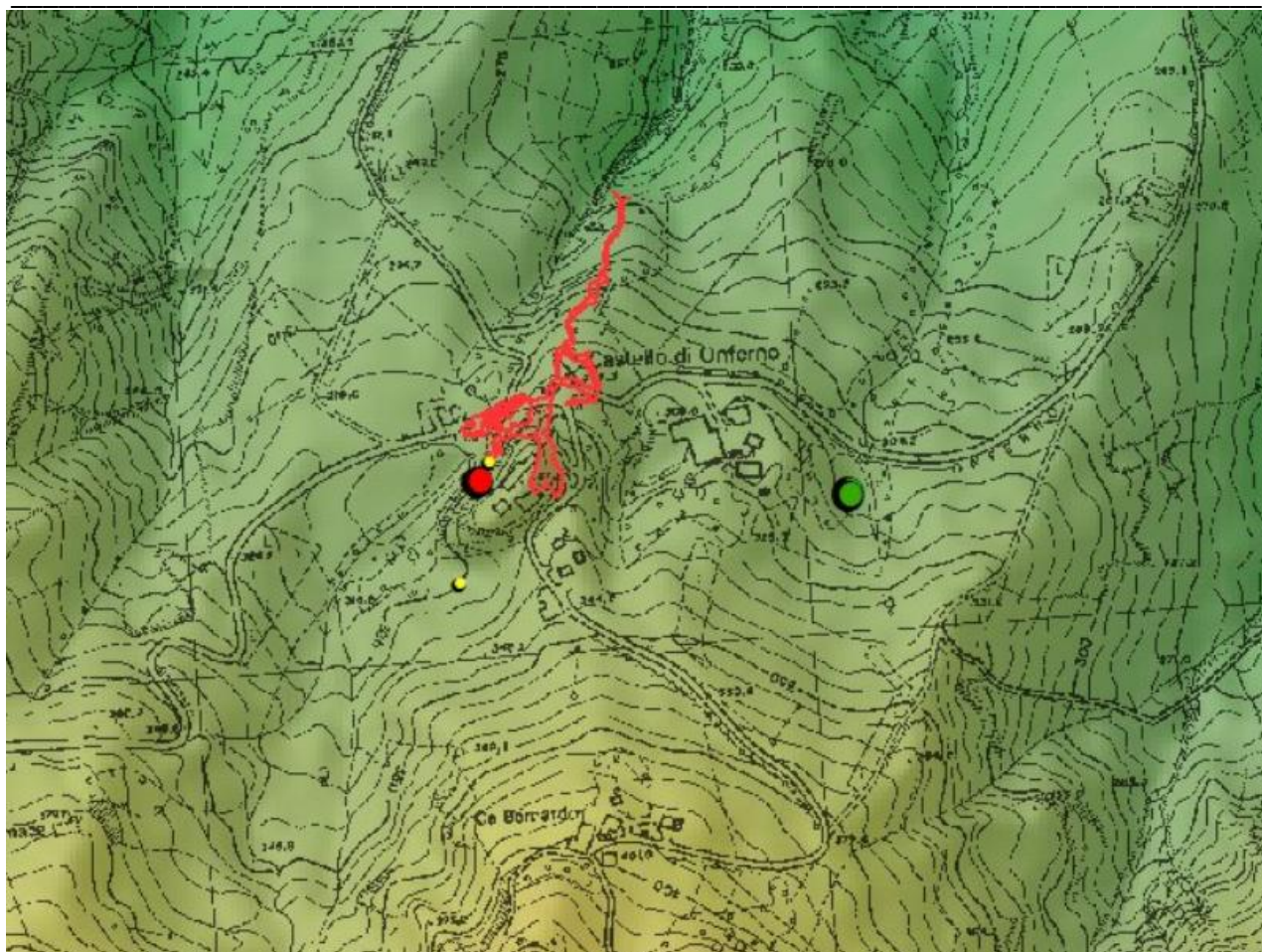


Figura 9.6-Stralcio Web-Gis RER delle Cavit  naturali dell'Emilia-Romagna – Grotte di Onferno - Gemmano (RN)

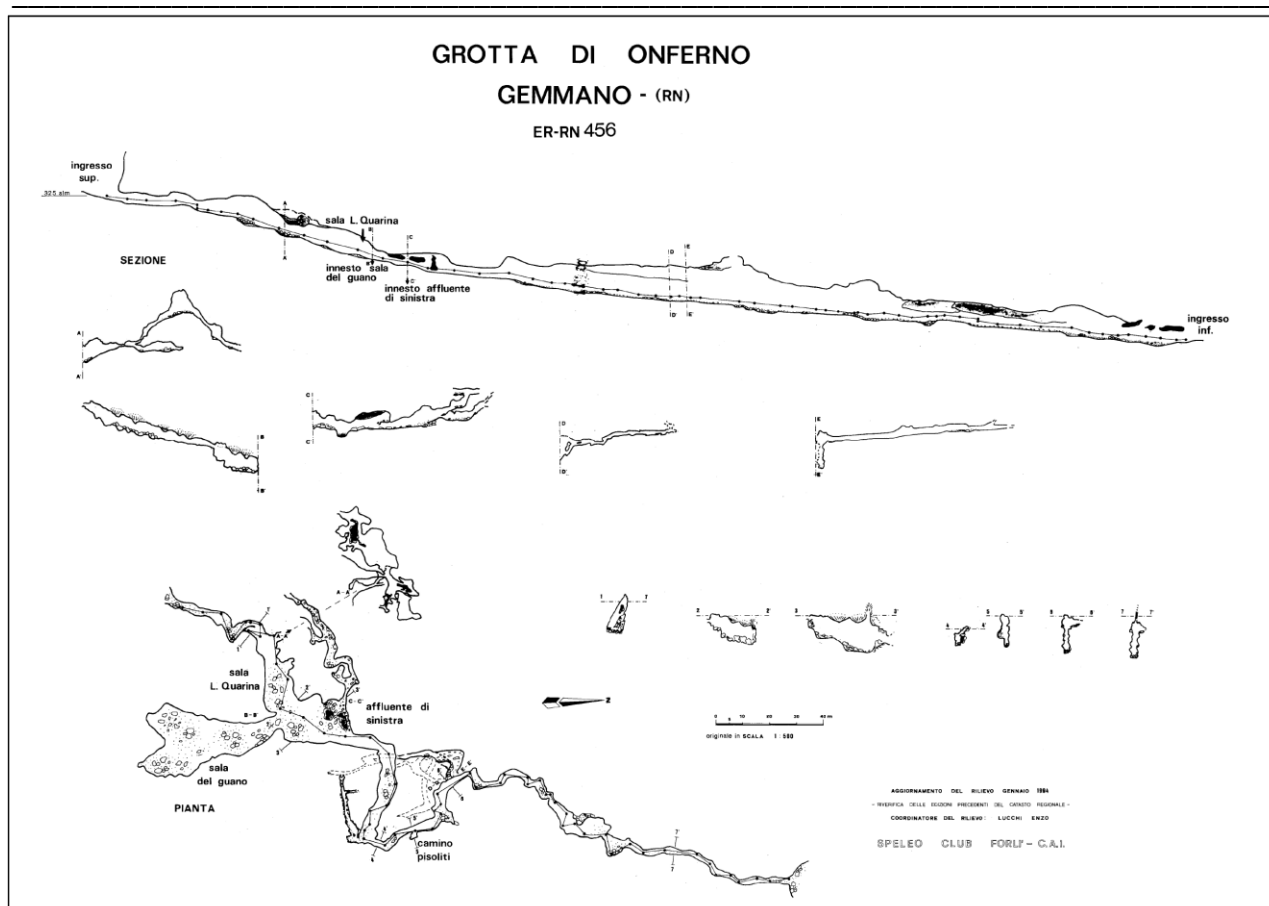


Figura 9.7-Stralcio Rilievo Speleo Club Forlì da scheda ER RN 456 - Grotta di Onferno - Gemmano (RN)



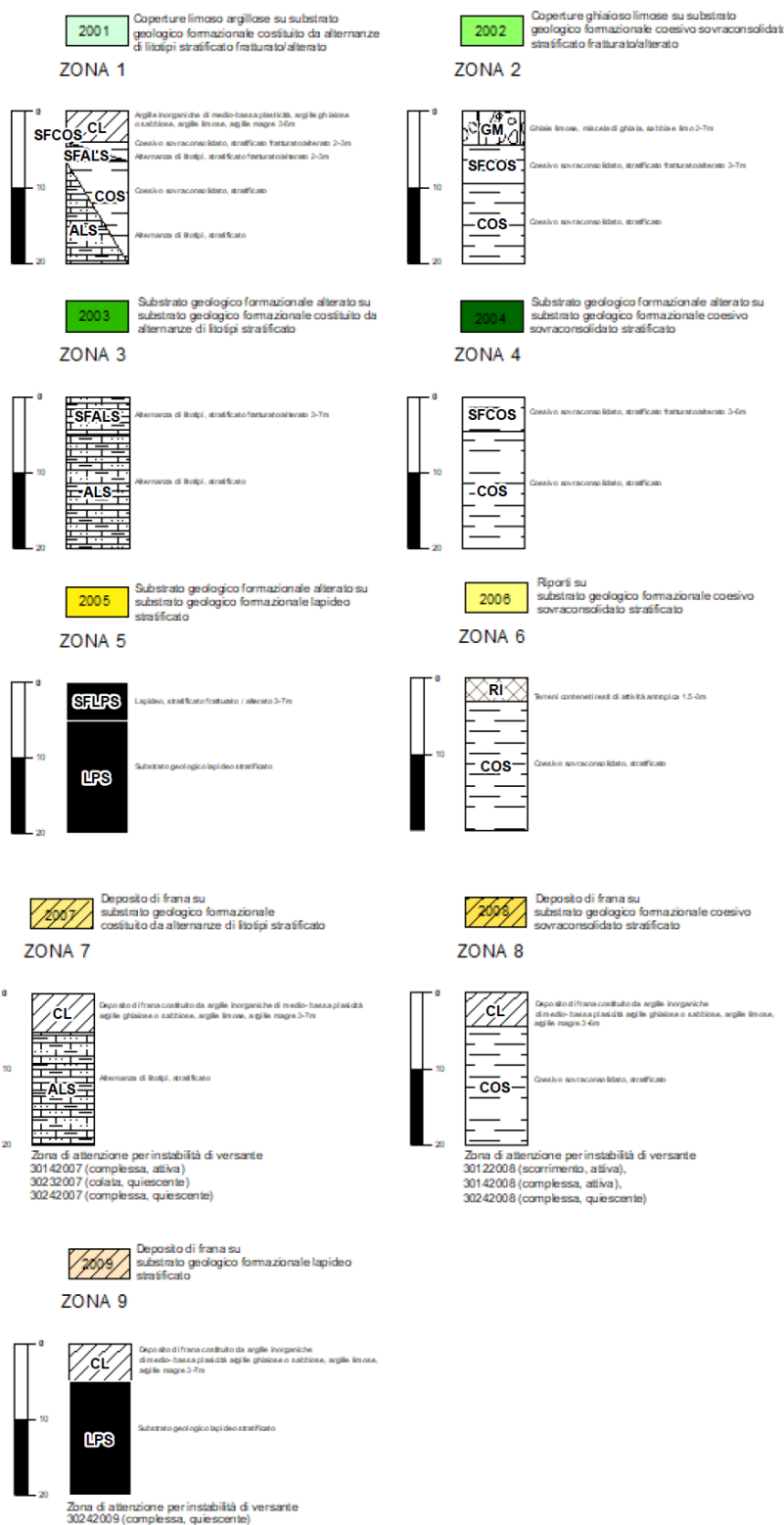
Figura 9.8 - Immagine Sala Quarina da scheda ER RN 456 - Grotta di Onferno - Gemmano (RN)

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)

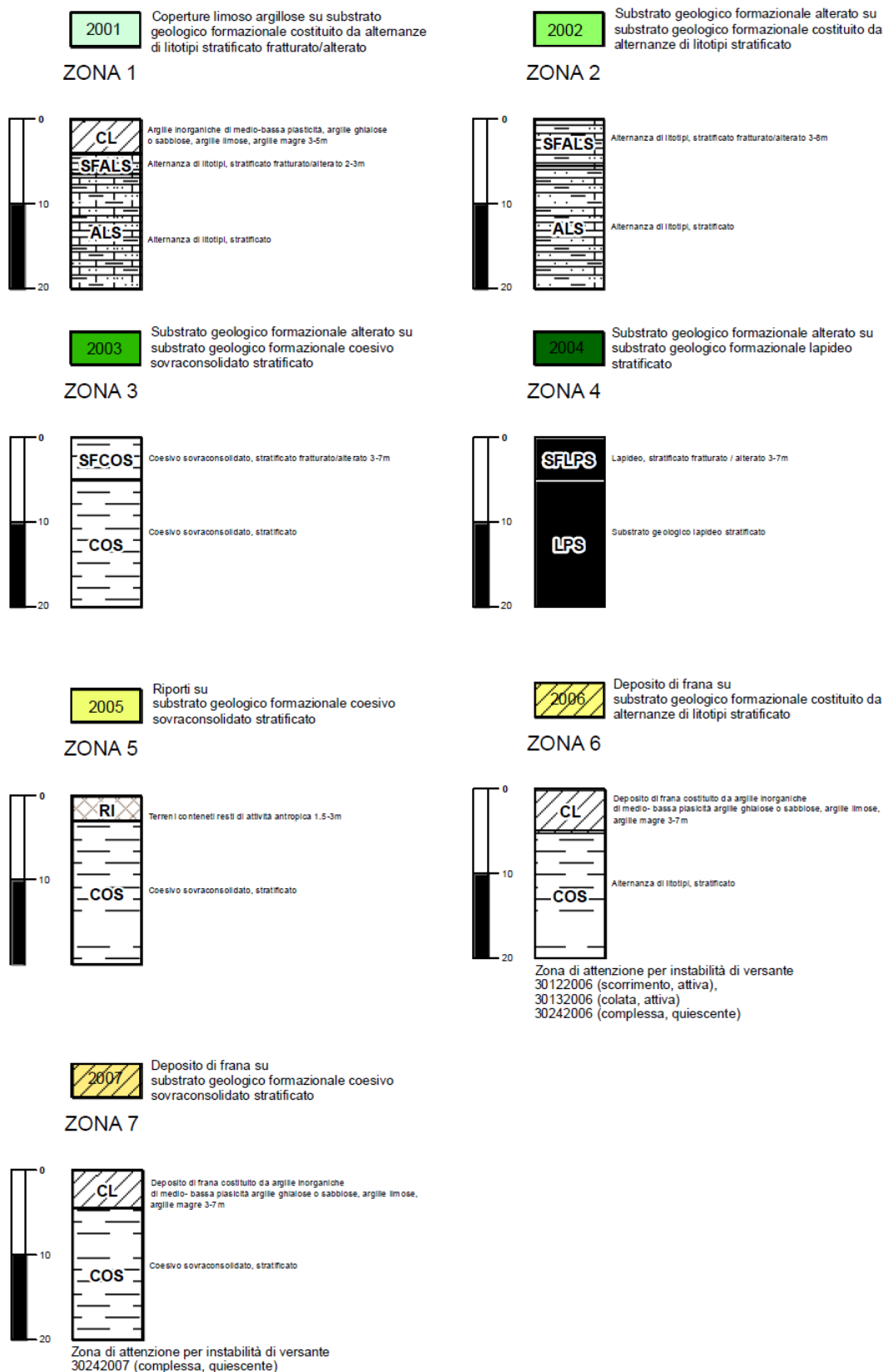
Relazione Illustrativa

Pertanto, le tabelle che seguono riassumono, per ciascuna località in studio, le aree a comportamento sismico omogeneo individuate (ogni colonnina riporta le litologie prevalenti, descrizione sintetica ed è associata ad una microzona in pianta):

GEMMANO



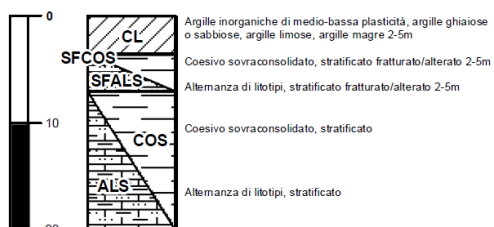
MONDAINO



MONTEFIORE CONCA

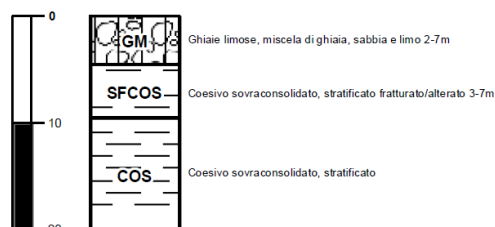
2001 Coperture limoso argillose su substrato geologico formazionale costituito da alternanze di litotipi stratificato fratturato/alterato

ZONA 1



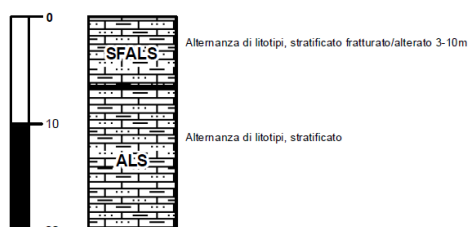
2002 Coperture ghiaioso limose su substrato geologico formazionale coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato

ZONA 2



2003 Substrato geologico formazionale alterato su substrato geologico formazionale costituito da alternanze di litotipi stratificato

ZONA 3



2004 Substrato geologico formazionale alterato su substrato geologico formazionale coesivo sovraconsolidato stratificato

ZONA 4



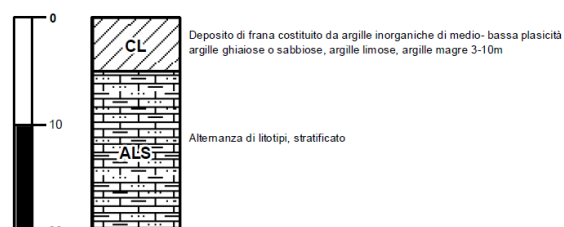
2005 Substrato geologico formazionale alterato su substrato geologico formazionale lapideo stratificato

ZONA 5



2006 Deposito di frana su substrato geologico formazionale costituito da alternanze di litotipi stratificato

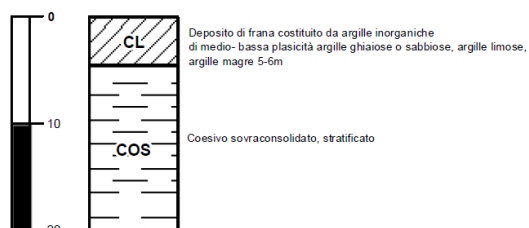
ZONA 6



Zona di attenzione per instabilità di versante
30112006 (crollo o ribaltamento, attiva)
30122006 (scorrimento, attiva)
30232006 (colata, quiescente)
30242006 (complessa, quiescente)

2007 Deposito di frana su substrato geologico formazionale coesivo sovraconsolidato stratificato

ZONA 7



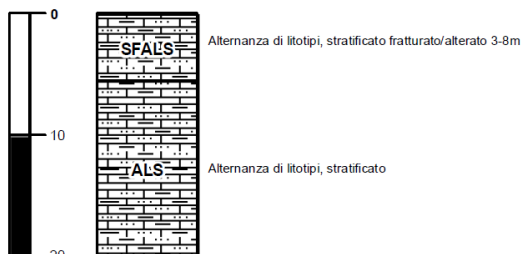
Zona di attenzione per instabilità di versante
30232007 (colata, quiescente),
30242007 (complessa, quiescente)

MONTEGRIDOLFO

2001

Substrato geologico formazionale alterato su substrato geologico formazionale costituito da alternanze di litotipi stratificato

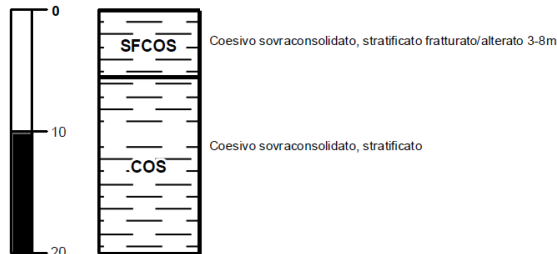
ZONA 1



2002

Substrato geologico formazionale alterato su substrato geologico formazionale coesivo sovraconsolidato stratificato

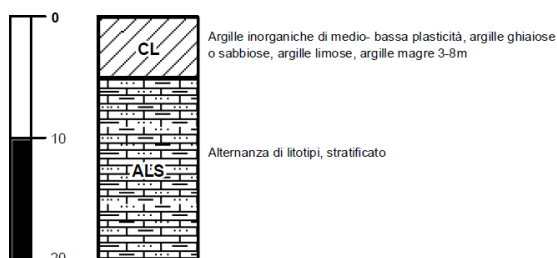
ZONA 2



2003

Coperture limoso argillose su substrato geologico formazionale costituito da alternanze di litotipi stratificato

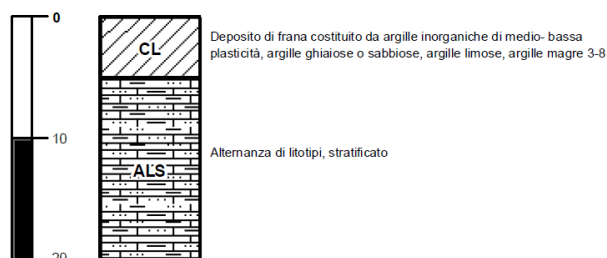
ZONA 3



2004

Deposito di frana su substrato geologico formazionale costituito da alternanze di litotipi stratificato

ZONA 4

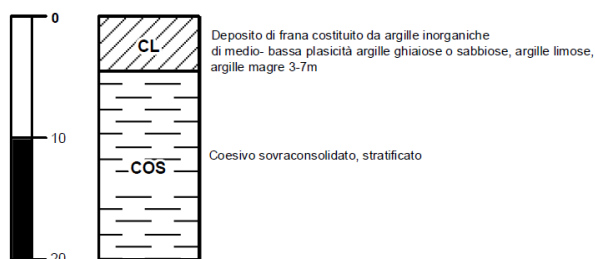


Zona di attenzione per instabilità di versante
30222004 (scorrimento, quiescente),
30252004 (non definito, quiescente),

2005

Deposito di frana su substrato geologico formazionale coesivo sovraconsolidato stratificato

ZONA 5

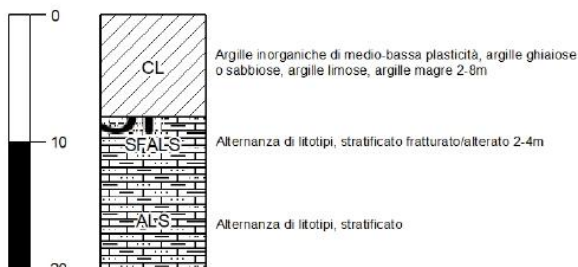


Zona di attenzione per instabilità di versante
30212005 (crollo o ribaltamento, quiescente)
30222005 (scorrimento, quiescente)

MONTESCUDO - MONTECOLOMBO

2001 Coperture limoso argillose su substrato geologico formazionale

ZONA 1



2002 Coperture limoso argillose su substrato geologico formazionale

ZONA 2



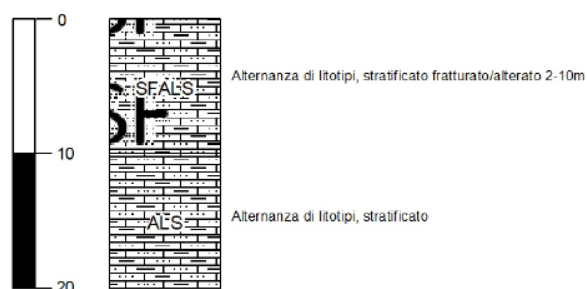
2003 Depositi alluvionali su substrato geologico formazionale

ZONA 3



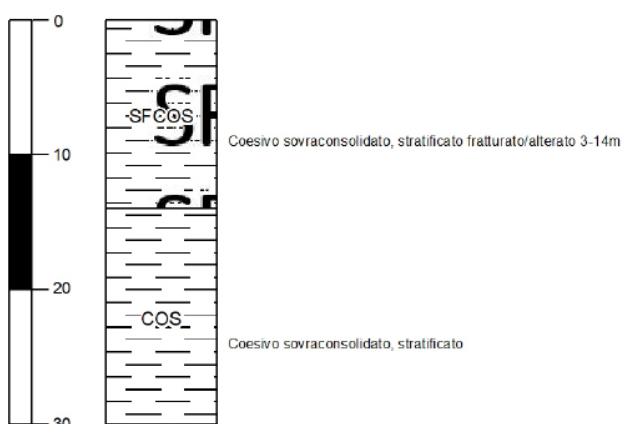
2004 Formazione alterata su substrato geologico stratificato

ZONA 4



2005 Formazione alterata su substrato geologico stratificato

ZONA 5



2006 Formazione alterata su substrato geologico stratificato

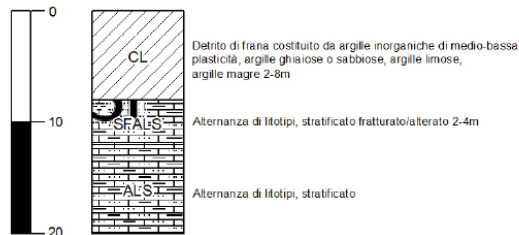
ZONA 6



Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

 Deposito di frana con spessore variabile tra 2 e 8 m su substrato geologico formazionale

ZONA 7



ZONA DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE
 30152007 (non definito, attiva), 30252007 (non definito, quiescente)

 Deposito di frana con spessore variabile tra 2 e 10 m su substrato geologico formazionale

ZONA 8



ZONA DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE
 30122008 (scorrimento, attiva), 30132008 (colata, attiva), 30152008 (non definito, attiva), 30222008 (scorrimento, quiescente), 30252008 (non definito, quiescente)

 Deposito di frana con spessore variabile tra 2 e 14 m su substrato geologico stratificato

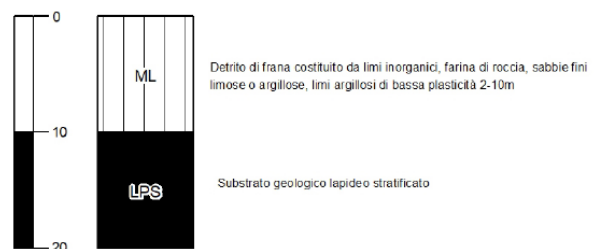
ZONA 9



ZONA DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE
 30122009 (scorrimento, attiva), 30142009 (complessa, attiva), 30152009 (non definito, attiva), 30242009 (complessa, quiescente), 30252009 (non definito, quiescente)

 Deposito di frana con spessore variabile tra 2 e 10 m su substrato geologico stratificato

ZONA 10



ZONA DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE
 30142010 (complessa, attiva), 30252010 (non definito, quiescente)

 Formazione alterata con presenza di cavità su substrato geologico stratificato

ZONA 11

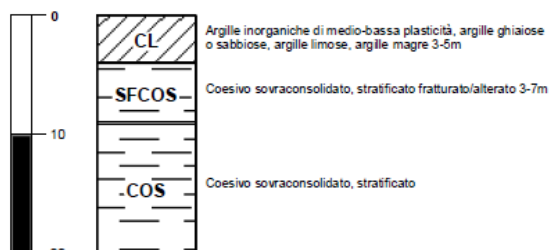


ZONA DI ATTENZIONE PER CEDIMENTI DIFFERENZIALI/CROLLO DI CAVITA' SOTTERRANEE
 3080

MORCIANO DI R.

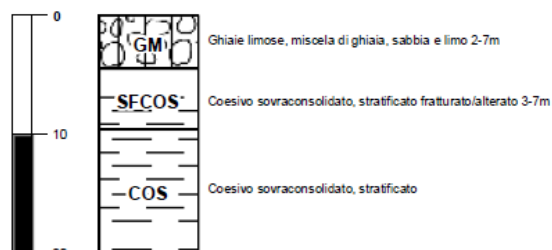
2001 Coperture limoso argillose su substrato geologico formazionale coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato /alterato

ZONA 1



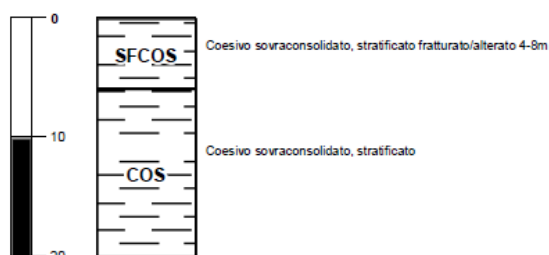
2002 Coperture ghiaioso limose su substrato geologico formazionale coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato

ZONA 2



2003 Substrato geologico formazionale alterato su substrato geologico formazionale coesivo sovraconsolidato stratificato

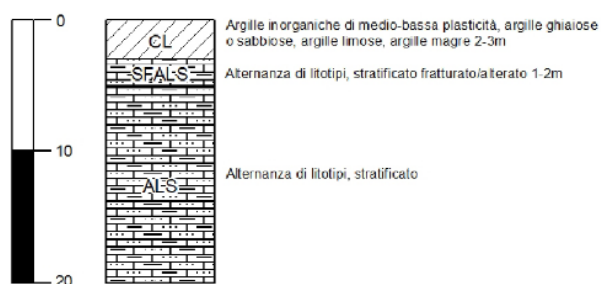
ZONA 3



SALUDECIO

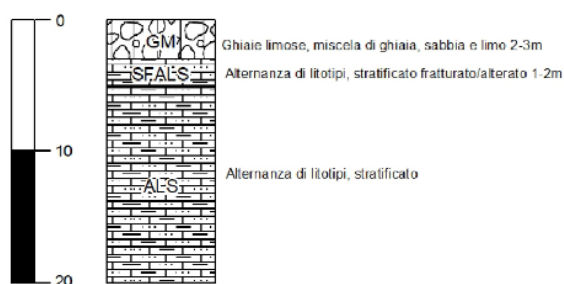
2001 Coperture limoso argillose su substrato geologico formazionale

ZONA 1



2002 Depositi alluvionali su substrato geologico formazionale

ZONA 2



Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

2003 Formazione alterata su substrato geologico stratificato

ZONA 3



2004 Formazione alterata su substrato geologico stratificato

ZONA 4



Deposito di frana con spessore variabile tra 2 e 10 m su substrato geologico formazionale

ZONA 5



Deposito di frana con spessore variabile tra 2 e 12 m su substrato geologico formazionale

ZONA 6

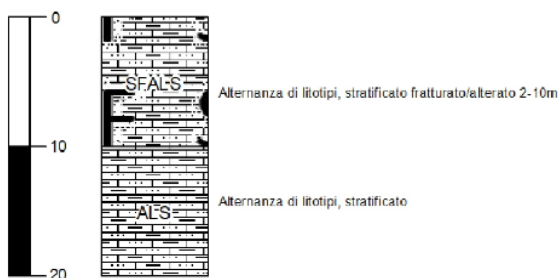


ZONA DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE
30122005 (scorrimento, attiva), 30142005 (complessa, attiva, 30242005 (complessa, quiescente)

ZONA DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE
30222006 (scorrimento, quiescente), 30242006 (complessa, quiescente), 30252006 (non definito, quiescente)

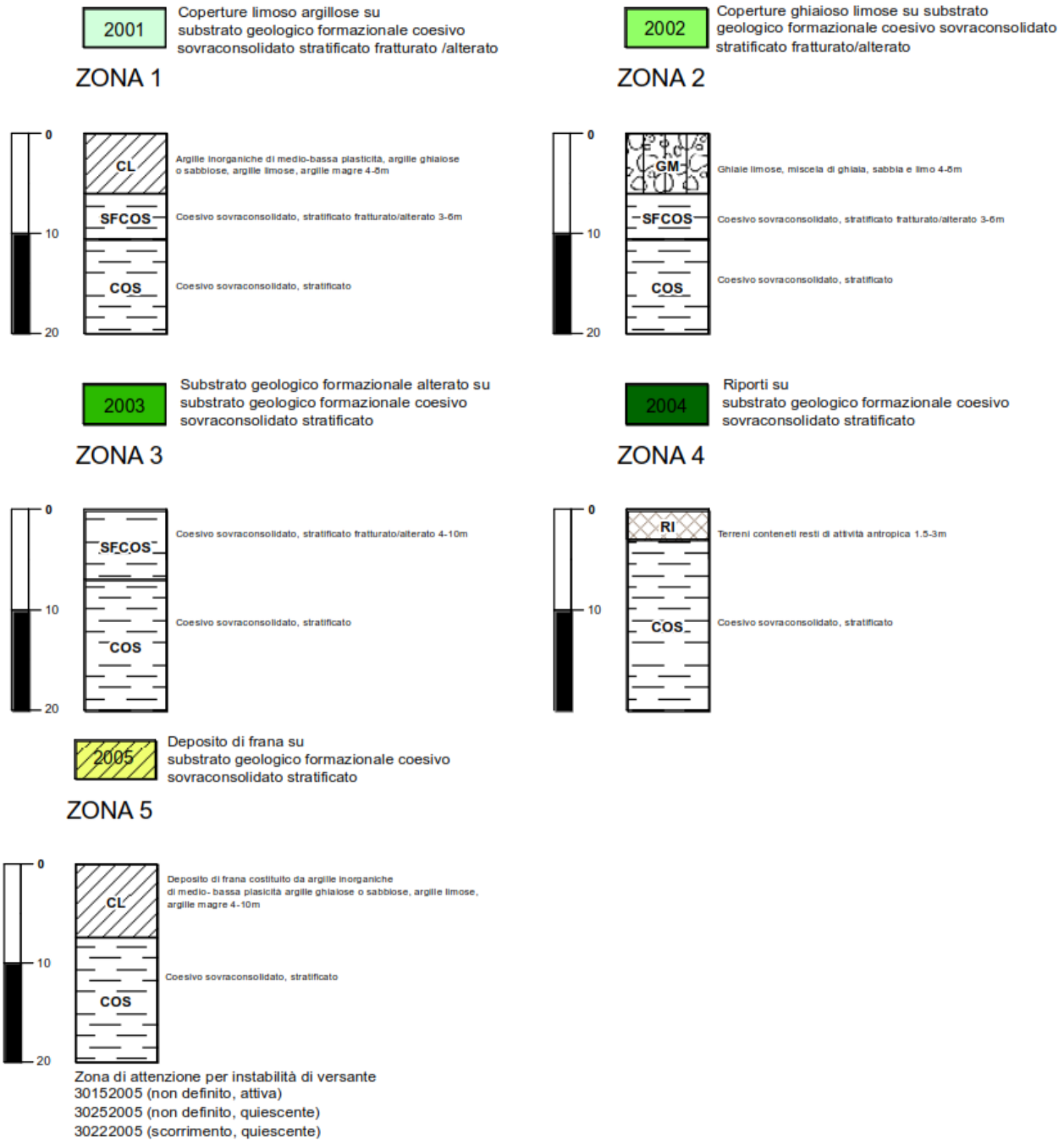
Formazione alterata con presenza di cavità su substrato geologico stratificato

ZONA 7



ZONA DI ATTENZIONE PER CEDIMENTI DIFFERENZIALI/CROLLO DI CAVITA' SOTTERANEE
3080

SAN CLEMENTE



Per tutte le zone illustrate sono attese amplificazioni del moto sismico per motivi stratigrafici e talora topografici.

A tal proposito nella carta delle MOPS vengono altresì riportate le tracce di sezione topografica utili a verificare localmente la presenza ed entità di eventuali fenomeni di amplificazione topografica. Tali fenomeni, ove ipotizzabili, sono stati successivamente quantificati tramite gli approcci semplificati indicati nelle ICMS 2008 per scarpate e versanti con conformazione a cresta (paragrafo 3.3, pag. 158-160, Volume 3).

9.2 MICROZONAZIONE SISMICA AL II - III LIVELLO DI ANALISI

9.2.1 Carta delle velocità delle onde di taglio s

Per la costruzione della carta delle velocità delle onde di taglio sono state utilizzate sia le indagini a supporto dei precedenti studi di Microzonazione Sismica di Livello I-II che le nuove indagini geofisiche di tipo attivo (SCPT, Down Hole, MASW) e passivo (ESAC/SPAC, Re.Mi., HVSr) realizzate per gli approfondimenti di studio di III Livello.

In Figura 9.9 è possibile osservare la distribuzione sul territorio delle differenti indagini sismiche: ogni rilievo è stato codificato come riportato negli standard di archiviazione e rappresentazione informatica 4.2 riferiti a “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”.

In base alla profondità del substrato geologico di misura e, considerato che il bedrock geofisico in sito presenta solitamente una $V_s \ll 800$ m/s, per ciascun sito si è valutato sia il valore rappresentativo di V_sH che il valore di V_{s30} riferito ai primi 30 metri superficiali.

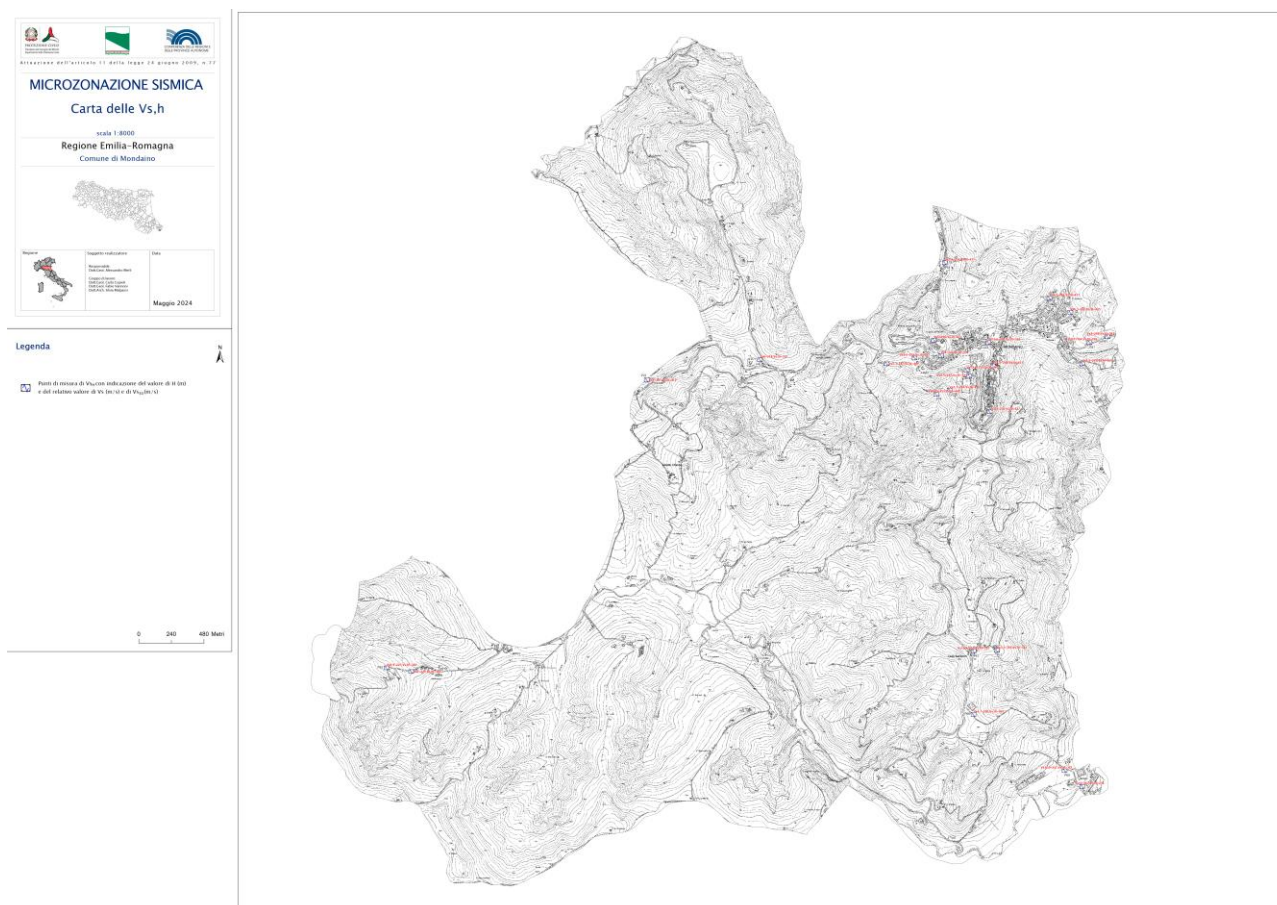


Figura 9.9 – Miniatura della carta delle velocità delle onde di taglio V_sH .

9.2.2 Carte dei Fattori di Amplificazione Stratigrafica

I terreni indagati, nonostante presentino caratteristiche litologiche talora differenti (vedi Cap. 4), generalmente non mostrano sensibili variazioni nelle caratteristiche fisico-meccaniche delle coperture e dei

substrati geologici superficiali alterati. A tal proposito, ai fini dell'analisi semplificata di II Livello, il territorio in studio è stato discretizzato schematizzando situazioni geologiche omogenee al fine di poter stimare in maniera consona i fattori di amplificazione sismica tramite metodo semplificato tabellare proposto nella DGR 630/2019 come aggiornata dalla DGR 564/2021. Per cogliere in modo significativo a livello locale la variazione dei fattori di amplificazione (FA) in funzione degli effetti stratigrafici, l'assegnazione di tali coefficienti è stata definita attraverso la stima puntuale del parametro di velocità equivalente V_{sH} .

secondo la seguente formulazione:
$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i / V_{si}}$$
 dove N è il numero di strati del profilo sismico corrispondenti alla copertura, H è lo spessore totale (in m) dei terreni di copertura o profondità del tetto del substrato, h_i = spessore (in m) dello strato i-esimo (fino al substrato), V_{si} = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al substrato). Date le caratteristiche di rigidezza sismica delle formazioni geologiche, per la stima di H si è assunta la profondità del tetto del substrato “non rigido”, ovvero il substrato geologico inalterato contraddistinto da una $V_s < 800$ m/s. In virtù degli spessori delle coperture, delle relative caratteristiche di rigidezza e profondità del bedrock, le carte di Amplificazione in termini di accelerazione F_a_PGA e di amplificazione spettrale (in accelerazione e in velocità) relative ai bassi periodi F_a_SA1 - F_a_SI1 (F_a 0.1-0.5s) e F_a_SA2 (F_a 0.4-0.8s), maggiormente condizionate dalla risposta di sito nei range di alta-media frequenza, risultano maggiormente correlate tra loro rispetto a F_a_SA3 (F_a 0.7-1.1s) e F_a_SI2 (F_a 0.5-1.0s).

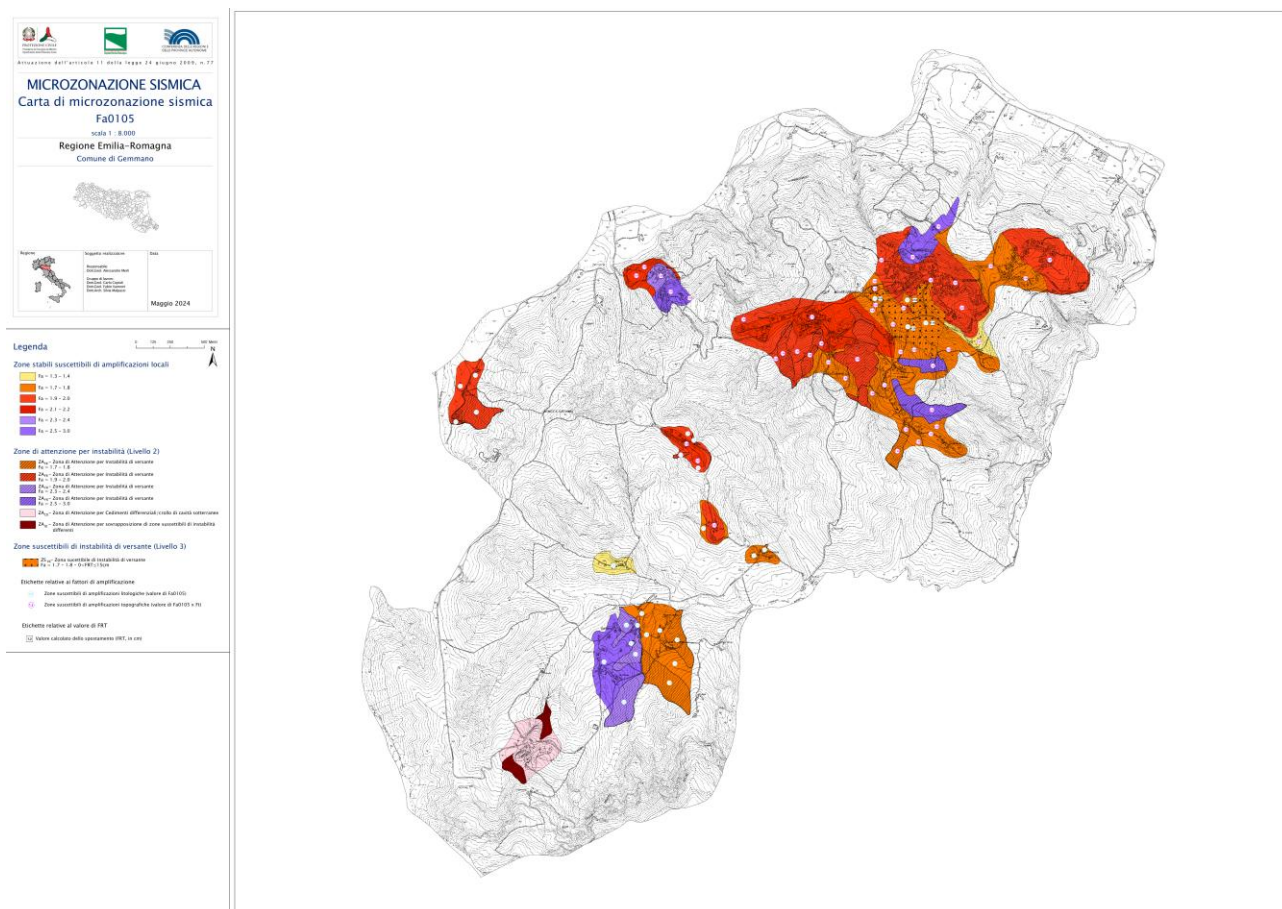


Figura 9.10 - Miniatura della carta di MS per periodi dello spettro di risposta in accelerazione tra 0.1-0.5 s (Fa SA1).

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)

Relazione Illustrativa

In dettaglio, le 6 carte di Microzonazione (Fa-PGA - Fa_SA1 - Fa_SA2 - Fa_SA3 - Fa_SI1 - Fa_SI2) sono state costruite come segue:

- A ciascuna Microzona individuata nella carta delle MOPS è stato assegnato, in base ai rilievi disponibili riportati nella mappa delle velocità, un unico valore rappresentativo di Vs. Tale valore è stato assegnato in termini di VsH con bedrock geofisico caratterizzato da $V_s \ll 800$ m/s; al proposito si rileva come rigidezze proprie di substrati con $V_s \geq 800$ m/s si possano riscontrare solo a profondità elevate.
- In base a ciascun valore Vs assegnato alle varie zone (VsH) è stato successivamente possibile identificare e/o accoppiare Microzone con caratteristiche dinamiche simili suddividendo il territorio in zone a caratteristiche di amplificative omogene.
- In base all' abaco A 2.1.1 "APPENNINO" (riportato in Figura 9.11), per substrato non rigido con $V_s \ll 800$ m/s (Allegato A2 – DGR 630/2019 e 564/2021), è stato quindi assegnato il Fattore di Amplificazione corrispondente alla classe di VsH precedentemente determinata.

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Fattore di Amplificazione PGA

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	
10	2.3	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
15	2.8	2.3	1.9	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	
20	3.2	2.9	2.3	1.8	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	
25	3.4	3.2	2.7	2.0	1.7	1.5	1.5	1.4	1.3	
30		3.3	2.9	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.4	
35		3.3	3.0	2.5	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		3.2	3.1	2.7	2.3	2.0	1.7	1.5	1.4	1.2
50		3.0	3.0	2.8	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.3

Fattore di Amplificazione SA2 (0.4s ≤ T ≤ 0.8s)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattore di Amplificazione SI1 (0.1s ≤ T ≤ 0.5s)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.2	1.8	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	
10	2.5	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.5	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
20	2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	1.3	
25	2.4	2.4	2.3	2.2	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.3	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.2	2.2	2.2	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.1	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
50		2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2

Fattore di Amplificazione SA1 (0.1s ≤ T ≤ 0.5s)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
15	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
20	2.4	2.1	1.6	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
25	3.4	2.5	1.9	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
30		3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	
35		3.3	2.7	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.1
40		3.6	3.1	2.2	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2
50		3.6	3.4	2.9	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Fattore di Amplificazione SA3 (0.7s ≤ T ≤ 1.1s)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattore di Amplificazione SI2 (0.5s ≤ T ≤ 1.0s)

Figura 9.11 - Abaco "Appennino" per substrato non rigido con $V_s \ll 800$ m/s (rilasciato dalla Regione Emilia Romagna per il calcolo dei Fattori di Amplificazione al II livello di analisi di Microzonazione Sismica).

Quindi gli elaborati finali sono stati realizzati accoppiando aree con valori di FA simili, come riportato negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica 4.2 in allegato alle linee guida per la Microzonazione Sismica. In Figura 9.12 vengono mostrate le classi di colore assegnate per ciascun range di amplificazione ottenuto.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione). ¹⁴	
	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5

Figura 9.12 - Classi di colore riferite ai Fattori di Amplificazione (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.2)

Per ciascuna microzona, tramite specifiche etichette sovrimposte a livello grafico, è stato altresì riportato il relativo valore numerico del Fa ottenuto sia per le zone stabili che di attenzione per instabilità, ad eccezione delle “Zone di Attenzione per Cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee” e “Zone di Attenzione per sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti”, in quanto caratterizzate da complessi fenomeni di amplificazione sismica e, spesso, da forti deformazioni/cedimenti e condizioni di comportamento non lineare, per cui è opportuno svolgere approfondite verifiche tramite specifici approfondimenti di III Livello.

Diversamente, a seguito degli approfondimenti di III Livello, presso le frane oggetto di studio, i relativi fattori di amplificazione sono stati calcolati tramite analisi di risposta sismica locale, sostituendoli a quelli preliminarmente stimati da approccio tabellare

9.2.3 Fattori di Amplificazione Topografica

Considerata la presenza di conformazioni morfologiche potenzialmente comportanti fenomeni di amplificazione di tipo topografico, una stima di tali fattori di amplificazione attesi è stata desunta dall'applicazione degli approcci semplificati indicati nelle ICMS 2008 per scarpate rocciose e versanti con conformazione a cresta (paragrafo 3.3, pag. 158-160, Volume 3).

Tale scelta è stata assunta a seguito di una verifica preliminare, confrontando i risultati anche con il metodo semplificato proposto al Par. A2.2 nella Del. G.R. 630/2019 R.E.R. Tuttavia poiché i risultati risultavano sostanzialmente confrontabili, in virtù della specifica conformazione morfologica dei rilievi locali e delle creste (frequentemente arrotondate) su cui sorgono i centri abitati principali si è optato per il metodo ICMS2008 in quanto ritenuto maggiormente rappresentativo per gli assetti locali.

Caso per caso, dall'analisi delle varie configurazioni morfologiche individuate lungo specifiche sezioni

topografiche rappresentative, si sono applicate le formulazioni semplificate per creste e scarpate rocciose di cui al par. 3.3.1 e 3.3.2 ICMS 2008 (vedi figura 9.13-9.14) e di cui, di seguito, si riportano anche i relativi abachi (tabella 9.1–9.2):

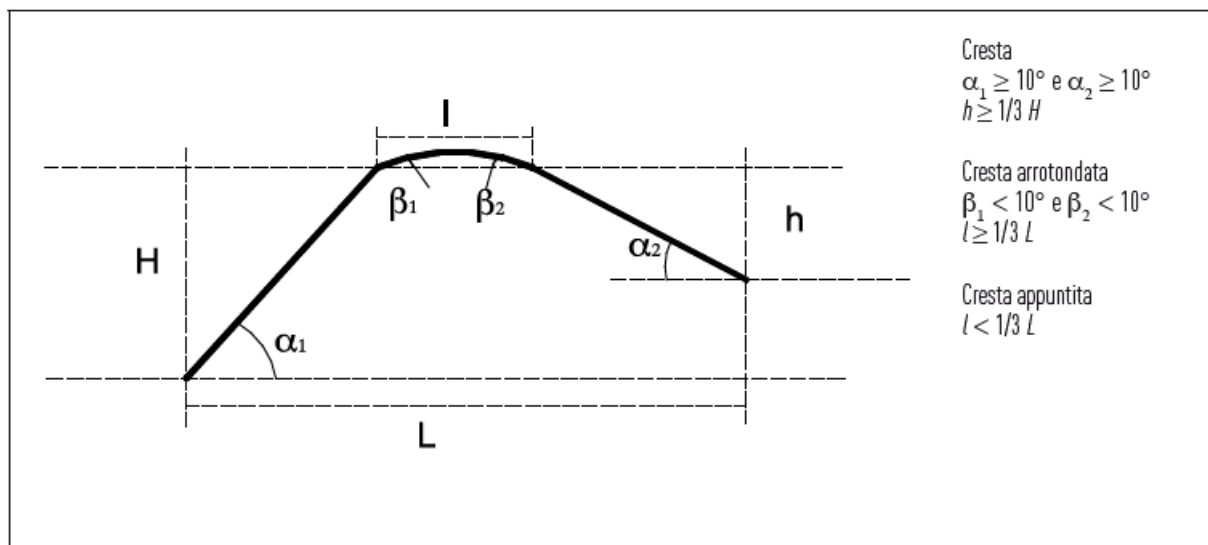


Figura 9.13 – Schema di riferimento per la cresta e criteri di riconoscimento (ICMS2008)

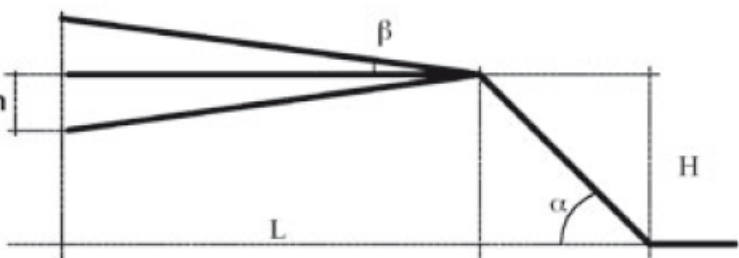
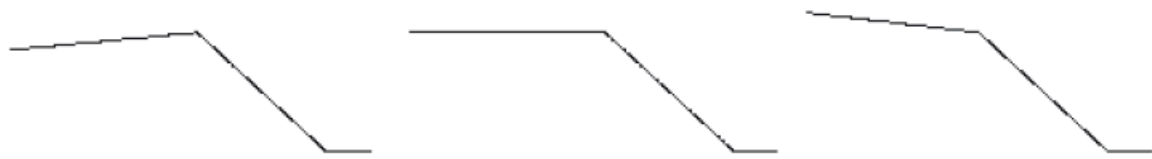
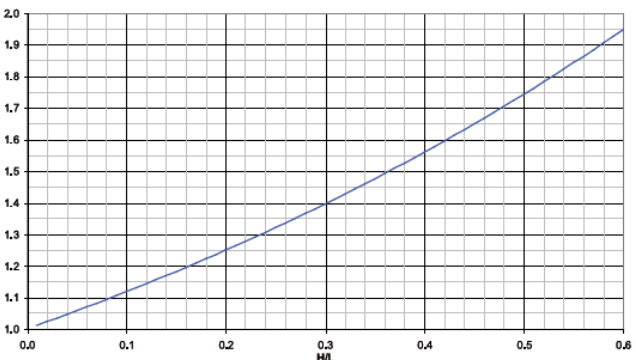
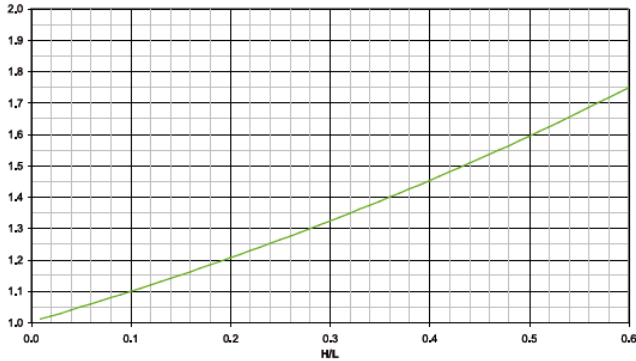
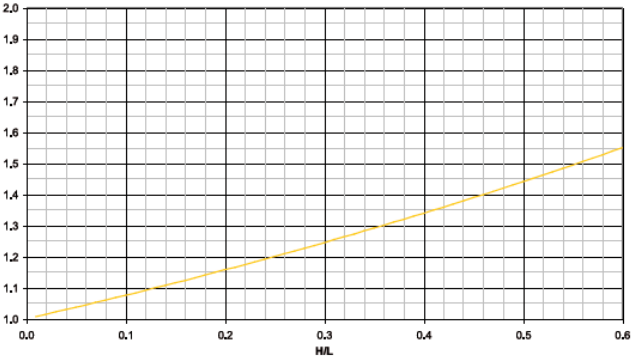
$H \geq 10 \text{ m}$ $\alpha \geq 10^\circ$ $L \approx H$ oppure $L > 15-20 \text{ m}$			
			
Scarpata in contropendenza $h < 1/3 H$	Scarpata ideale $h = 0$ $\beta = 0$	Scarpata in pendenza $\beta \leq 1/5 \alpha$	

Figura 9.14 – Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento (ICMS2008)

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

Tabella 9.1 – Abaco per creste rocciose (Tab. 3.3-1 - ICMS2008)

Creste appuntite $L > 350$	$F_{a_{0,1-0,5}} = e^{\frac{1,1H}{L}}$	CORRELAZIONE H/L - Fa 0,1-0,5 s CRESTE APPUNTITE $L > 350$ m 
Creste appuntite $250 < L < 350$	$F_{a_{0,1-0,5}} = e^{\frac{0,93H}{L}}$	CORRELAZIONE H/L - Fa 0,1-0,5 s CRESTE APPUNTITE $250 \text{ m} < L < 350 \text{ m}$ 
Creste appuntite $150 < L < 250$	$F_{a_{0,1-0,5}} = e^{\frac{0,73H}{L}}$	CORRELAZIONE H/L - Fa 0,1-0,5 s CRESTE APPUNTITE $150 \text{ m} < L < 250 \text{ m}$ 

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

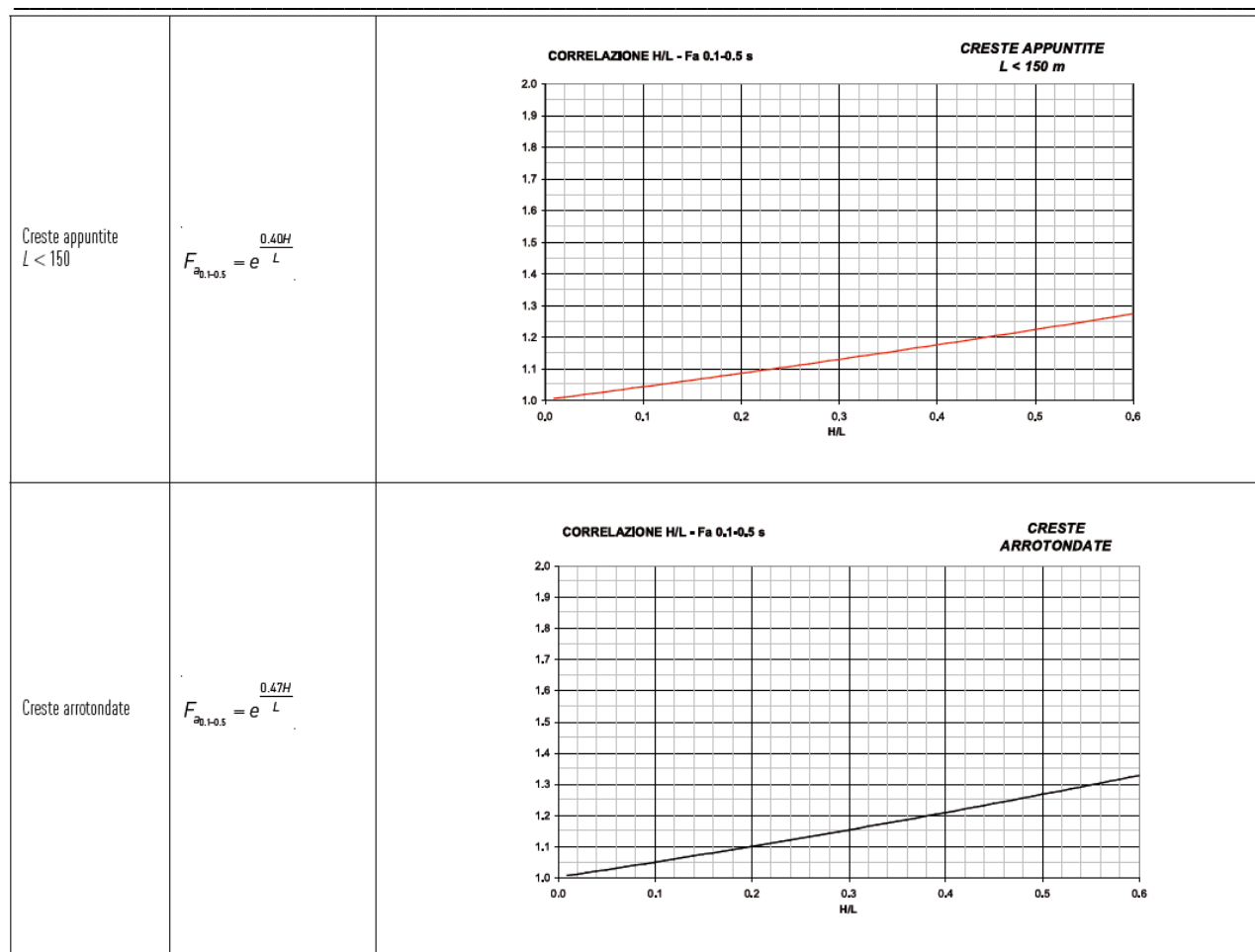


Tabella 9.2 – Abaco per scarpate rocciose (Tab. 3.3-2 - ICMS2008)

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di F_i	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{3}{4} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Tali abachi sono utilizzabili per il calcolo di fattori di amplificazione (Fa) per le creste rocciose (bedrock sismico affiorante) caratterizzate da pendii con inclinazione media maggiore o uguale ai 10° (Figura 9.13) e per scarpate rocciose caratterizzate da fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m e inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore ai 10° (Figura 9.14 – Tabella 9.2).

In funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di FA in base al valore del coefficiente di forma H/L (Tabella 9.1).

Il valore di FA determinato è stato approssimato alla prima cifra decimale (indicazioni ICMS 2008) ed assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta, mentre lungo i versanti tale valore è stato scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante e, in ogni caso, stimando il Fa sino al margine della microzona in studio (ove questo risulti di estensione minore).

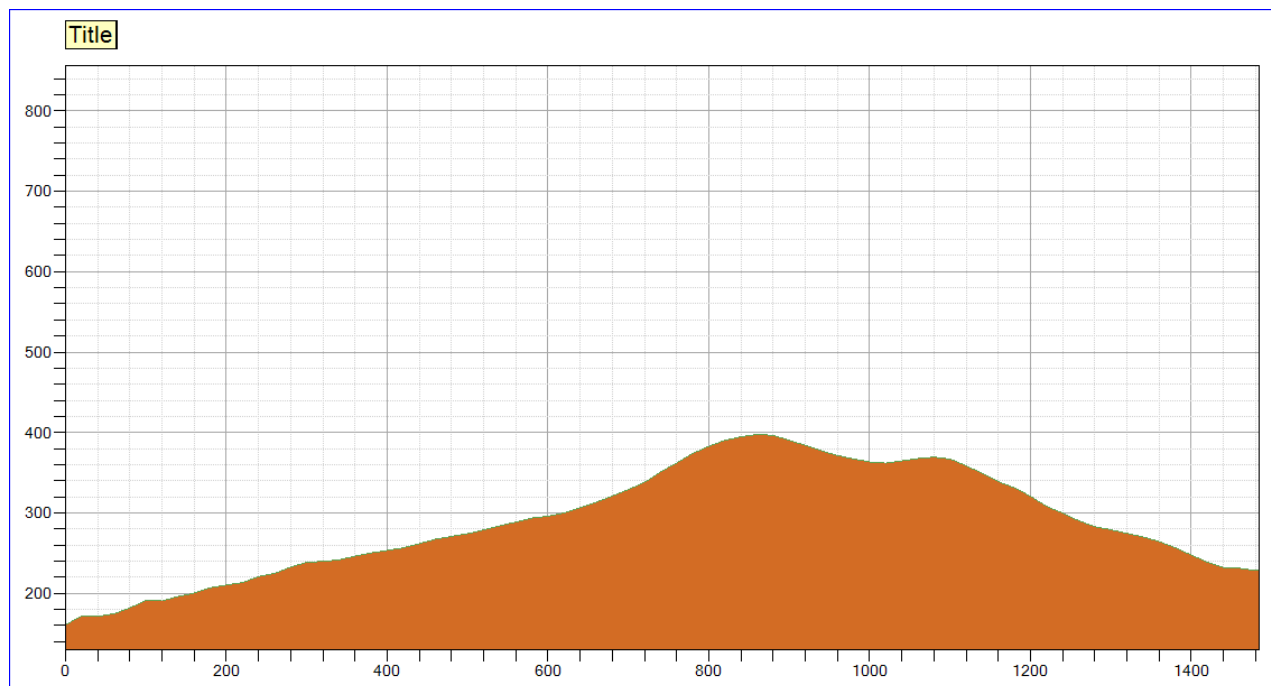
Analogamente per le scarpate (Tabella 9.2) si riporta il valore di Fa per ciascuna classe altimetrica (H) e classe di inclinazione (α) (Pergalani e Compagnoni, 2006b).

Un valore di Fa caratteristico è assegnato a ogni tipologia di scarpata potendo individuare anche l'estensione della relativa area di influenza (A_i) in funzione dell'altezza del pendio.

Di seguito si riportano schematicamente i profili analizzati completi delle caratteristiche geometriche rappresentative per ciascun comune in studio. Tali profili sono stati individuati sulla base di caratteri geomorfologici ritenuti rilevanti ai fini di una potenziale amplificazione sismica.

Si precisa che per i comuni di Morciano di Romagna e San Clemente non vengono riportate sezioni topografiche identificative in quanto le aree studiate non risultano interessate da pendii o configurazioni morfologiche riconducibili alle situazioni potenzialmente amplificanti di cui alle tabelle e schemi precedentemente riportati.

GEMMANO



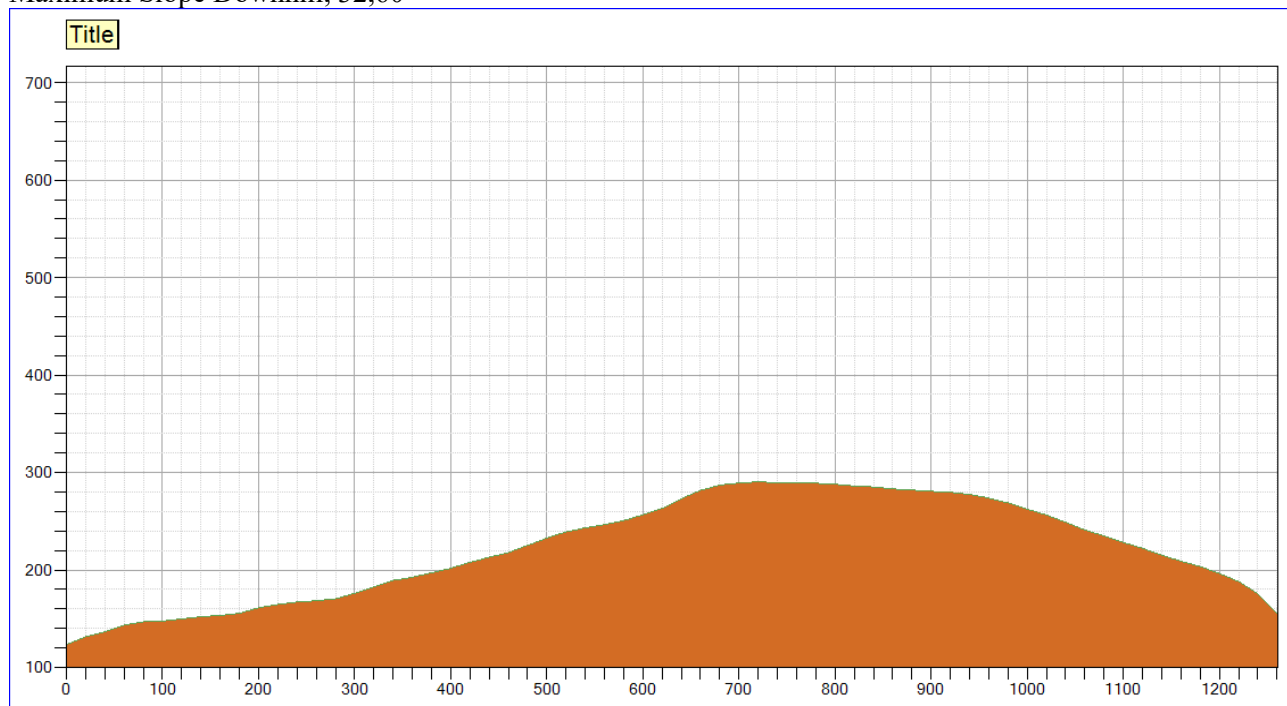
Gemmano A

Average Slope Uphill, 15,61

Average Slope Downhill, 16,55

Maximum Slope Uphill, 33,22

Maximum Slope Downhill, 32,60



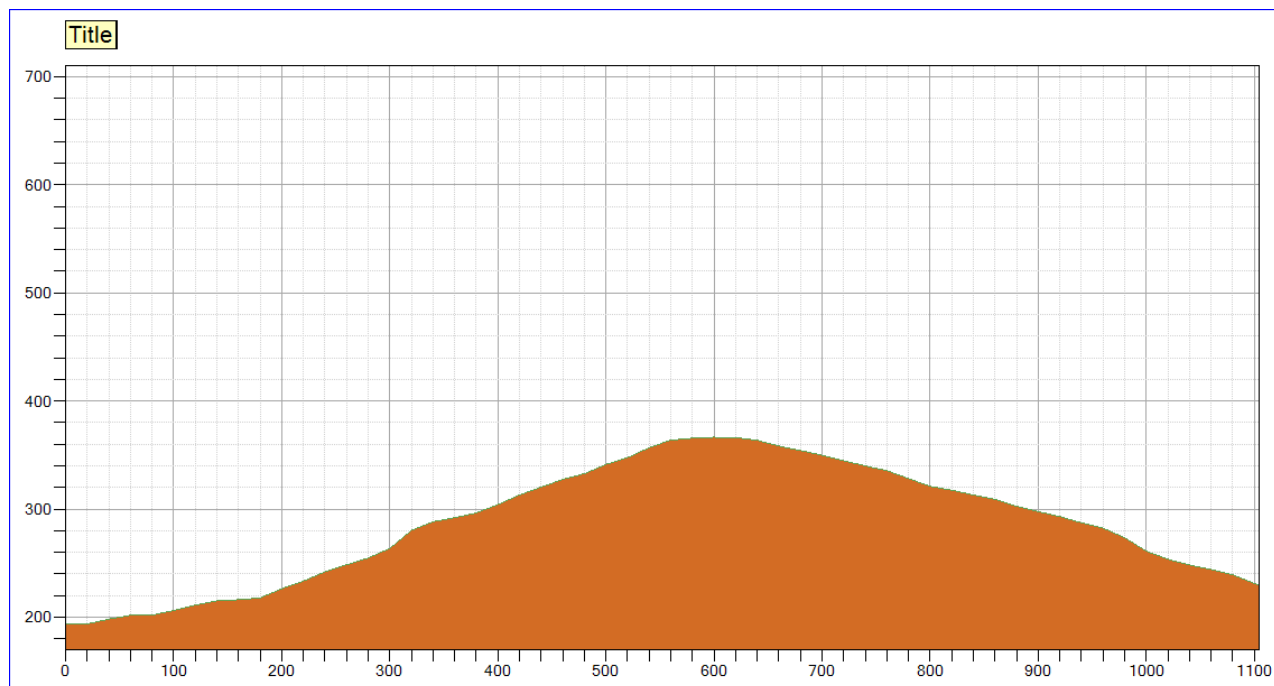
Gemmano B

Average Slope Uphill, 12,73

Average Slope Downhill, 14,81

Maximum Slope Uphill, 26,37

Maximum Slope Downhill, 71,39



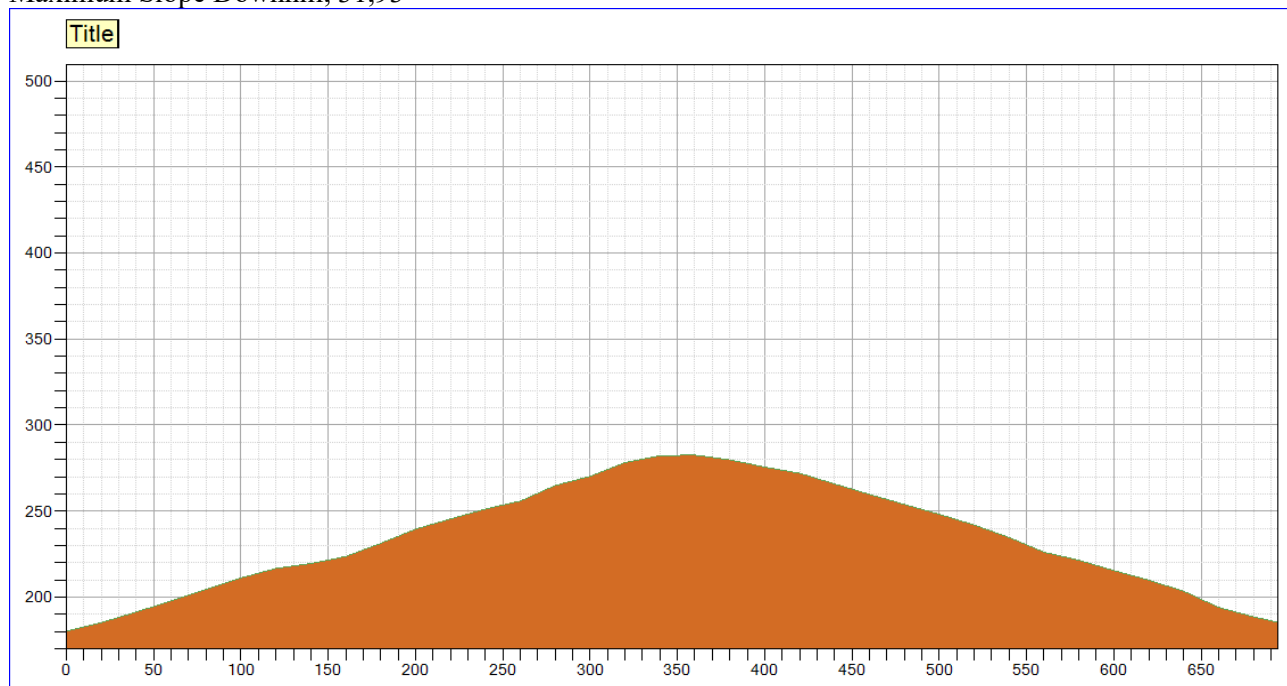
Gemmano C

Average Slope Uphill, 16,09

Average Slope Downhill, 15,18

Maximum Slope Uphill, 39,60

Maximum Slope Downhill, 31,93



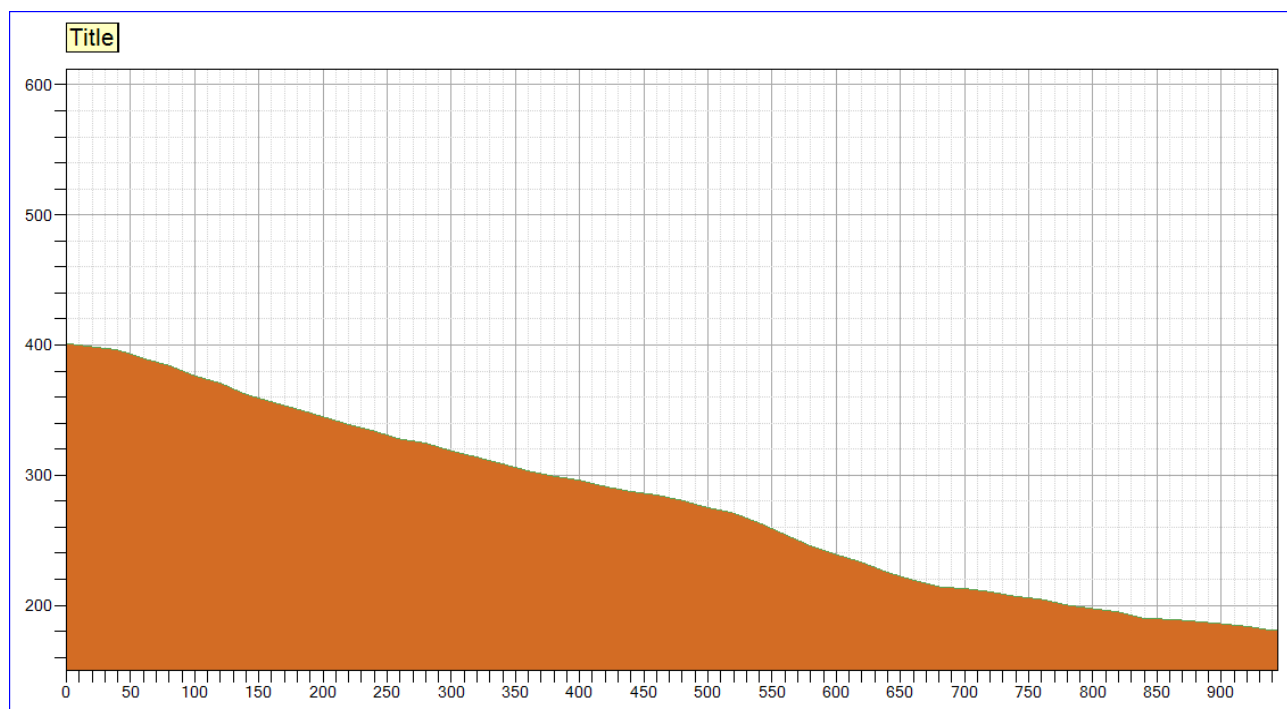
Gemmano D

Average Slope Uphill, 15,86

Average Slope Downhill, 16,24

Maximum Slope Uphill, 24,34

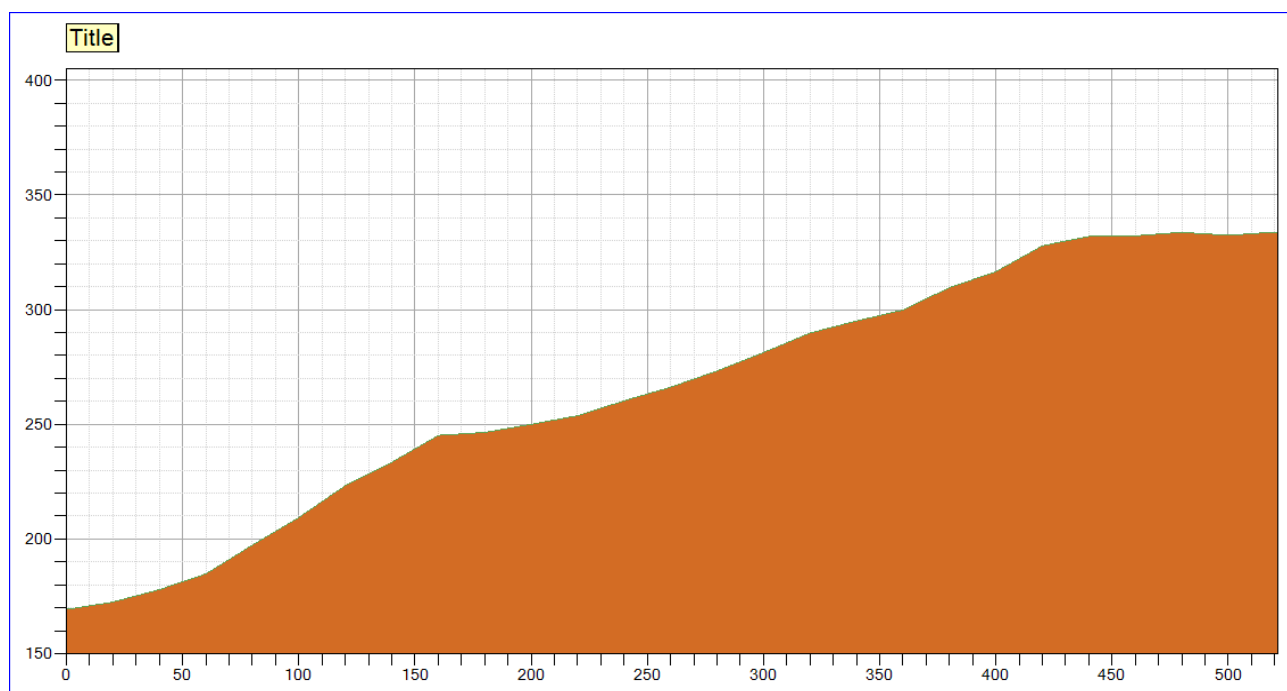
Maximum Slope Downhill, 25,18



Gemmano E

Average Slope Downhill,13,21

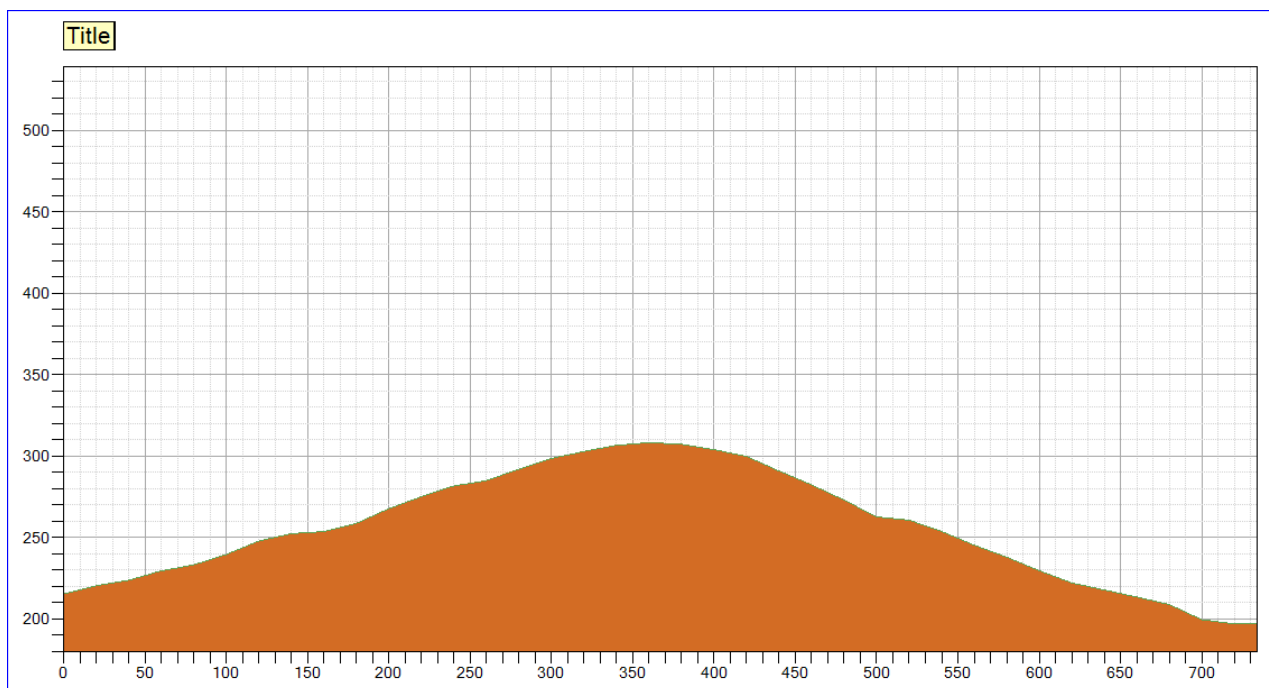
Maximum Slope Downhill,23,88



Gemmano F

Average Slope Uphill,18,35

Maximum Slope Uphill,34,88



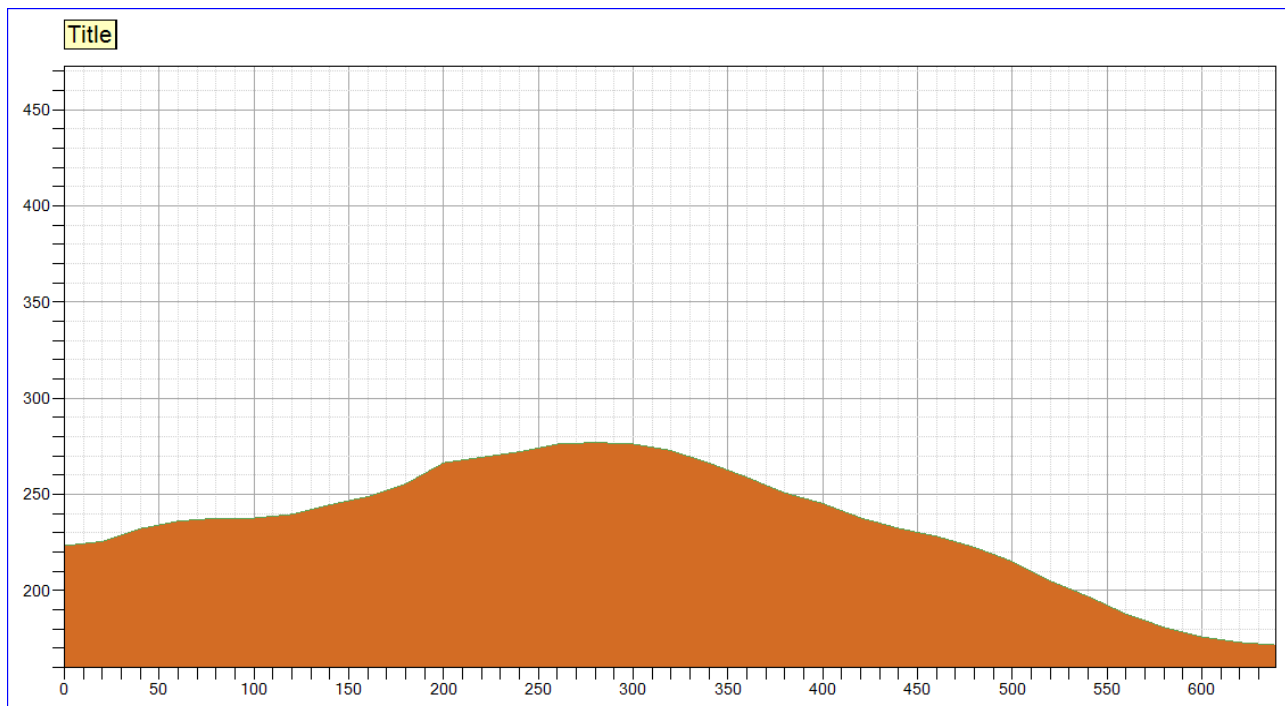
Gemmano G

Average Slope Uphill, 14,46

Average Slope Downhill, 16,58

Maximum Slope Uphill, 24,47

Maximum Slope Downhill, 27,35



Gemmano H

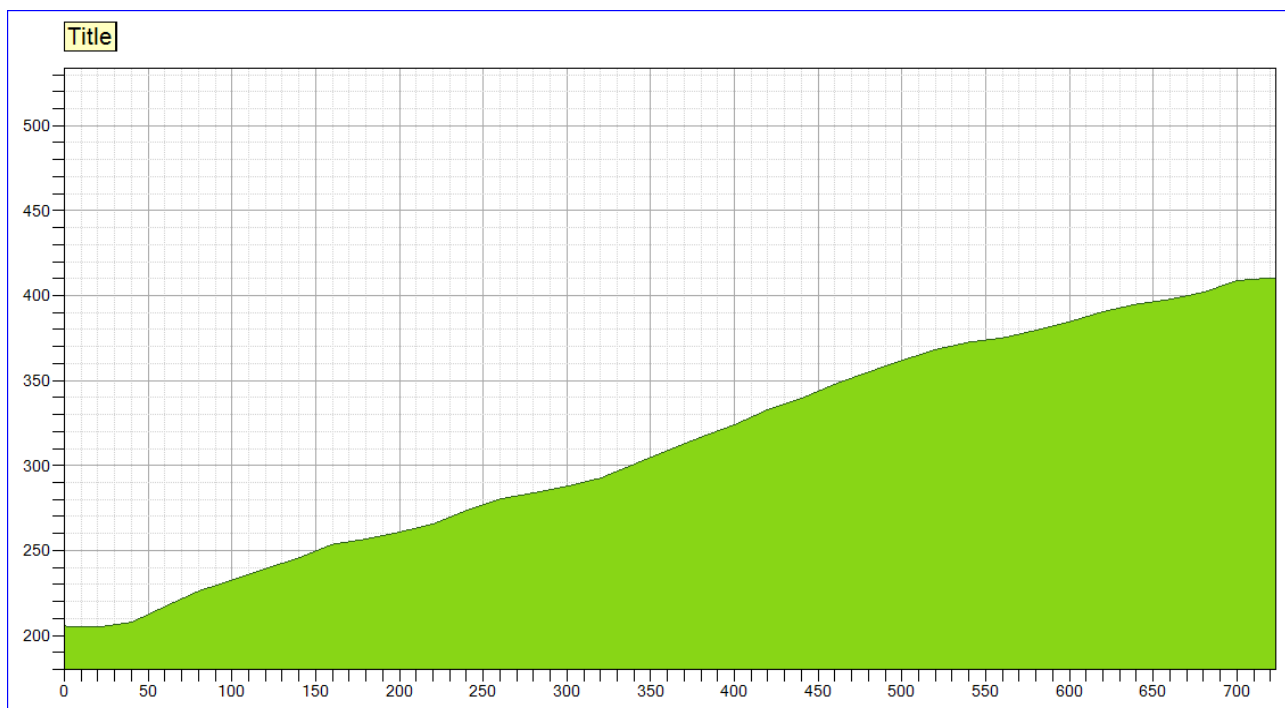
Average Slope Uphill, 10,86

Average Slope Downhill, 16,35

Maximum Slope Uphill, 28,69

Maximum Slope Downhill, 26,72

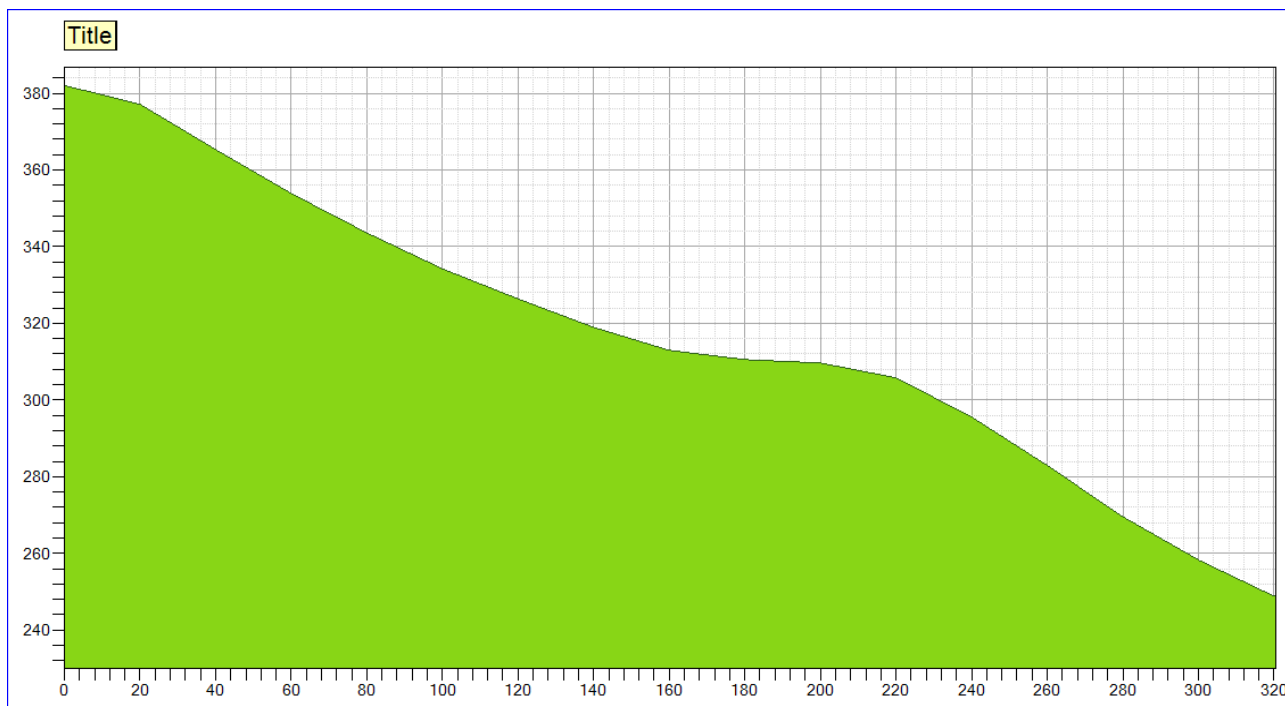
MONDAINO



Mond A

Average Slope Uphill, 16,36

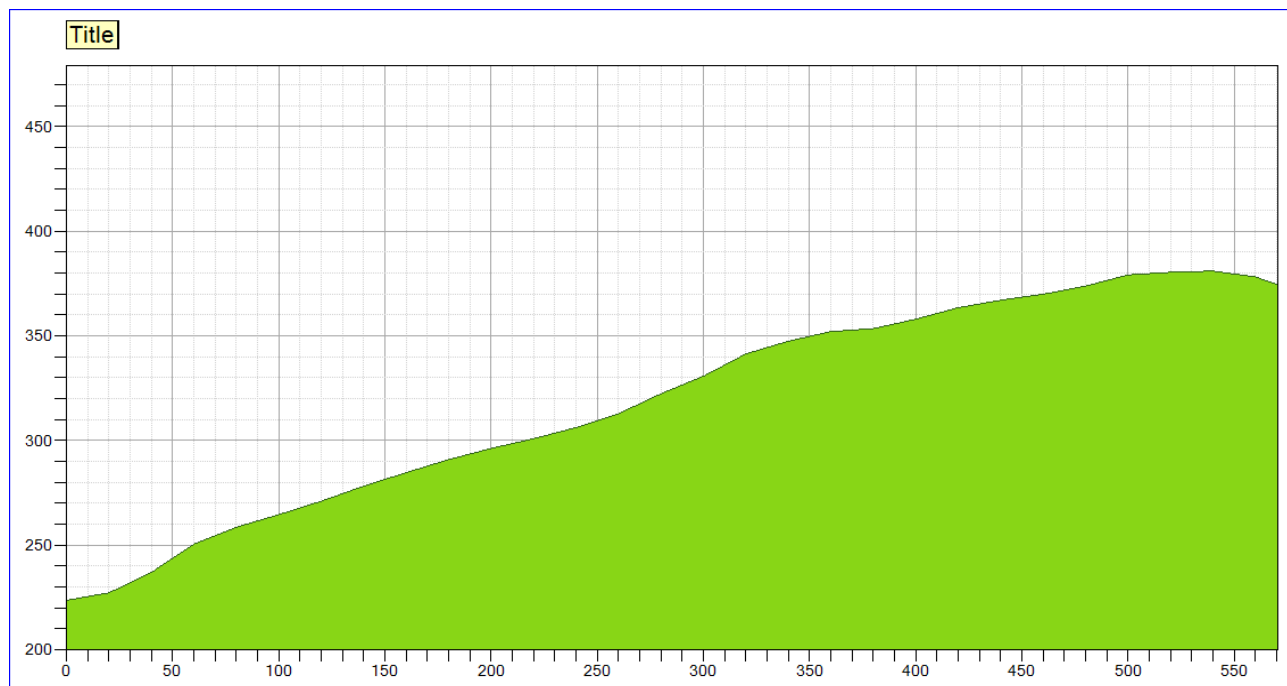
Maximum Slope Uphill, 25,09



Mond B

Average Slope Downhill, 22,60

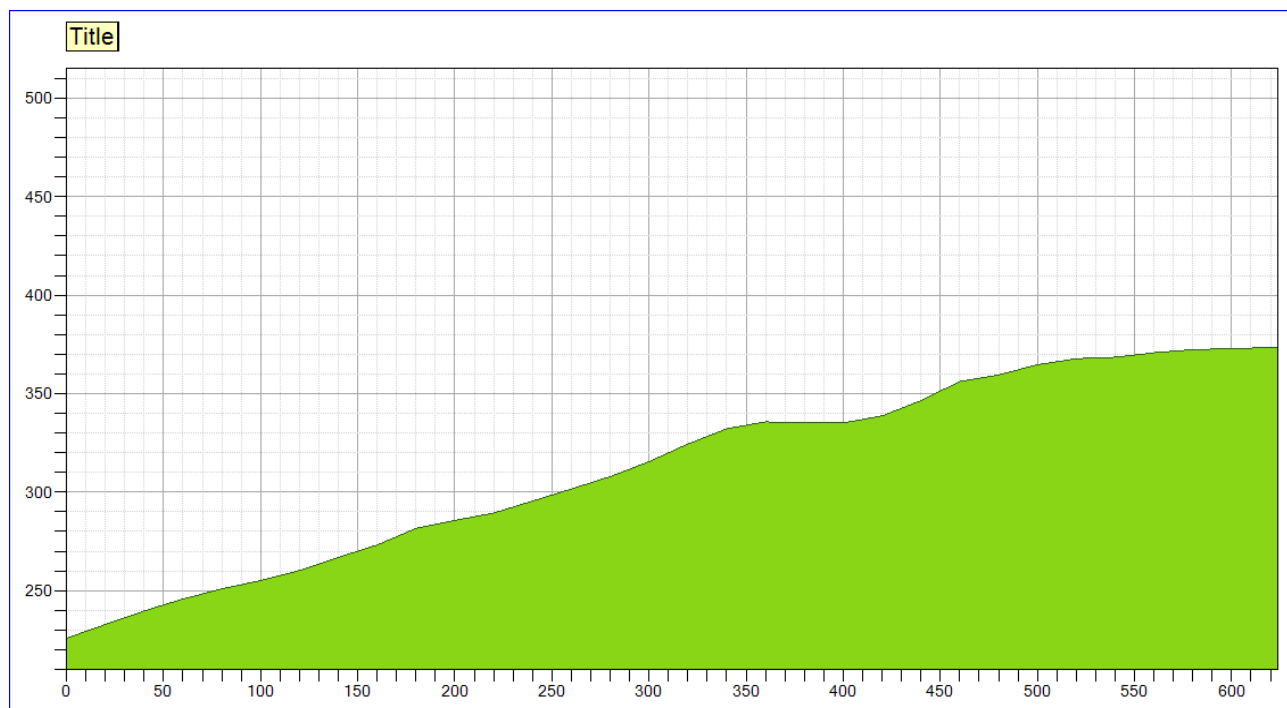
Maximum Slope Downhill, 33,75



Mond C

Average Slope Uphill, 16,24

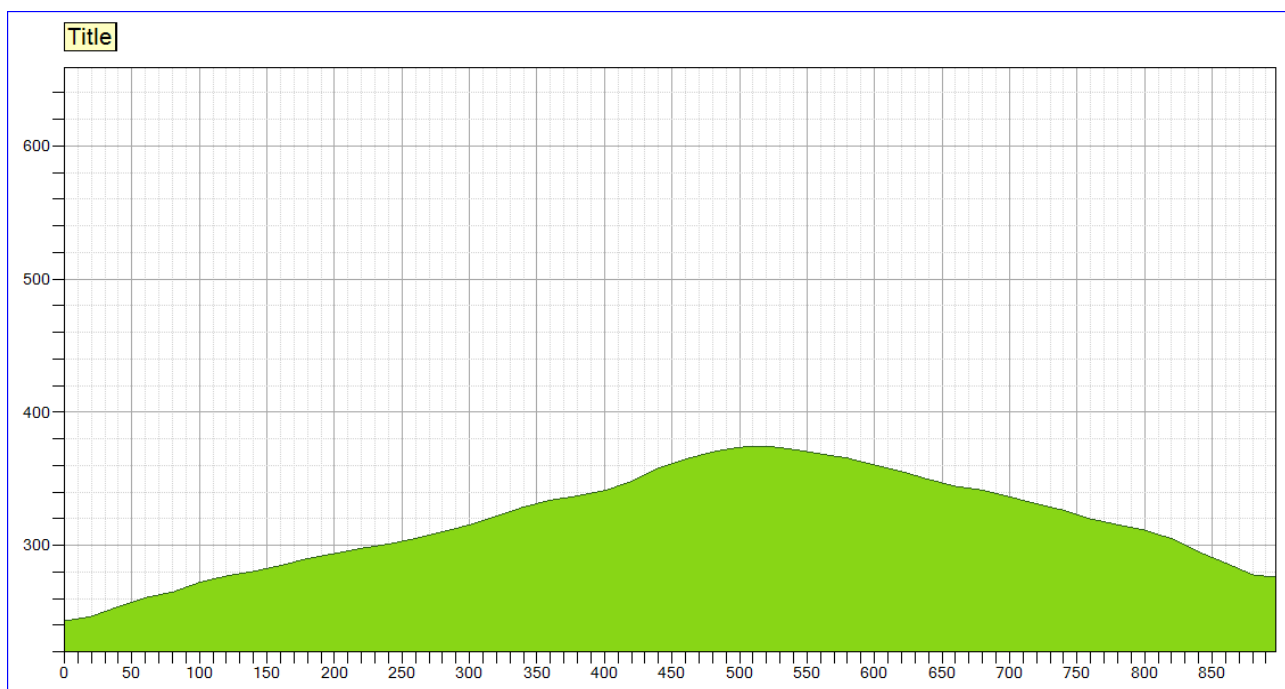
Maximum Slope Uphill, 34,09



Mond D

Average Slope Uphill, 16,24

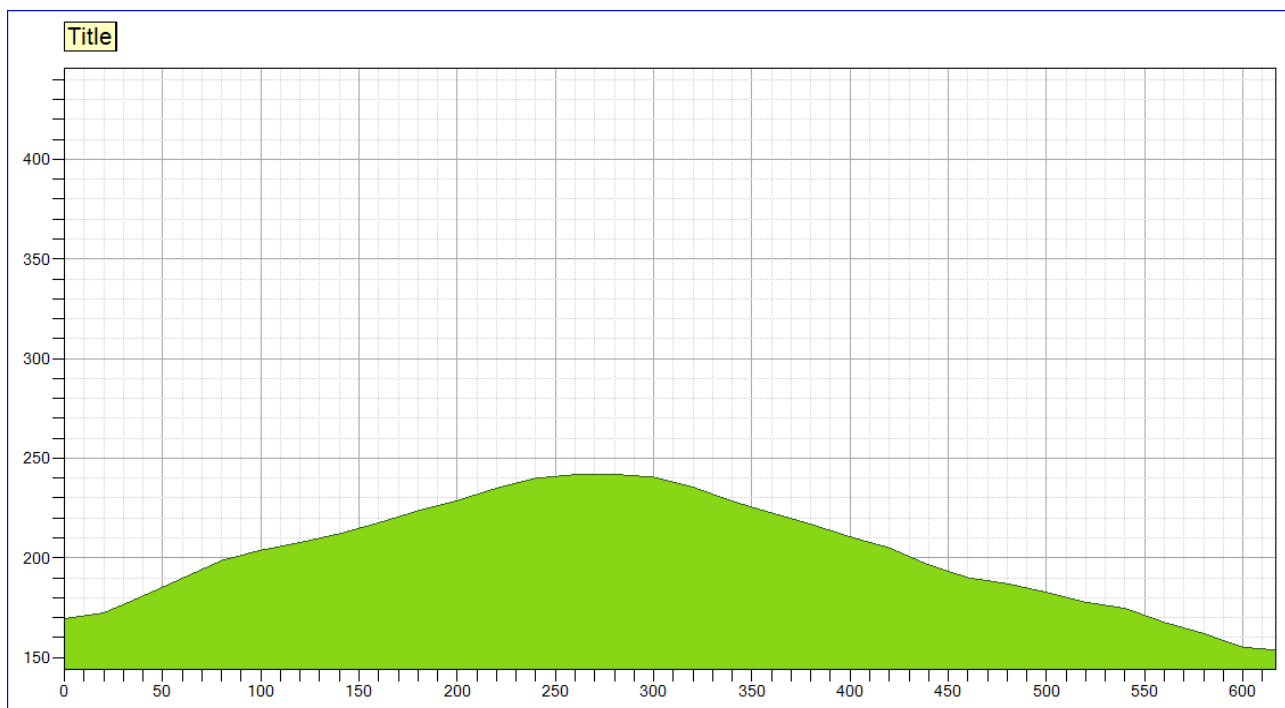
Maximum Slope Uphill, 34,09



Mond E

Average Slope Uphill, 16,24

Maximum Slope Uphill, 34,09



Mond F

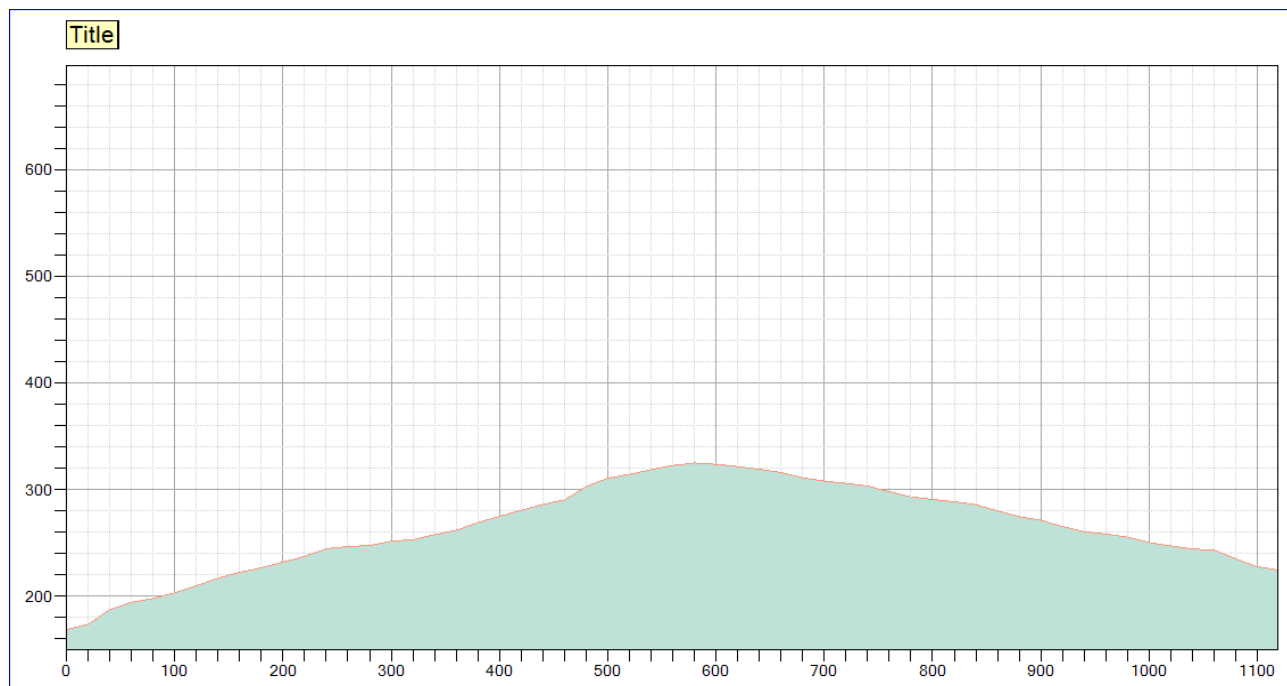
Average Slope Uphill, 14,51

Average Slope Downhill, 14,67

Maximum Slope Uphill, 24,12

Maximum Slope Downhill, 23,26

MONTEFIORE CONCA



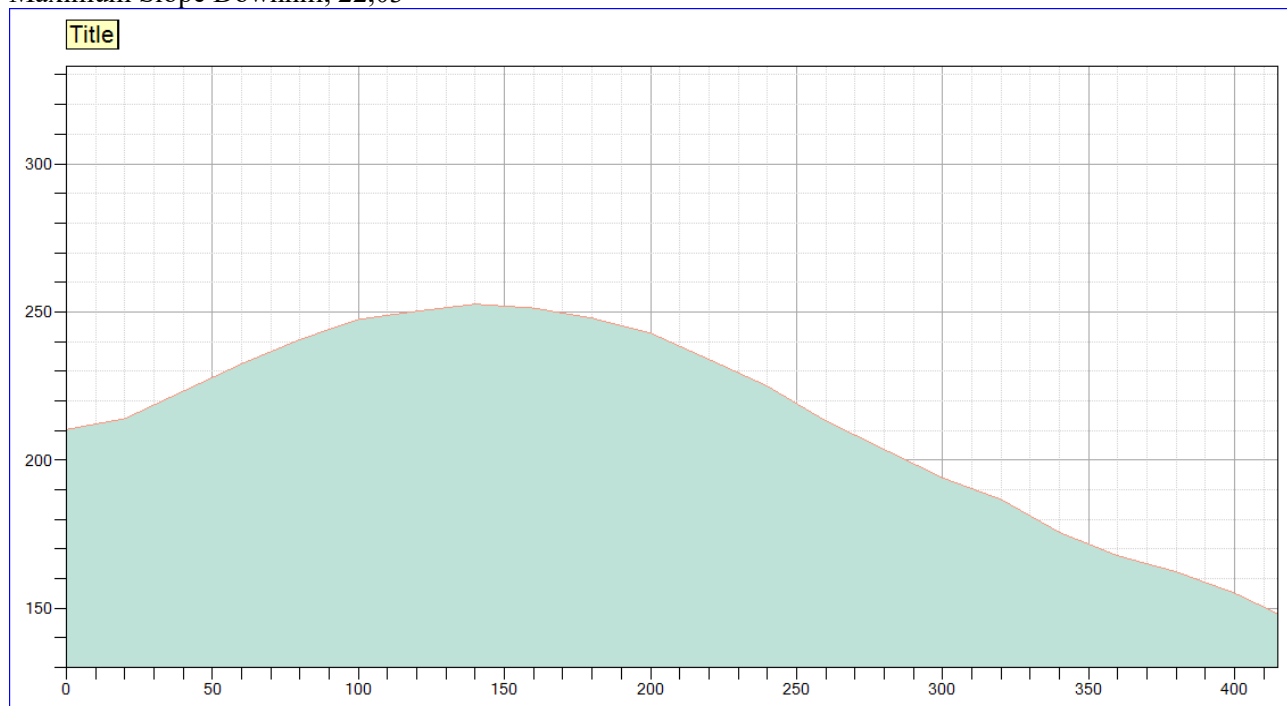
Montef A

Average Slope Uphill, 15,07

Average Slope Downhill, 10,55

Maximum Slope Uphill, 34,37

Maximum Slope Downhill, 22,03



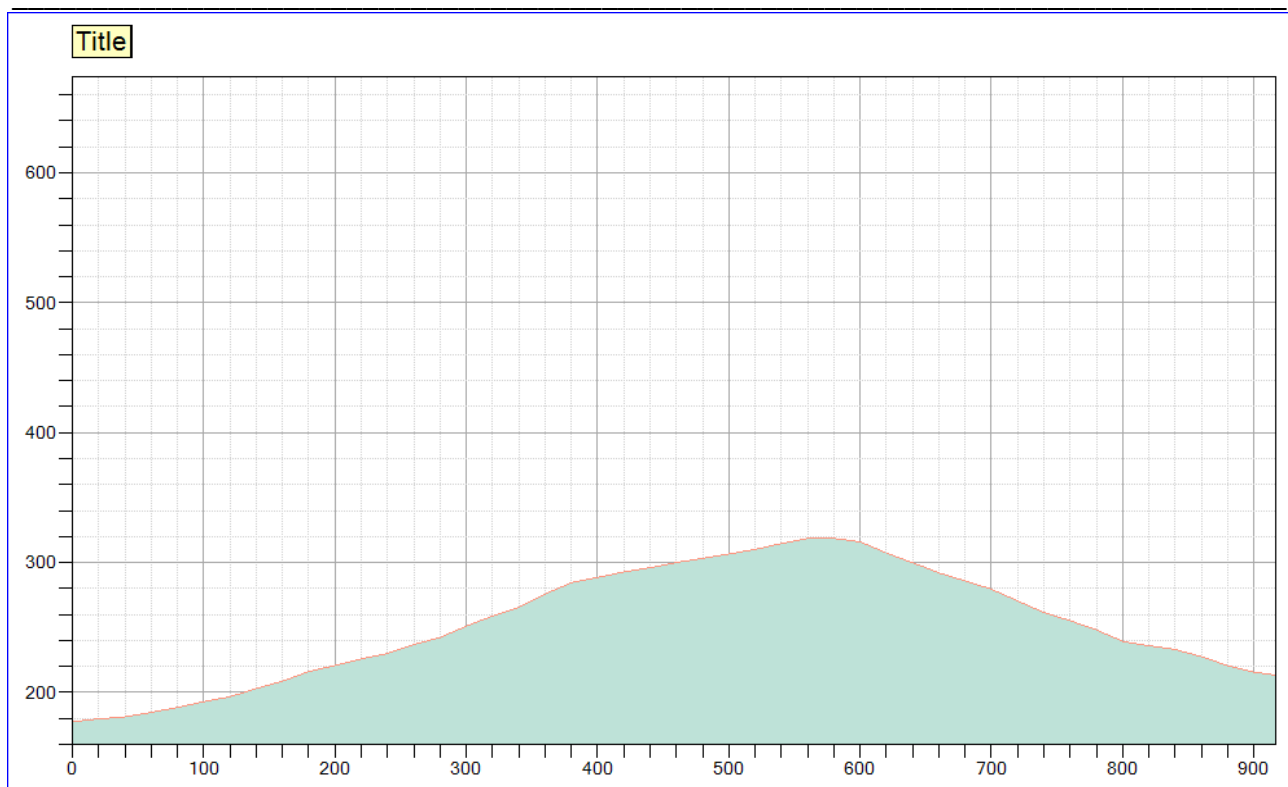
Montef B

Average Slope Uphill, 16,81

Average Slope Downhill, 20,83

Maximum Slope Uphill, 24,89

Maximum Slope Downhill, 30,39



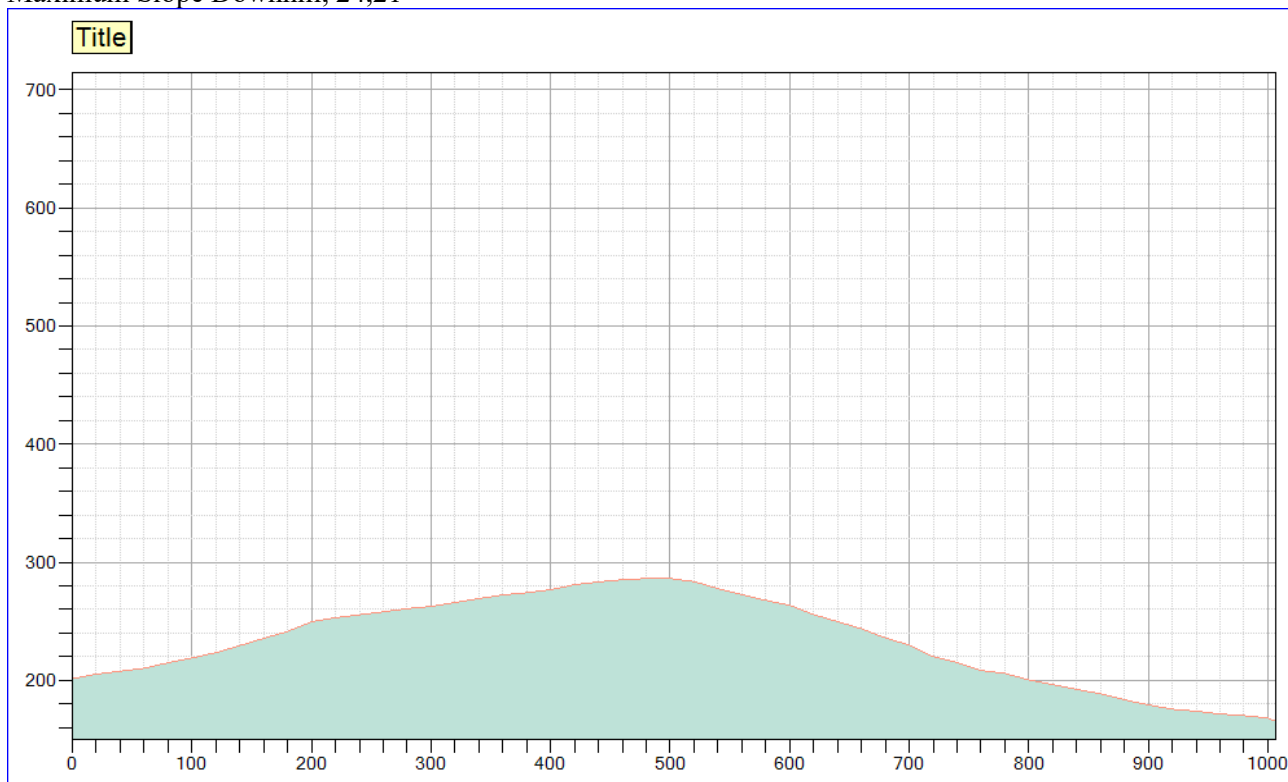
Montef C

Average Slope Uphill, 13,68

Average Slope Downhill, 17,39

Maximum Slope Uphill, 27,25

Maximum Slope Downhill, 24,21



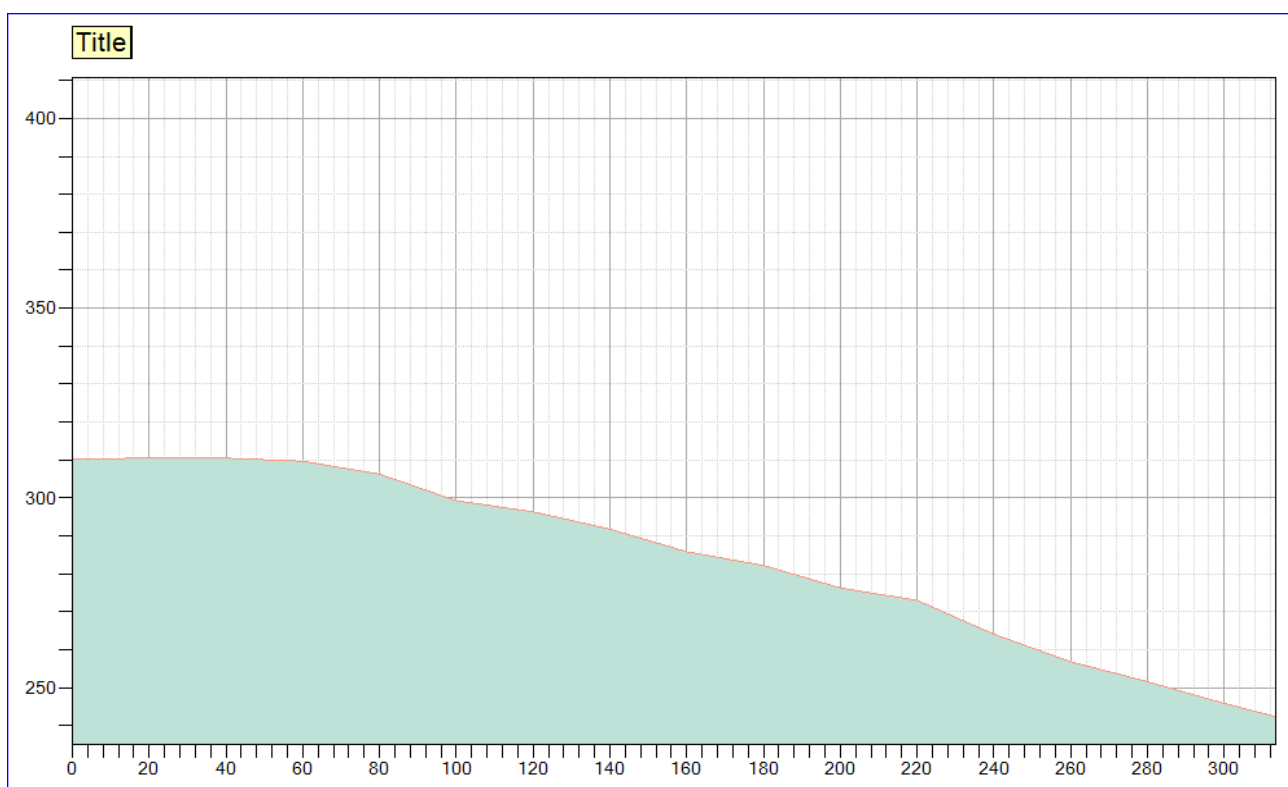
Montef D

Average Slope Uphill, 9,62

Average Slope Downhill, 13,42

Maximum Slope Uphill, 22,13

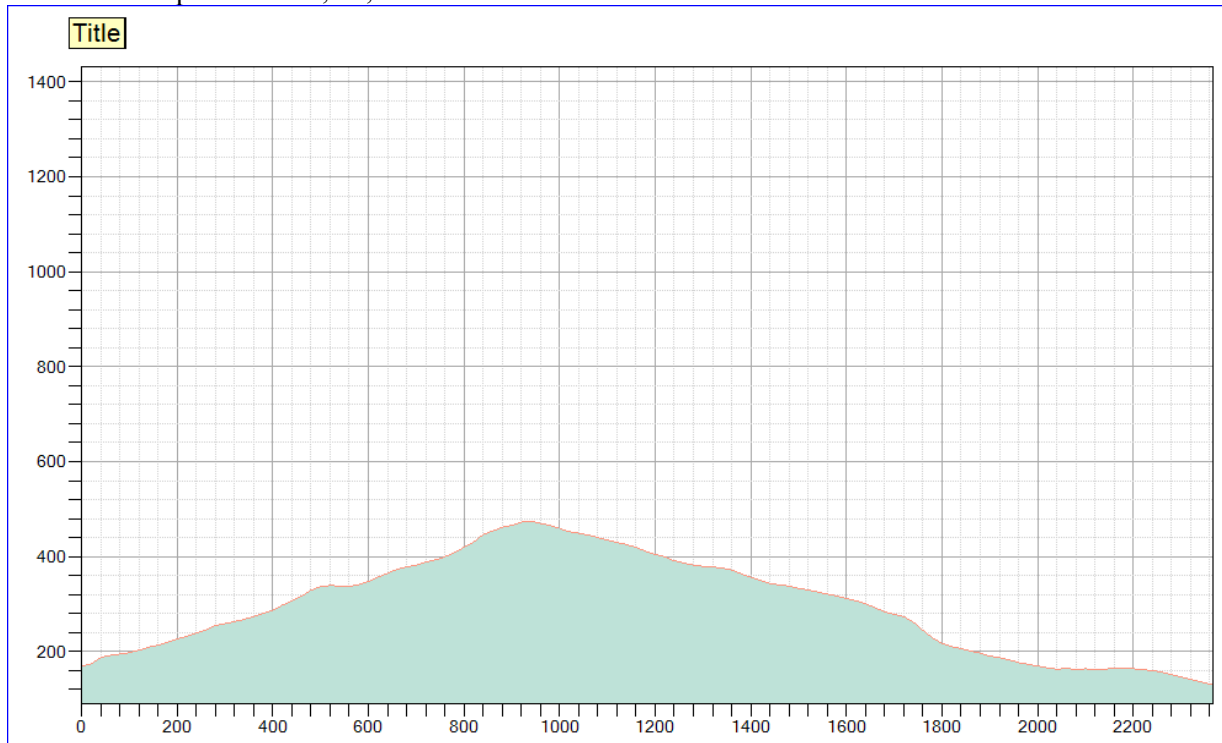
Maximum Slope Downhill, 25,73



Montef E

Average Slope Downhill, 13,10

Maximum Slope Downhill, 23,95



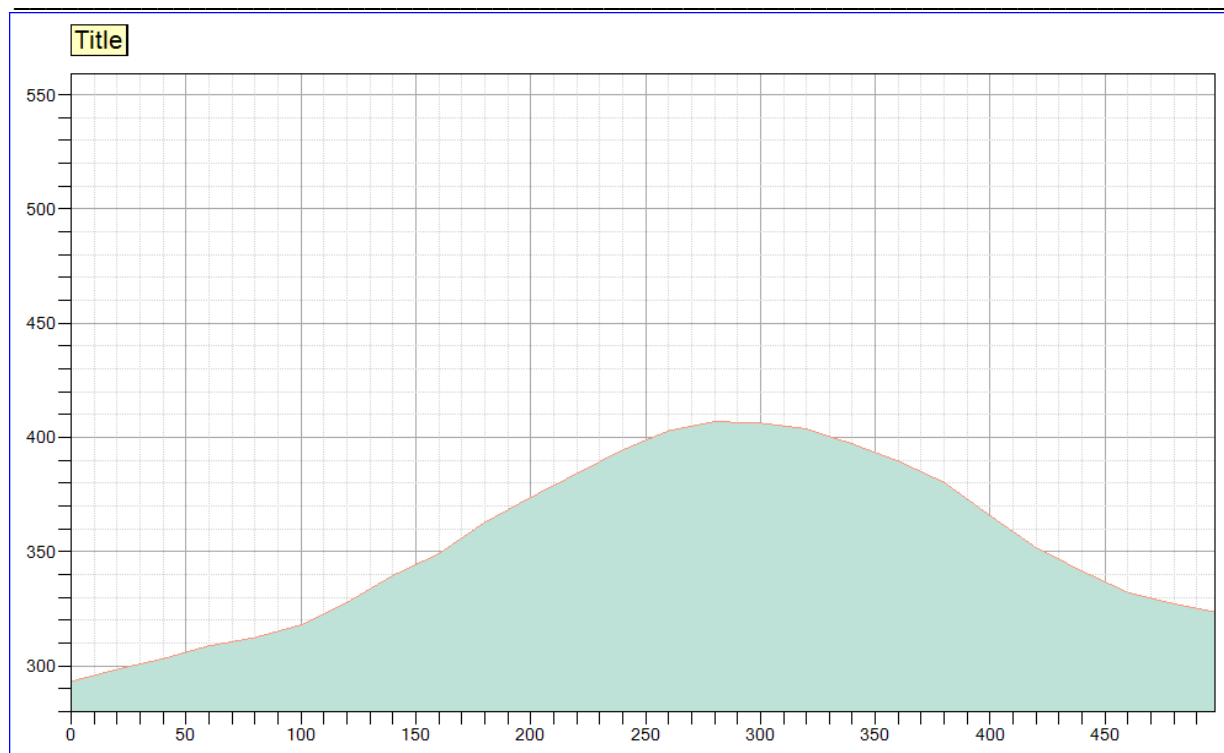
Montef F

Average Slope Uphill, 17,33

Average Slope Downhill, 14,46

Maximum Slope Uphill, 38,73

Maximum Slope Downhill, 40,77



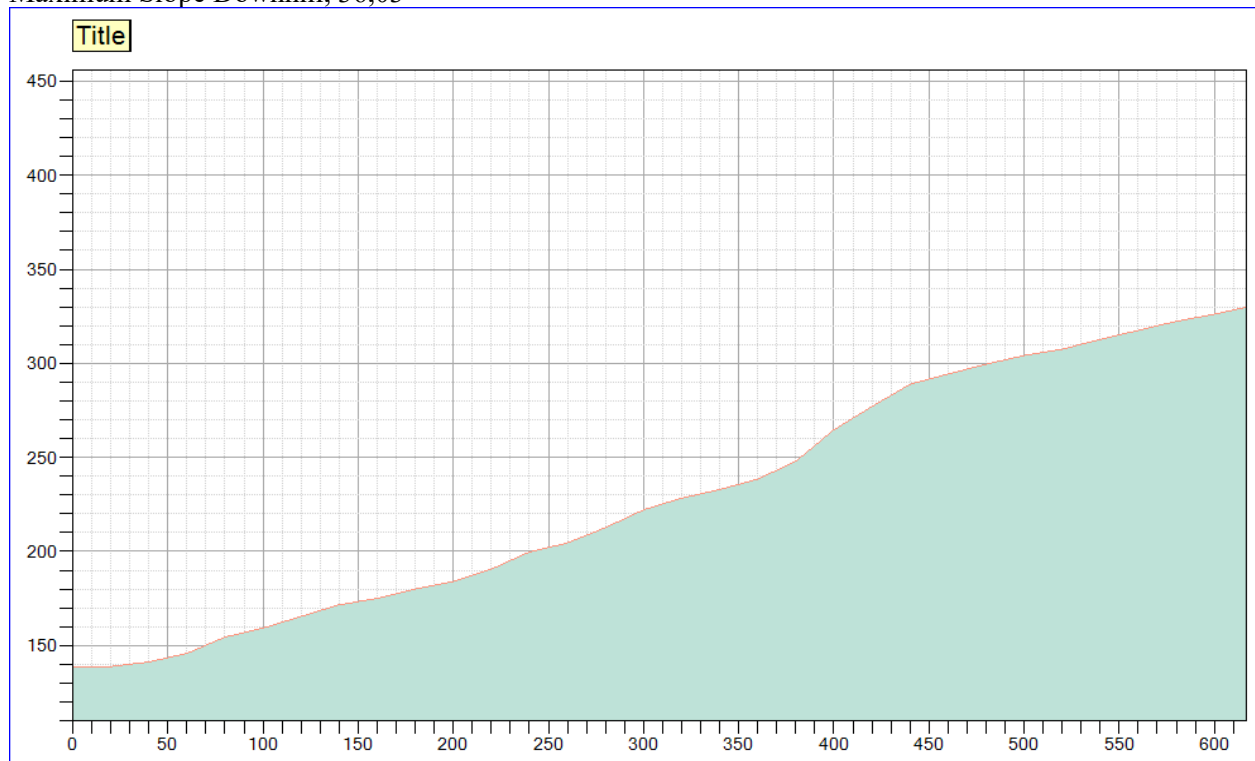
Montef G

Average Slope Uphill, 22,11

Average Slope Downhill, 20,96

Maximum Slope Uphill, 34,43

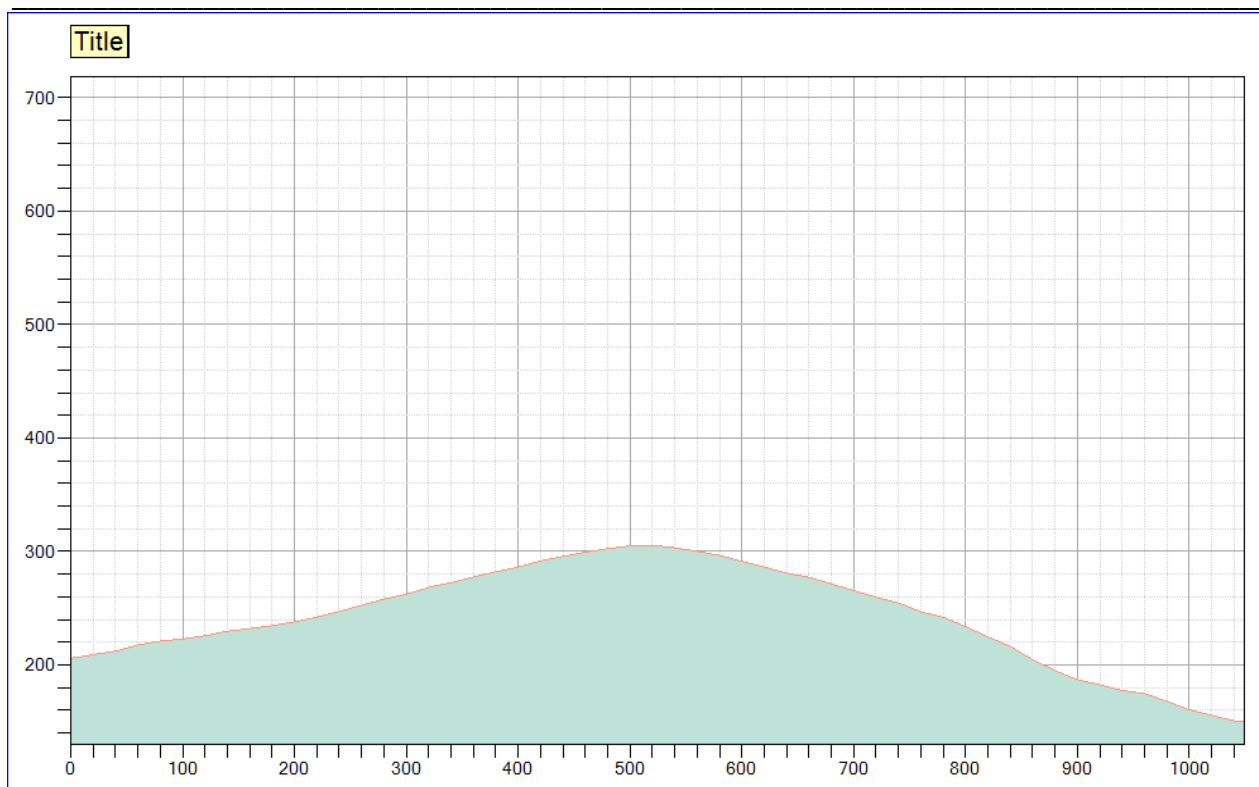
Maximum Slope Downhill, 36,03



Montef H

Average Slope Uphill, 17,24

Maximum Slope Uphill, 39,93



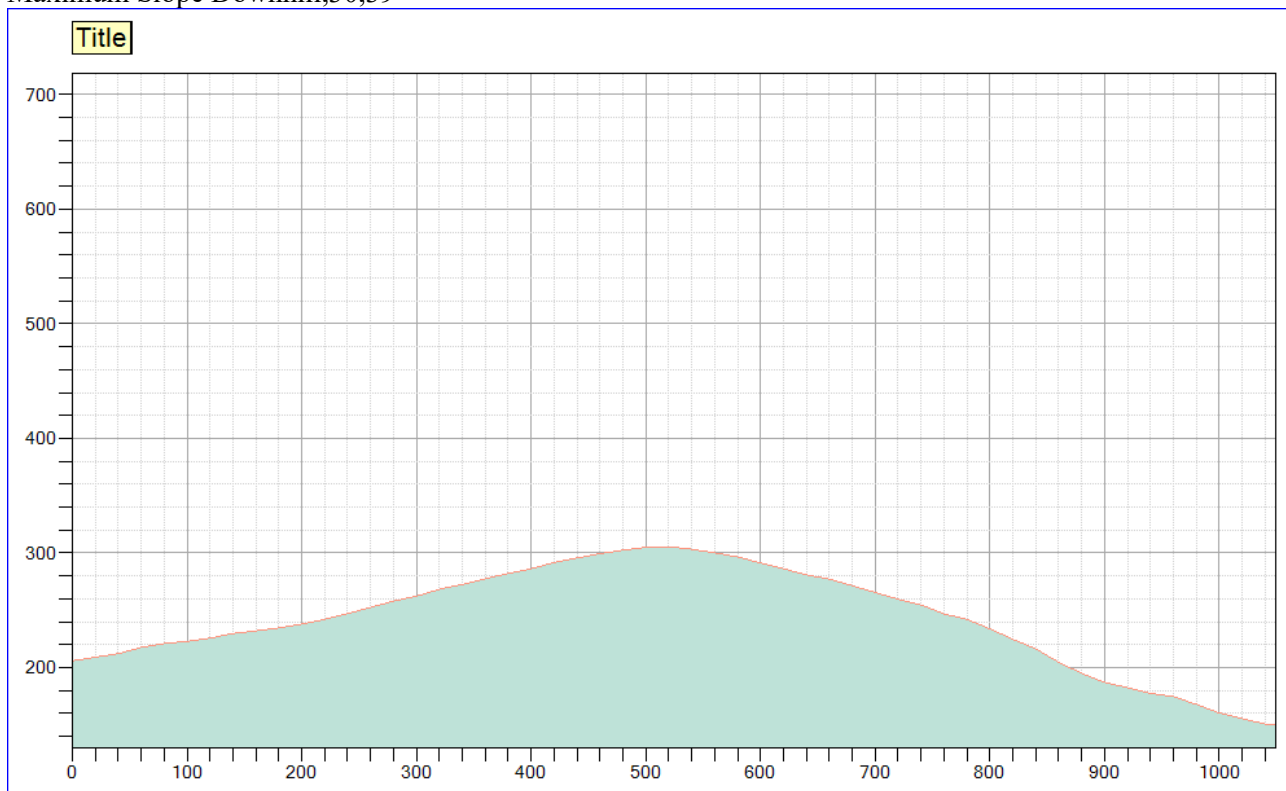
Montef I

Average Slope Uphill, 10,84

Average Slope Downhill, 16,41

Maximum Slope Uphill, 16,86

Maximum Slope Downhill, 30,39



Montef L

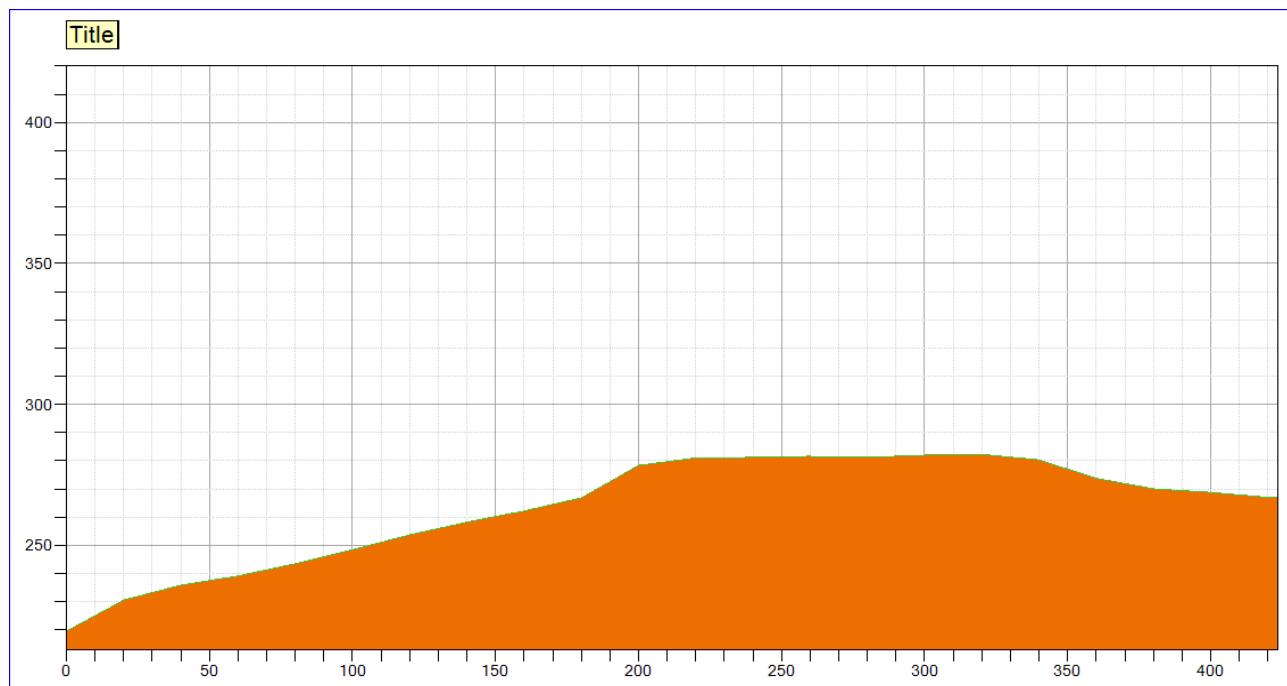
Average Slope Uphill, 12,32

Maximum Slope Uphill, 22,19

Average Slope Downhill, 10,56

Maximum Slope Downhill, 30,84

MONTEGRIDOLFO



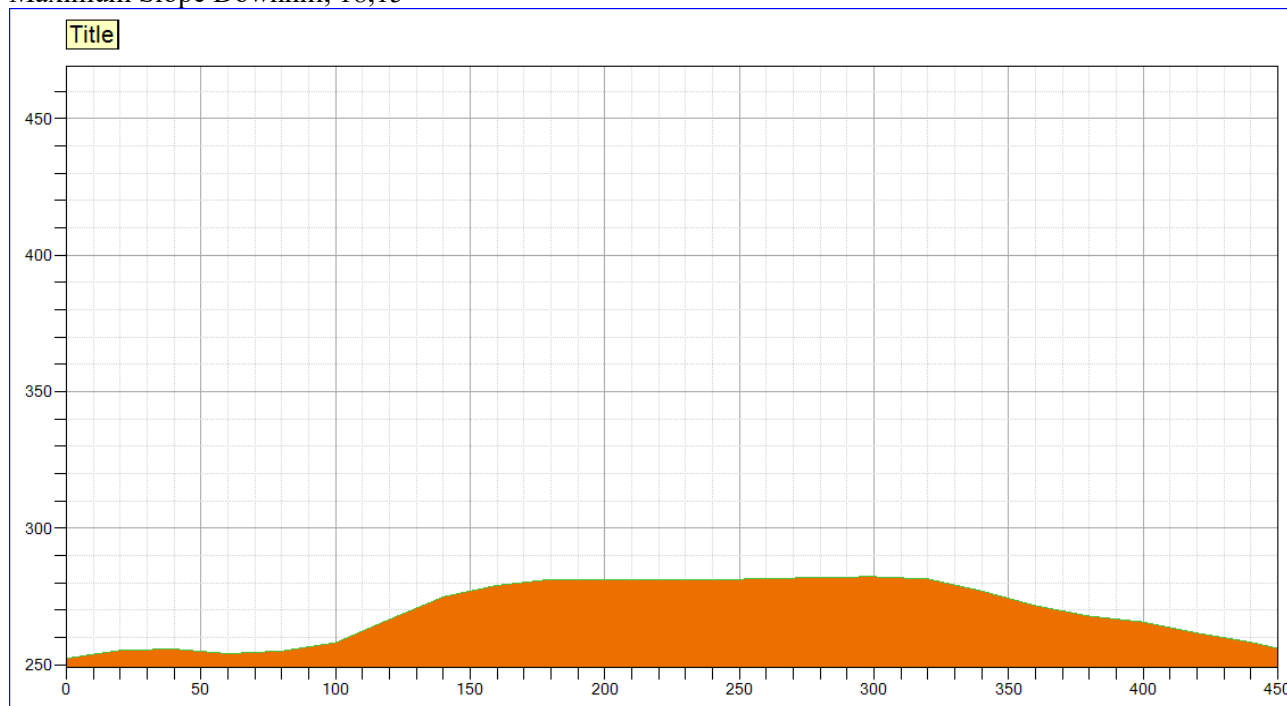
Monteg A

Average Slope Uphill, 11,76

Average Slope Downhill, 7,39

Maximum Slope Uphill, 29,89

Maximum Slope Downhill, 18,15



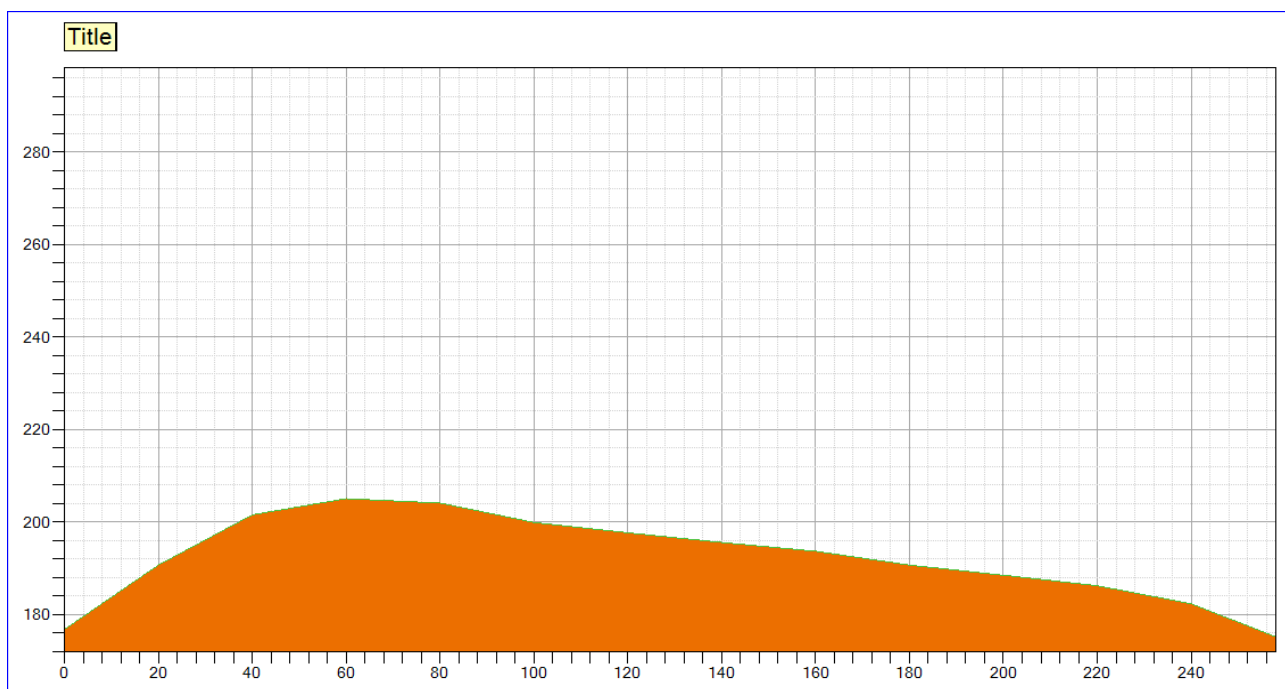
Monteg B

Average Slope Uphill, 7,55

Average Slope Downhill, 7,63

Maximum Slope Uphill, 23,06

Maximum Slope Downhill, 15,07



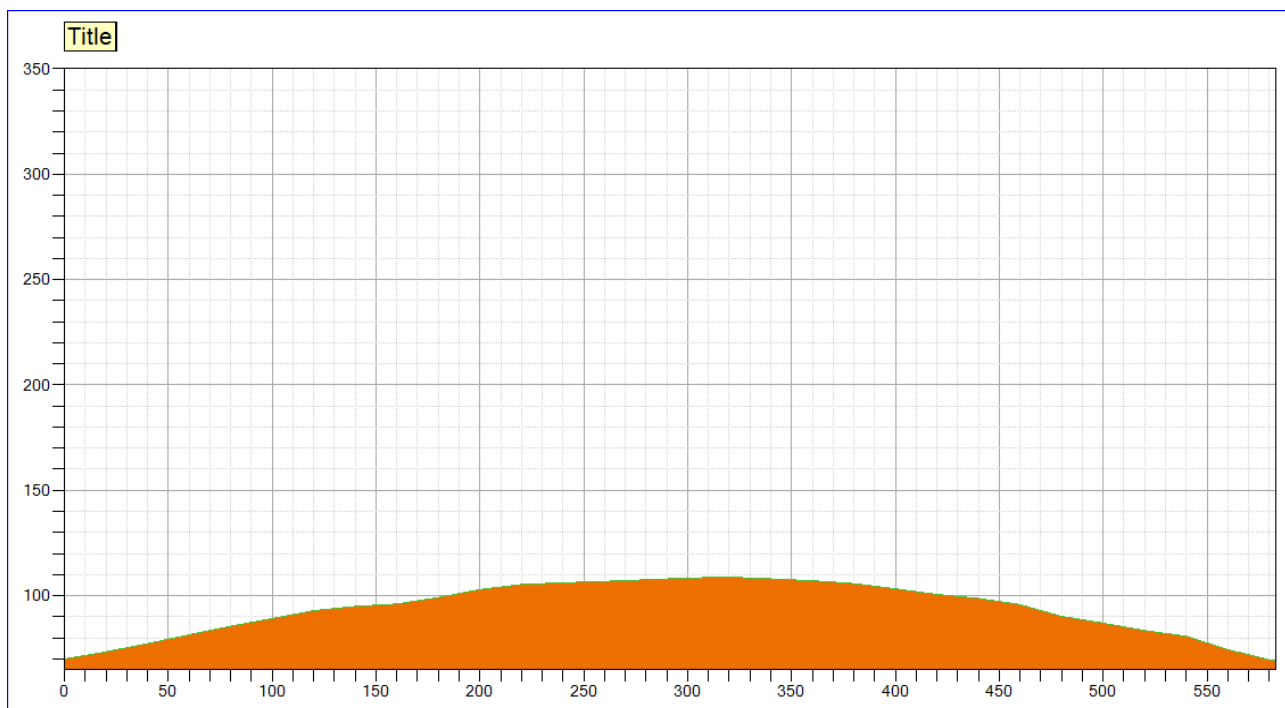
Monteg C

Average Slope Uphill, 25,21

Average Slope Downhill, 8,58

Maximum Slope Uphill, 34,81

Maximum Slope Downhill, 21,61



Monteg D

Average Slope Uphill, 6,91

Average Slope Downhill, 8,60

Maximum Slope Uphill, 11,72

Maximum Slope Downhill, 17,44

MONTESCUDO – MONTECOLOMBO

Scala 1:10000

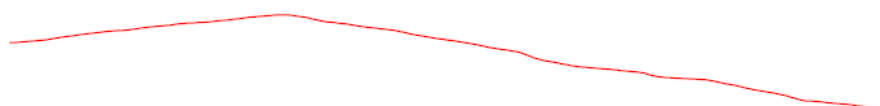
Profilo 10



Profilo 11



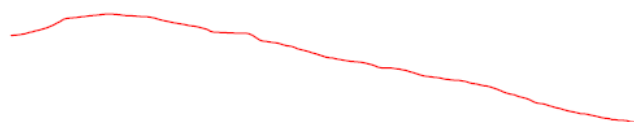
Profilo 12



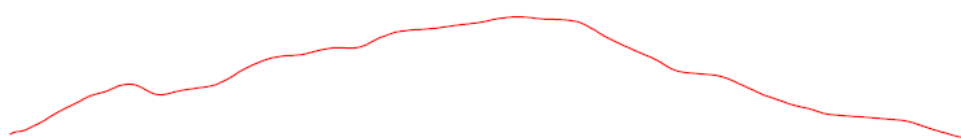
Profilo 13



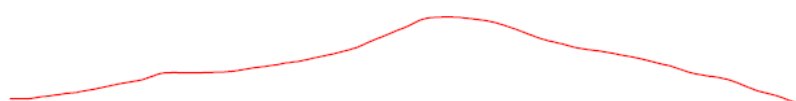
Profilo 14



Profilo 15



Profilo 16



Profilo 17



SALUDECIO

Scala 1:10000

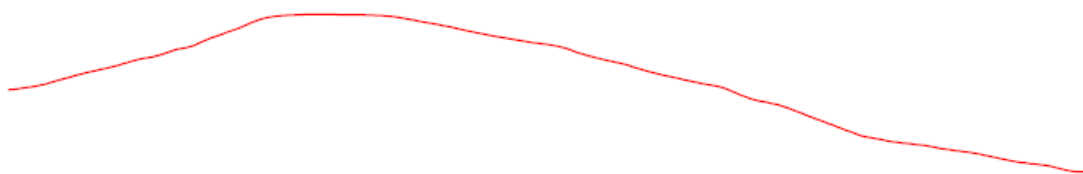
Profilo 18



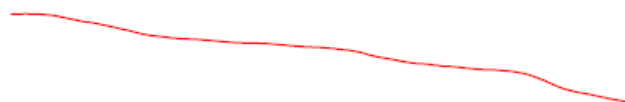
Profilo 19



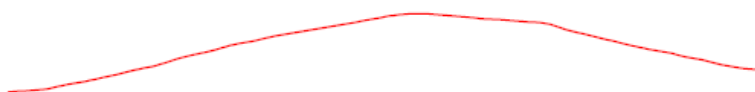
Profilo 20



Profilo 21



Profilo 22



Profilo 23



Figura 9.15 – Sezioni topografiche rappresentative per l'analisi dei fattori di amplificazione topografica

Tabella 9.3 – Fattori di amplificazione topografica per il periodo 0.1-0.5 s

SCA=	Scarpata			
CAR=	Cresta arrotondata			
CAP=	Cresta appuntita (L>350 m)			
Sezione	tipo	H	L	Fa 0.1-0.5
GEMMANO				
Gemmano A	CAR	240	1484	1.1
Gemmano B	CAR	170	1260	1.1
Gemmano C	CAP	173	1104	1.2
Gemmano D	CAP	102	694	1.2
Gemmano E	SCA	220	944	1.2
Gemmano F	SCA	165	521	1.2
Gemmano G	CAR	111	734	1.1
Gemmano H	CAR	106	639	1.1
MONDAINO				
Mond A	SCA	205	723	1.2
Mond B	SCA	134	320	1.2
Mond C	SCA	158	570	1.2
Mond D	SCA	148	623	1.2
Mond E	CAP	131	897	1.2
Mond F	CAP	89	616	1.2
MONTEFIORE CONCA				
Montef A	CAP	156	1118	1.2
Montef B	CAR	105	414	1.1
Montef C	CAR	141	916	1.1
Montef D	CAR	121	1006	1.1
Montef E	SCA	68	313	1.2
Montef F	CAP	345	2366	1.2
Montef G	CAR	114	497	1.1
Montef H	SCA	191	616	1.2
Montef I	CAP	156	1049	1.2
Montef L	CAP	53	501	1.1
MONTEGRIDOLFO				
Monteg A	CAR	63	423	1.1
Monteg B	CAR	30	450	1.0
Monteg C	CAR	30	258	1.1
Monteg D	CAR	40	583	1.0
MONTESCUDO-MONTECOLOMBO				
Profilo - 10	SCA	65	413	1.1
Profilo - 11	SCA	49	370	1.1
Profilo - 12	CAP	56	704	1.1
Profilo - 13	SCA	116	218	1.2
Profilo - 14	CAR	20	262	1.1
Profilo - 15	CAP	132	954	1.2
Profilo - 16	CAP	80	781	1.1
Profilo - 17	CAP	67	764	1.1
SALUDECIO				
Profilo - 18	CAP	34	588	1.1
Profilo - 19	CAP	68	1070	1.1
Profilo - 20	CAP	144	1006	1.2
Profilo - 21	SCA	58	479	1.1
Profilo - 22	CAP	81	842	1.1
Profilo - 23	SCA	28	127	1.2

In funzione delle pendenze rilevate e delle conformazioni dei versanti, sono stati complessivamente analizzati i profili ritenuti potenzialmente amplificanti (vedi figura 9.15) e sui quali è stato calcolato l'effetto della topografia (situazione di cresta o versante) (vedi Tabella 9.3).

Considerati l'estensione (L) e dislivelli (H) delle sezioni rilevate, in relazione all'estensione delle microzone ed alle indicazioni ICMS, si sono individuate le zone di massima amplificazione in sommità delle aree studiate ed i valori scalati all'interno di ciascuna microzona.

In ogni caso i valori rilevati, in virtù delle conformazioni morfologiche, risultano non eccedere mai la soglia massima di 1.2 e, pertanto, è stata disegnata una mappa della distribuzione dei valori di amplificazione con valori compresi tra 1 e 1,2.

Come desumibile dalle linee guida ICMS, i fattori topografici semplificati sono generalmente elaborati ed indicati per condizioni lineari elastiche e/o comunque di modesta non linearità; pertanto tali fattori andranno ulteriormente valutati puntualmente per le coperture instabili in quanto, in condizioni sismiche, risultano potenzialmente affette da fenomeni di marcata non linearità e/o spostamenti sensibili, in grado di alterarne le modalità amplificazione sismica attesa, generalmente tali da richiedere uno specifico approfondimento di indagine di III livello.

Allo scopo di rappresentare cartograficamente le informazioni relative al fattore di amplificazione, per ciascuna microzona, in aggiunta alla gradazione di colore, è stato riportato il valore numerico ottenuto tramite specifiche etichette sovrimposte; in queste ultime l'etichetta e relativo colore evidenzia se trattasi di sola amplificazione per effetto stratigrafico (S) o effetto congiunto di stratigrafia e fattore topografico (SxT). Questa modalità di rappresentazione consente di mantenere una buona leggibilità del supporto cartografico, indicando inoltre in quale fascia di territorio è possibile stimare il fattore di amplificazione complessivo (moltiplicando $F_{strat} \times F_t$) in funzione delle locali condizioni topografiche, riportandone altresì il valore finale atteso.

Le aree assoggettate a III Livello di approfondimento, date le modeste pendenze e geometrie sostanzialmente regolari dei versanti, non risultano interessate da potenziali effetti topografici amplificanti le azioni sismiche stimate tramite RSL 1D.

9.2.4 Carta del parametro di scuotimento sismico assoluto " H_{SM} "

Per rappresentare in maniera assoluta e più realistica la pericolosità sismica del territorio, tenendo conto sia della pericolosità di base sia degli effetti di sito, la DGR 630/2019 e 564/2021 richiede altresì una carta della distribuzione sul territorio dei valori di intensità sismica H_{SM} (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2 o "g"), dato dall'integrale dello spettro in accelerazione calcolato nell'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$ e diviso per ΔT , cioè per 0,4s. In assenza di analisi RSL, il parametro H_{SM} può essere calcolato come prodotto del parametro di intensità spettrale $AS_{I_{UHS}}$ (*Acceleration Spectrum Intensity*), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per

l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di riferimento $ASI_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz sviluppato a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, adottando di volta in volta quelli del nodo più vicino.

Tale parametro consente una rappresentazione assoluta della pericolosità sismica del territorio, la zonazione del territorio in termini di H_{SM} permette di stabilire una reale graduatoria di pericolosità tra le varie zone omogenee ed è quindi un elemento conoscitivo fondamentale per una più realistica valutazione del rischio sismico; in particolare l'intervallo di periodi compreso tra 0,1 s e 0,5 s, risulta di grande interesse per il governo del territorio e per la pianificazione urbanistica, in quanto è noto da vari studi che i periodi propri della maggior parte degli edifici dei centri storici, e dei centri abitati in generale, sono compresi in questo intervallo e, pertanto, consente anche eventuali valutazioni preliminari sul danneggiamento potenziale atteso. Al proposito Naso et al., 2019 propongono una discretizzazione secondo classi di valori di H_{SM} in relazione all'intensità macrosismica e danneggiamento potenziale attesi (vedi Tabella 9.4).

Tabella 9.4 – Ipotetiche classi di intensità H_{SM} in relazione ad altri fenomeni fisici (Naso et al., 2019 modificato)

Seismic hazard	low-very / low	moderate / low	moderate	high	very high
H_{SM} (g)	≤ 0.183	$0.183 < H_{SM} \leq 0.347$	$0.347 < H_{SM} \leq 0.663$	$0.663 < H_{SM} \leq 1.264$	> 1.264
Potential damage	none - very light	very light – moderate	moderate – heavy	heavy	very heavy
Instrumental intensity	$\leq VI$	VII	VIII	IX	$\geq X$

Secondo gli autori infatti tale relazione empirica, correlata alla PGA ed ai fattori di amplificazione, risulta congrua con i risultati ed altri parametri sismici adottati per la classificazione sismica del territorio (Gomez Capera et al. 2007, 2015 - Faenza e Michelini, 2010 - Bramerini e Di Pasquale, 2002).

Nella rappresentazione cartografica si sono adottate le classi di pericolosità e relativa vestizione indicate dalla Regione Emilia Romagna in conformità alle recenti “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni” – versione 2.0 (2022). In tabella 9.5. si riportano le classi di H_{SM} di riferimento:

Tabella 9.5 – Classificazione di H_{SM} per i 3 intervalli di periodo spettrale (LG “Amplificazioni” – versione 2.0, 2022).

Intervalli di periodo	Classificazione H_{SM} [g]			
	Basso ($ZS4_{SM}$)	Medio ($ZS3_{SM}$)	Alto ($ZS2_{SM}$)	Molto alto ($ZS1_{SM}$)
$T1_{(0.1-0.5)}$	≤ 0.21	0.22-0.54	0.55-0.85	≥ 0.86
$T2_{(0.4-0.9)}$	≤ 0.14	0.15-0.34	0.35-0.55	≥ 0.56
$T3_{(0.7-1.1)}$	≤ 0.09	0.10-0.22	0.23-0.35	≥ 0.36

Anche per quanto riguarda la definizione di tale parametro di pericolosità sismica, i valori preliminarmente stimati per il solo H_{SM} , a seguito di analisi di RSL, sono stati aggiornati ed integrati sia per l'intervallo di periodo $0,1s \leq T \leq 0,5s$ aggiungendo, inoltre, H_{0408} e H_{0711} , ovvero lo scuotimento in accelerazione (g) atteso al sito per gli intervalli di periodo $0,4s \leq T \leq 0,8s$ e $0,7s \leq T \leq 1,1s$ analogamente ai periodi riportati nella corrispondente tabella semplificata denominata “Appennino” ($V_s < 800$ m/s).

Di seguito si riporta uno stralcio esemplificativo della tavola relativa al parametro di scuotimento assoluto H_{SM} (figura 9.16), alla quale si potrà fare riferimento per un maggior dettaglio.

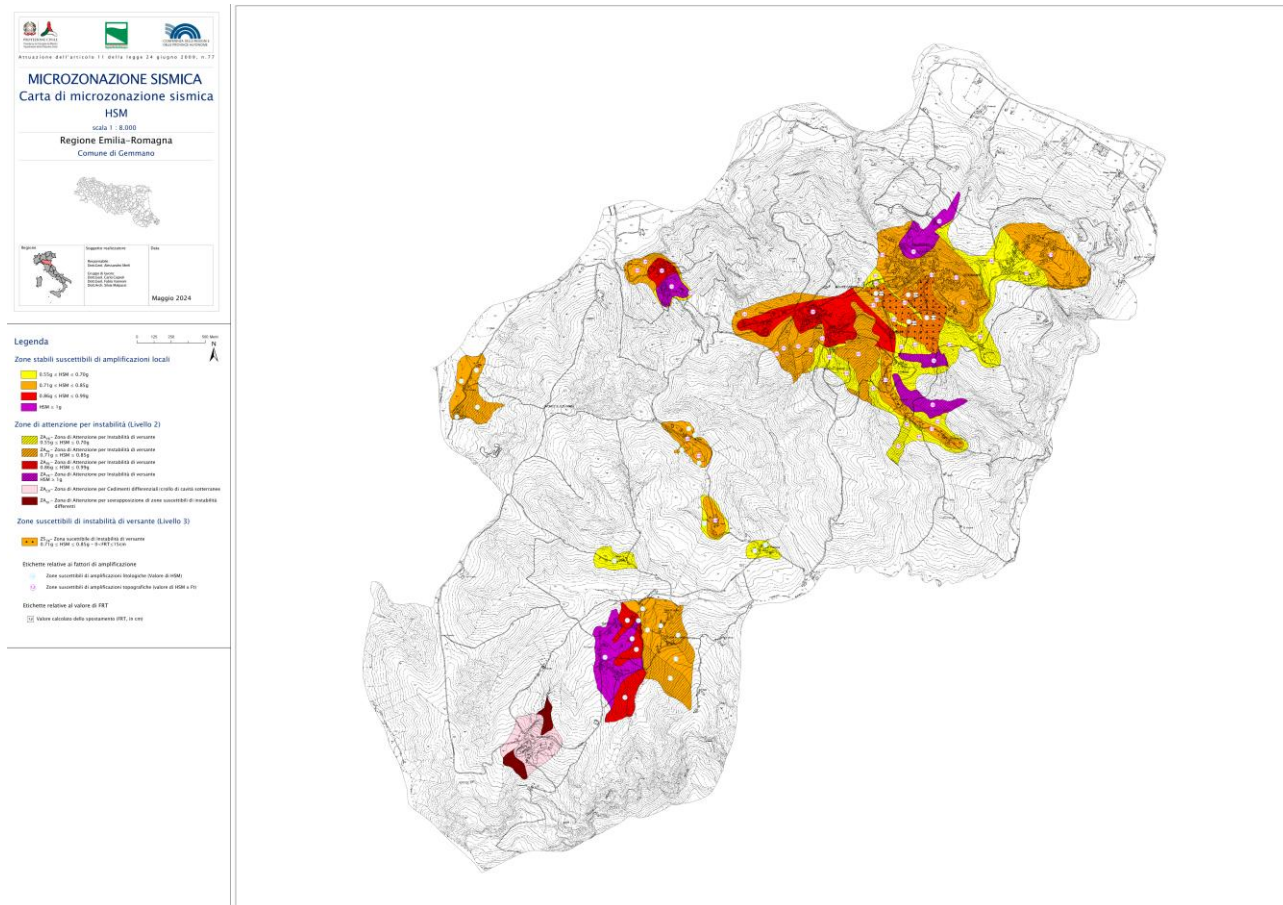


Figura 9.16 – Miniatura esemplificativa della carta di scuotimento assoluto H_{SM} .

10. MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO III (ANALISI DI RSL E STABILITA' DI SITO)

Sulla base delle informazioni stratigrafiche profonde e superficiali, nonché sulla scorta delle analisi di laboratorio geotecnico e delle indagini geognostiche e geofisiche effettuate in sito, sono state realizzate una serie di analisi di RSL sulle verticali ritenute maggiormente significative in corrispondenza delle frane oggetto di interesse. Lo studio ha interessato le frane individuate presso ciascun comune e definite attraverso le rispettive sezioni litologico-meccaniche rappresentative, in corrispondenza delle quali sono state condotte le verifiche di stabilità sia tramite metodi pseudo statici che tramite valutazioni circa gli spostamenti attesi in condizioni sismiche, adottando approcci ritenuti congrui ed adeguati alle condizioni litostratigrafiche e suggeriti dalle linee guida di settore nonché contemplati fra i metodi della Geotecnica Sismica.

La frane selezionate presso Montefiore C. e Montescudo-Montecolombo risultavano già oggetto di verifica pregressa con ripermimetrazione del dissesto ex art 17 PAI; diversamente le frane ed i depositi di versante individuati presso i comuni di Gemmano, Mondaino, Montegridolfo, Morciano di R., Saludecio e San Clemente sono stati oggetto di ulteriori approfondimenti di indagine anche tramite studio foto-geologico che, congiuntamente alle indagini in sito ed al rilievo geologico di superficie, ha consentito una ripermimetrazione e caratterizzazione di dettaglio delle aree in dissesto.

Dall'esito congiunto di queste metodologie di indagine si sono quindi sviluppate le cartografie di Microzonazione Sismica di Terzo Livello.

10.1. Analisi di Risposta Sismica Locale

10.1.1 Modellazione numerica e codici di calcolo

Le analisi numeriche sono state effettuate in condizioni monodimensionali tramite il codice STRATA (Kottke e Rathje, 2008), che modella una colonna di terreno come un continuo stratificato a comportamento visco-elastico lineare. Le equazioni del moto sono risolte nel dominio della frequenza attraverso il calcolo e la successiva convoluzione delle funzioni di trasferimento di ogni strato, analogamente a quanto fatto dal ben noto codice di calcolo SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992). La non linearità delle proprietà dinamiche, assunte indipendenti dalla frequenza, è portata in conto tramite l'approccio *lineare equivalente*. Secondo tale modello, il modulo di taglio G e il fattore di smorzamento D , che descrivono il comportamento meccanico di un materiale sotto sollecitazioni cicliche, vengono fatti dipendere dal livello della deformazione tangenziale γ_C indotta dalle sollecitazioni sismiche. A partire dai valori iniziali dei parametri di rigidità e smorzamento con una prima analisi si determina un primo valore caratteristico (o effettivo) della deformazione tangenziale γ_{eff} . Dalle curve $G/G_0-\gamma_C$ e $D-\gamma_C$, che esprimono il comportamento non lineare, si determinano quindi nuovi valori di G e D e si esegue una nuova analisi determinando un nuovo valore caratteristico. Il procedimento viene ripetuto fino a quando lo scarto percentuale tra i valori di G , D e γ_{eff} viene ritenuto accettabile.

Per le analisi sui segnali/spettri in fase di input/output sono stati utilizzati i software SeismoSignal e SeismoMatch, sviluppati dalla soc. SeismoSoft, di cui si dispone della relativa licenza d'uso.

10.1.2 Moto di input

Come previsto da Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, le analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) sono state condotte considerando, in ciascuna simulazione, differenti storie temporali applicate al bedrock sismico, in modo da poter investigare, quanto più possibile, il comportamento del sottosuolo e la sua suscettibilità ai fenomeni amplificativi/dissipativi quando sottoposto ad azioni sismiche differenti. In dettaglio, sono stati utilizzati i 7 segnali di riferimento indicati dalla Regione Emilia Romagna in DGR 630/2019, come aggiornata dalla DGR 476/2021 e successiva integrazione DGR 564/2021. Si tratta di

Accelerogrammi Naturali estratti da una specifica banca dati tramite piattaforma WebGIS realizzata dall'istituto EUCENTRE: <http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html>

Tali accelerogrammi vengono selezionati secondo il principio di spettro compatibilità, utilizzando una procedura simile a quella adottata per la creazione di SEISM-HOME (Rota et al., 2012), considerando le prescrizioni delle NTC08 e NTC18 (ossia lo scarto tra lo spettro medio ottenuto dai 7 accelerogrammi e lo spettro di riferimento non deve superare una specifica soglia all'interno di un prefissato campo di periodi).

L'adattamento dei singoli segnali, selezionati tramite uno specifico algoritmo, avviene tramite scalatura lineare all'accelerazione di ancoraggio prevista al bedrock, risultando quindi spettro-compatibili con lo spettro elastico in accelerazione definito per un determinato T_r (tempo di ritorno) al nodo del reticolo INGV più vicino, individuato secondo le modalità definite al precedente Capitolo 3.

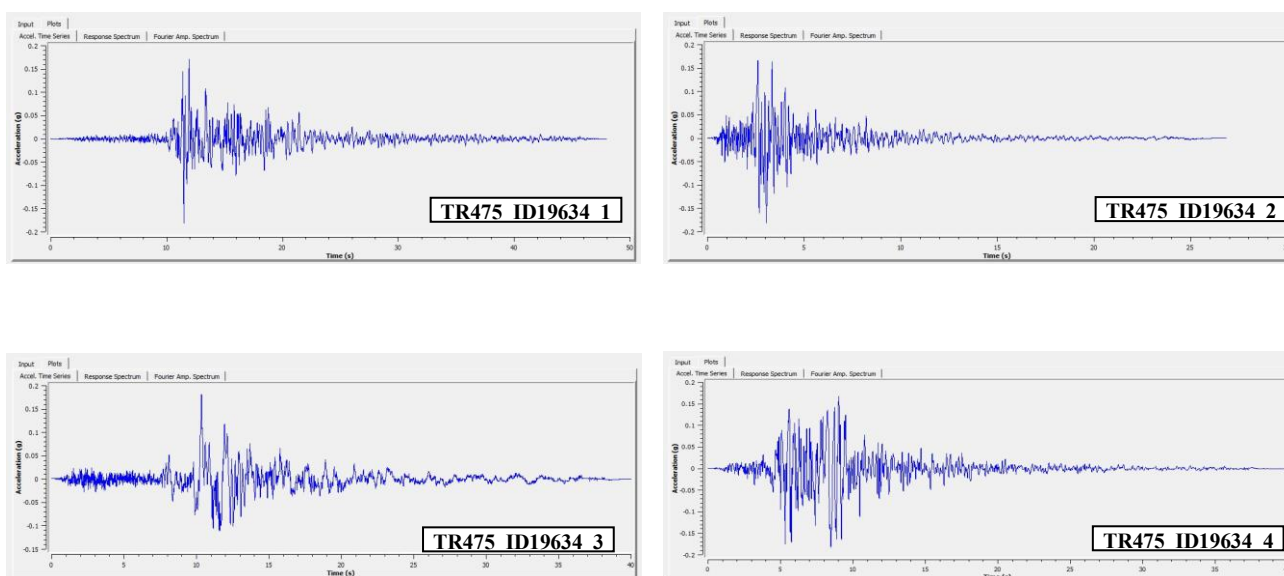
La “forma generale” dei 7 accelerogrammi (la cui sigla è definita dal tempo di ritorno+codice identificativo del nodo di riferimento+suffisso_1, 2 es. TR475_ID19634_1) è indicativamente riportata in figura 10.1.

Gli accelerogrammi, opportunamente scalati, sono stati estrapolati ai nodi di riferimento più vicini al sito di indagine, scalandoli successivamente all'accelerazione stimata al suolo rigido di tipo A tramite il documento excel “Spettri-NTCver.1.0.3” fornito dal CSLP.

Il valore di profondità del bedrock sismico, al quale sono stati applicati in “outcrop” i 7 segnali di riferimento, è stato determinato sia sulla base dell'analisi congiunta delle diverse prove geofisiche in sito sia sulle informazioni derivanti da indagini geognostiche. A tal proposito i profili di V_s di riferimento sono sintetizzati in figura 6.2 del precedente Capitolo 6.

Il comportamento geomeccanico/geofisico di tale interfaccia è stato descritto mediante i seguenti parametri: $\delta=22 \text{ kN/m}^3$, $V_s=800 \text{ m/sec}$ e $D_0=0.005$ (smorzamento/damping = 0.5 %).

Il livello freatico medio utilizzato per la modellazione numerica risulta variabile in relazione al sito di verifica e, comunque, mediamente identificato a circa -4 m dal p.c. locale.



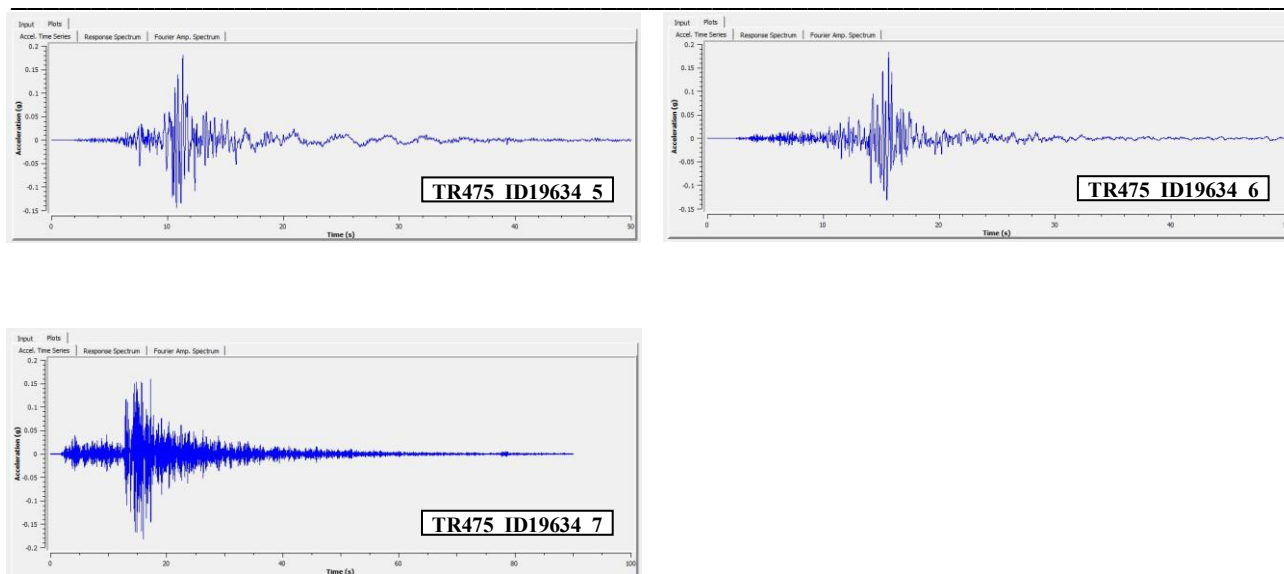


Figura 10.1-Sismogrammi di riferimento al nodo ID19634, utilizzati come “Input” al bedrock per le analisi di RSL.

10.1.3 Modello di sottosuolo e parametri dinamici

Per quanto riguarda la caratterizzazione dinamica dei terreni, al fine di ottenere curve di decadimento del Modulo di taglio normalizzato (G/G_0) e dello smorzamento ($D\%$) rappresentative per l'area, sono state utilizzate sia curve di letteratura sviluppate su campioni di alta qualità di terreno analoghi (per caratteristiche granulometriche e costitutive).

In virtù di recenti esperienze di laboratorio dinamico condotte su terreni analoghi ed in zone limitrofe a quelle di studio, i modelli di terreno di letteratura utilizzati per la caratterizzazione dei depositi di copertura, antropici e delle coltri alterate, denominate con l'acronimo/prefisso “CL”, fanno riferimento alle curve di letteratura EPRI 93, formulate per terreni coesivi in funzione della profondità/carico litostatico e dell'indice di plasticità; nello specifico si è utilizzato il modello EPRI (93), $PI=10$ (RI/CL10) e $PI=30$ (CL30).

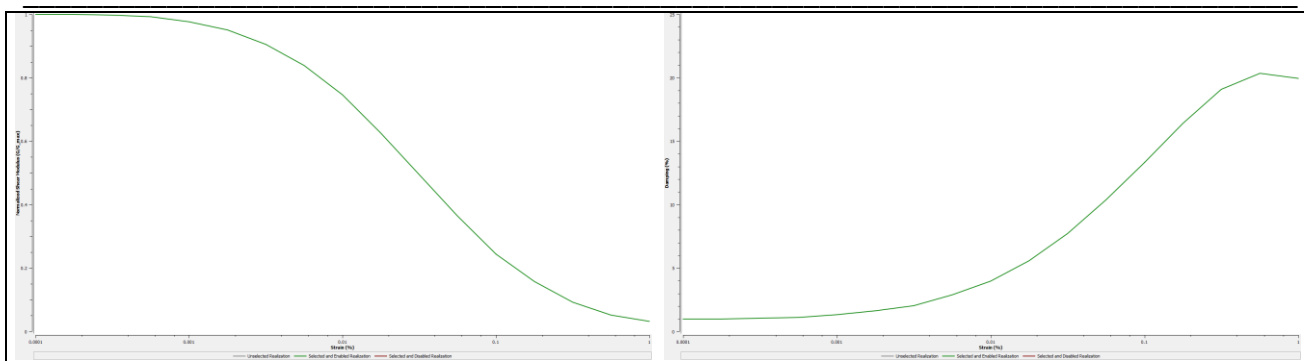
Per gli orizzonti di substrato formazionale alterato (SA) e decompresso (SD) si sono adottate le curve proposte da Darendeli & Stokoe (2001) definite per un Indice di Plasticità pari a 20 e per un OCR rispettivamente pari a 5 e 10 e per pressioni di confinamento rappresentative delle profondità di interesse.

Per quanto riguarda invece i terreni appartenenti prevalentemente alla formazioni geologiche di base prevalentemente di natura marnoso-arenacee, denominate con l'acronimo “SU”, si sono utilizzate le curve sperimentali di Crespellani et al. 2007, sviluppate a seguito di studi condotti in località limitrofe (Senigallia) su terreni appartenenti alla stessa formazione geologica e profondità comparabili (Crespellani et Al., 2007 - Plio-Pleistocene Mean).

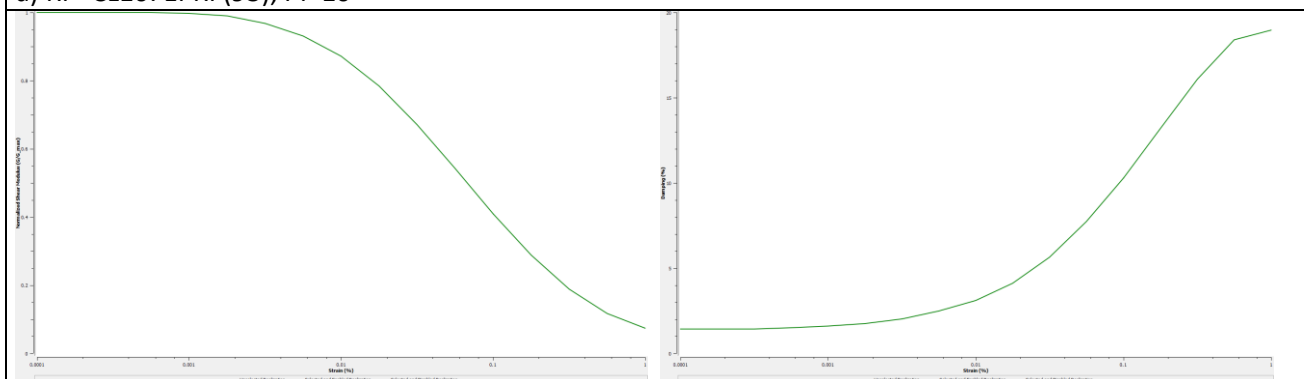
La scelta delle curve utilizzate per ciascun sismostrato è stata condotta, quindi, sull'assunzione che il comportamento dei materiali, oltre che su parametri litologici, varia anche in funzione di:

- Profondità/pressione di confinamento • OCR • IP • Frequenza • N. cicli

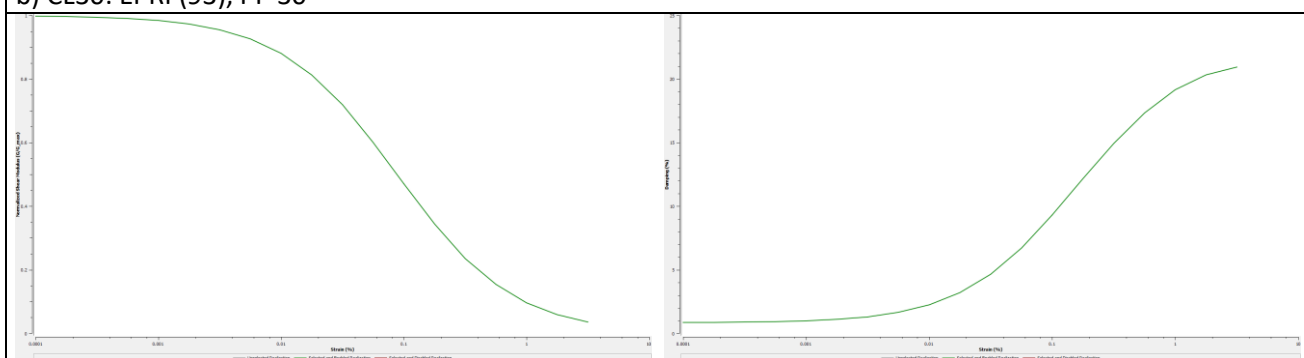
Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa



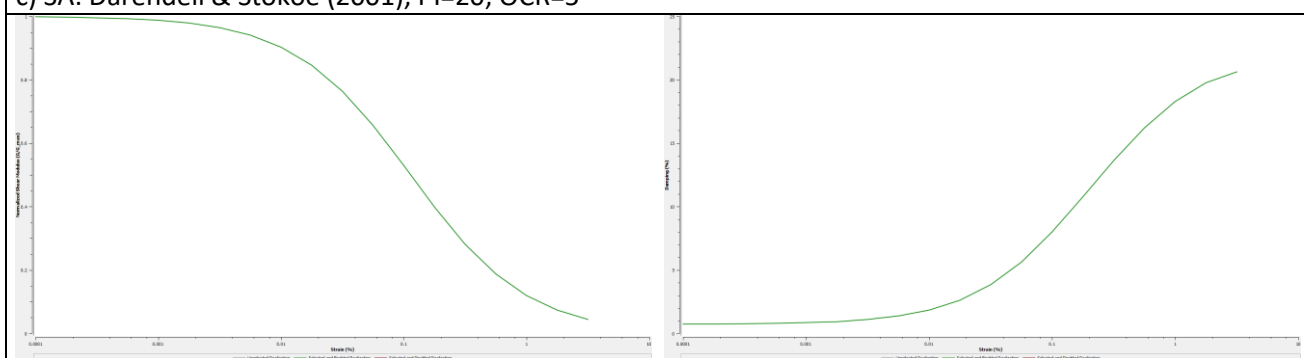
a) RI - CL10: EPRI (93), PI=10



b) CL30: EPRI (93), PI=30

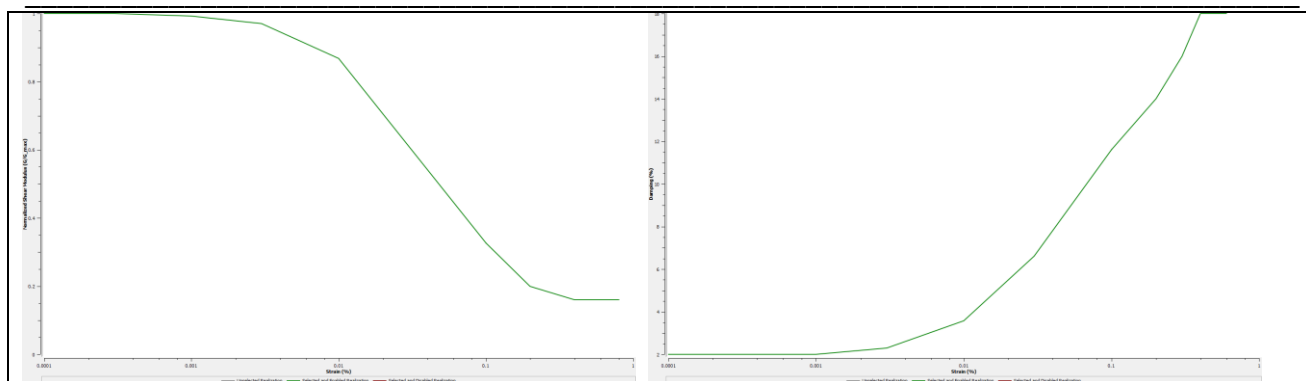


c) SA: Darendeli & Stokoe (2001), PI=20; OCR=5



d) SD: Darendeli & Stokoe (2001), PI=20; OCR=10

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN) Relazione Illustrativa



e) SU: Crespellani et Al. (2007)

Figura 10.2- Curve di caratterizzazione dinamica dei terreni, curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato G/G_0 e Curve di smorzamento $D\%$ per il sismo strato CL10 (a), CL30 (b), SA (c), SD (d) ed SU (e).

In Figura 10.2 vengono riportate le curve di decadimento/damping utilizzate per la caratterizzazione dei terreni presso le frane in studio.

Pertanto in figura 10.3 si riportano i modelli di sottosuolo utilizzati per le analisi di *RSL* in corrispondenza delle verticali rappresentative per le frane in corrispondenza delle diverse località e denominate in funzione dei comuni e delle relative sezioni di riferimento (vedi carta geologico-tecnica e sezioni litotecniche di dettaglio in Allegato n. 2).

I gradienti di velocità V_s sono stati definiti attraverso le numerose prove geofisiche svolte in sito e la calibrazione con prove geognostiche e geofisiche profonde in zone vicine e terreni analoghi. In dettaglio, gli orizzonti più superficiali sono stati caratterizzati utilizzando i risultati delle prove sismiche di tipo attivo e diretto (SCPT – Down Hole e MASW) mentre, per le V_s in profondità, sono stati utilizzati i risultati delle analisi ESAC/SPAC tramite inversione congiunta con gli spettri HVSr (per maggiori dettagli capitolo 5-6) calibrandole sulle risultanze di prove down-hole, masw ed scpt realizzate in aree vicine.

Per il Bedrock sismico si è assunto generalmente un valore di Damping pari a 0.5 %.

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	1	CL10	170
1	1	CL10	186
2	1	CL10	182
3	1	CL10	241
4	1	CL10	203
5	1	CL10	196
6	7.9	SA	268
13.9	3.9	SA	248
17.8	5.4	SD	343
23.2	5.4	SD	294
28.6	5.8	SU	412
34.4	8.4	SU	360
42.8	10.5	SU	330
53.3	12.5	SU	422
65.8	24.2	SU	599
90	14	SU	700
104	---	Bedrock	800

a)

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	1.8	RI	147
1.8	3.3	CL10	137
5.1	3.9	CL10	212
9	3.5	CL10	251
12.5	3.4	SU	475
15.9	5.7	SU	415
21.6	5.6	SU	438
27.2	7.3	SU	495
34.5	---	Bedrock	864

b)

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	1.6	CL10	133
1.6	3.8	CL10	199
5.4	1.9	CL10	202
7.3	2.5	CL30	238
9.8	4.9	SA	356
14.7	4.6	SD	301
19.3	3.9	SU	509
23.2	9.2	SU	625
32.4	9.6	SU	535
42	7.5	SU	714
49.5	---	Bedrock	889

c)

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	1	CL15	198
1	1	CL15	229
2	1	CL15	247
3	1	CL15	251
4	1	CL15	288
5	1	CL15	264

6	1	CL15	249
7	1	CL15	270
8	1	SA	302
9	1	SD	377
10	0.4	SU	398
10.4	1.9	SU	478
12.3	7.3	SU	446
19.6	6.7	SU	536
26.3	8.7	SU	632
35	7.9	SU	592
42.9	10.4	SU	630
53.3	16.7	SU	702
70	---	Bedrock	800

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	4.2	CL10	155
4.2	4.9	CL10	184
9.1	4.7	CL10	337
13.8	2.1	SU	442
15.9	4.1	SU	581
20	5	SU	633
25	5	SU	698
30	5	SU	763
35	---	Bedrock	800

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	5.2	CL30	172
5.2	3.4	CL30	238
8.6	2.1	SA	367
10.7	2.3	SU	419
13	7.2	SU	506
20.2	4.8	SU	545
25	5	SU	580
30	5	SU	615
35	20	SU	645
55	20	SU	675
75	20	SU	705
95	---	Bedrock	800

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	2	CL15	200
2	1	CL15	246
3	1	CL15	281
4	1	CL15	305
5	1	SU	339
6	1	SU	441
7	1	SU	538
8	1	SU	572
9	1	SU	624
10	10	SU	655
20	10	SU	685
30	10	SU	715
40	---	Bedrock	800

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	1	CL30	172
1	1	CL30	180
2	1	CL30	194
3	1	CL30	201
4	1	CL30	216
5	1	CL30	245
6	1	SA	349
7	1	SA	357
8	3.5	SD	388
11.5	3.1	SU	530
14.6	6	SU	590
20.6	7.4	SU	648
28	5.3	SU	670
33.3	7.7	SU	669
41	7.8	SU	711
48.8	9.5	SU	623
58.3	14.6	SU	593
72.9	22.1	SU	704
95	---	Bedrock	800

Figura 10.3- Modelli di sottosuolo adottati per le analisi di RSL relativi alle frane in comune di Gemmano (a), Mondaino (b), Montefiore C. (c), Montegridolfo (d), Montescudo-Montecolombo (e) Morciano di R. (f), Saludecio (g), San Clemente (h).

10.1.4 Spettri di Risposta e Fattori di Amplificazione

Di seguito sono riportati risultati delle simulazioni RLS condotte in condizioni di *free field* con il software STRATA.

Per ciascuna verticale di calcolo nelle figure successive vengono visualizzati:

- i profili di accelerazione (Ag/g) riferiti a ciascuno dei 7 segnali di input congiuntamente a quello medio (media aritmetica dei 7 segnali);
- la media degli spettri elastici di accelerazione con smorzamento al 5% (riferita ai 7 segnali di Input);

- lo spettro elastico di accelerazione medio di output (media aritmetica dei 7 segnali);
- la funzione di trasferimento;
- il profilo delle deformazioni di taglio massime.

Inoltre, in ossequio alle direttive approvate con 630/2019, come aggiornata dalla *DGR 476/2021 e successiva integrazione DGR 564/2021*, per ciascuna area di verifica sono state calcolate le relative “PGA” al suolo libero (media dei 7 segnali) ed i fattori di amplificazione e di intensità spettrale determinati sulla base di:

- $F_{PGA} = PGA/PGA0$ (ove $PGA0 = ag_{bedrock}$)
- $FA = SA/SA0$, ovvero rapporti spettrali in accelerazione fra i seguenti periodi T(s) di riferimento: SA1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, SA2 per $0,4s \leq T \leq 0,8s$, SA3 per $0,7s \leq T \leq 1,1s$, SA4 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;
- $FH = SI/SI0$, ovvero rapporti spettrali in pseudovelocità (*Intensità di Housner*) fra i seguenti periodi T(s) di riferimento: SI1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, SI2 per $0,5s \leq T \leq 1,0s$, SI3 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;
- Parametro di scuotimento assoluto H_{SM} (cm/s²) (Naso et al., 2019), calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ed H_{0408} , H_{0711} , H_{0515} , ovvero lo scuotimento in accelerazione (cm/s²) atteso al sito per gli intervalli di periodi $0,4s \leq T \leq 0,8s$, $0,7s \leq T \leq 1,1s$ e $0,5s \leq T \leq 1,5s$;

i quali vengono sinteticamente riepilogati per ciascuna zona in coda ai relativi profili e spettri.

In coda a ciascuna verticale di verifica viene riportato anche il relativo valore di V_{SH} onde consentire un eventuale confronto con i parametri tabellari proposti negli abachi regionali e/o delle ICMS.

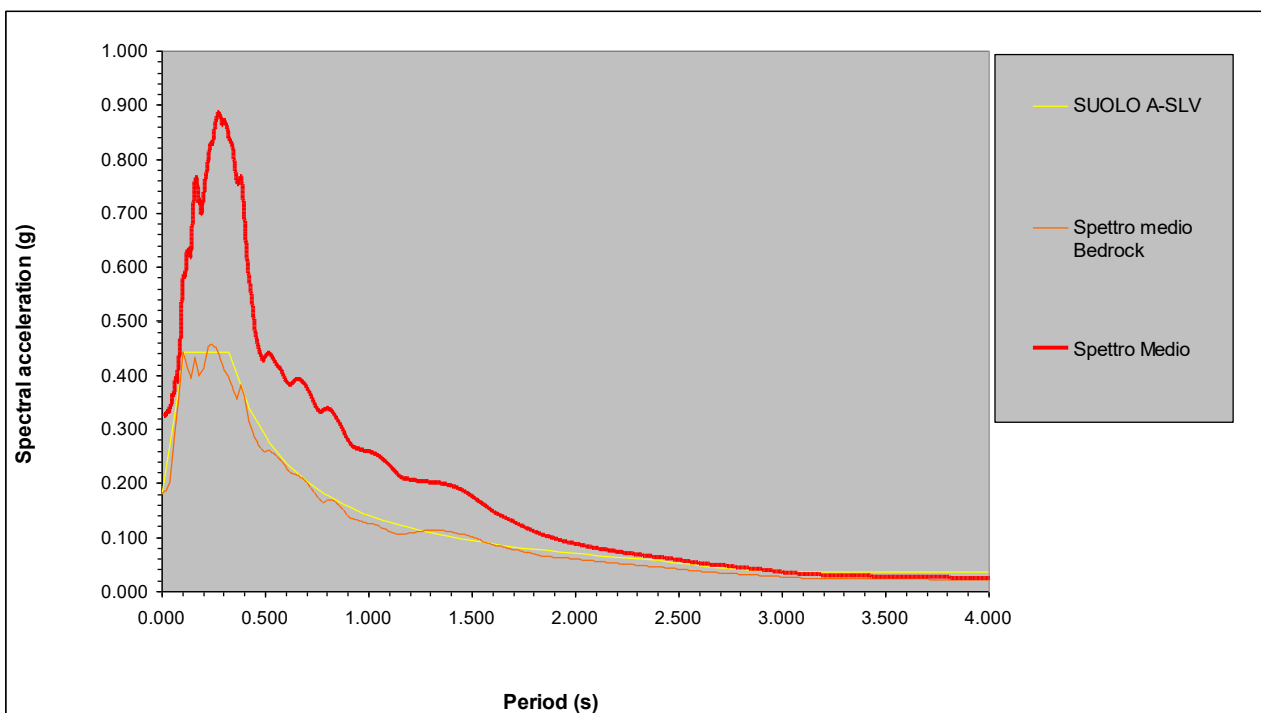
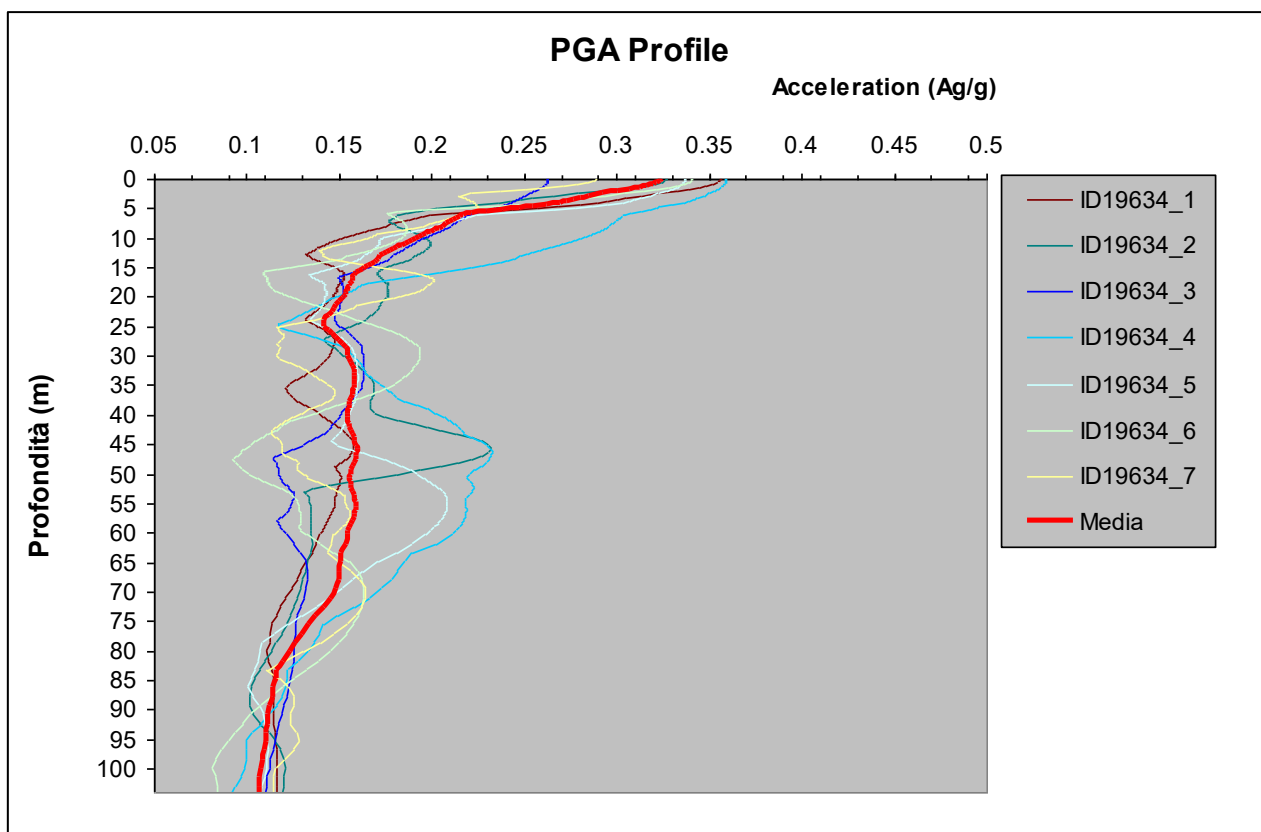
In allegato n. 4 vengono riportati i parametri di scuotimento desumibili per ciascun accelerogramma di output, mentre in allegato n. 5 vengono riportati i dati afferenti allo spettro elastico medio di output.

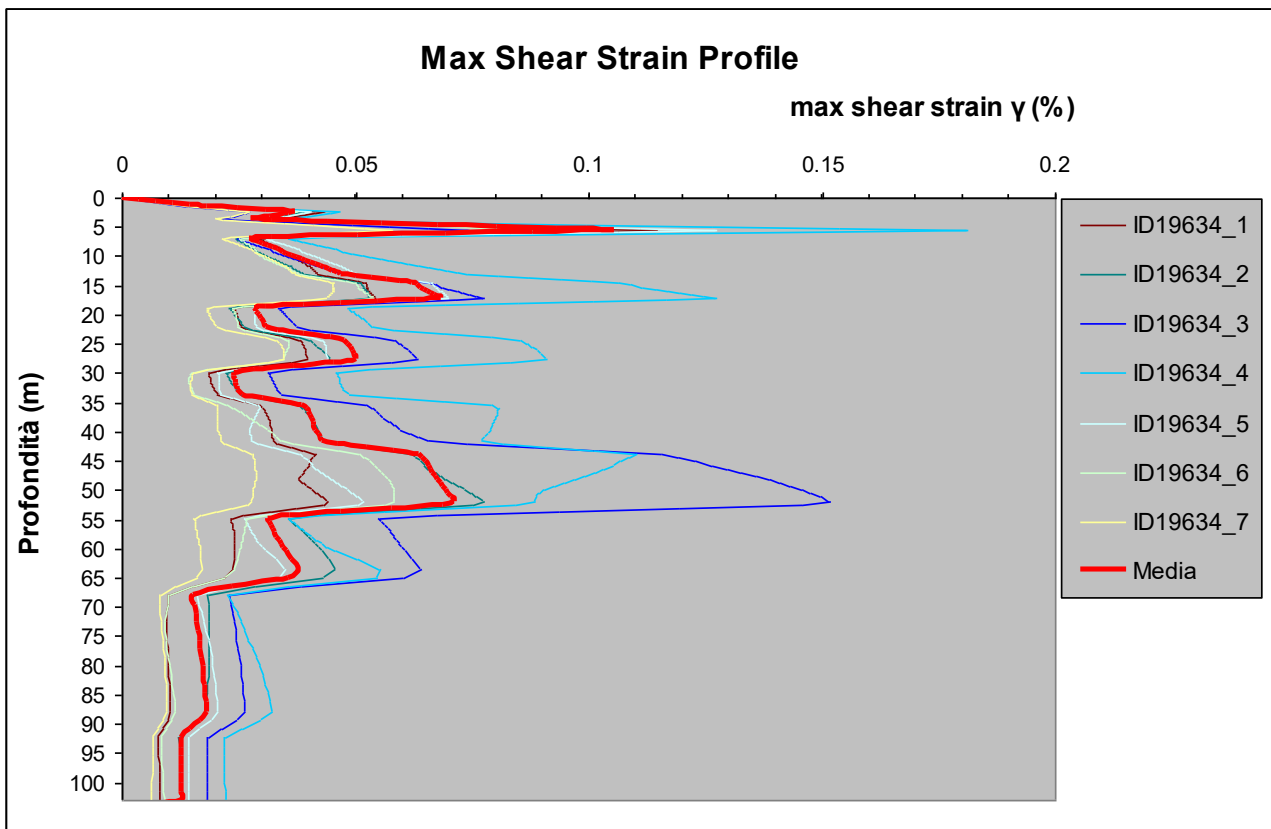
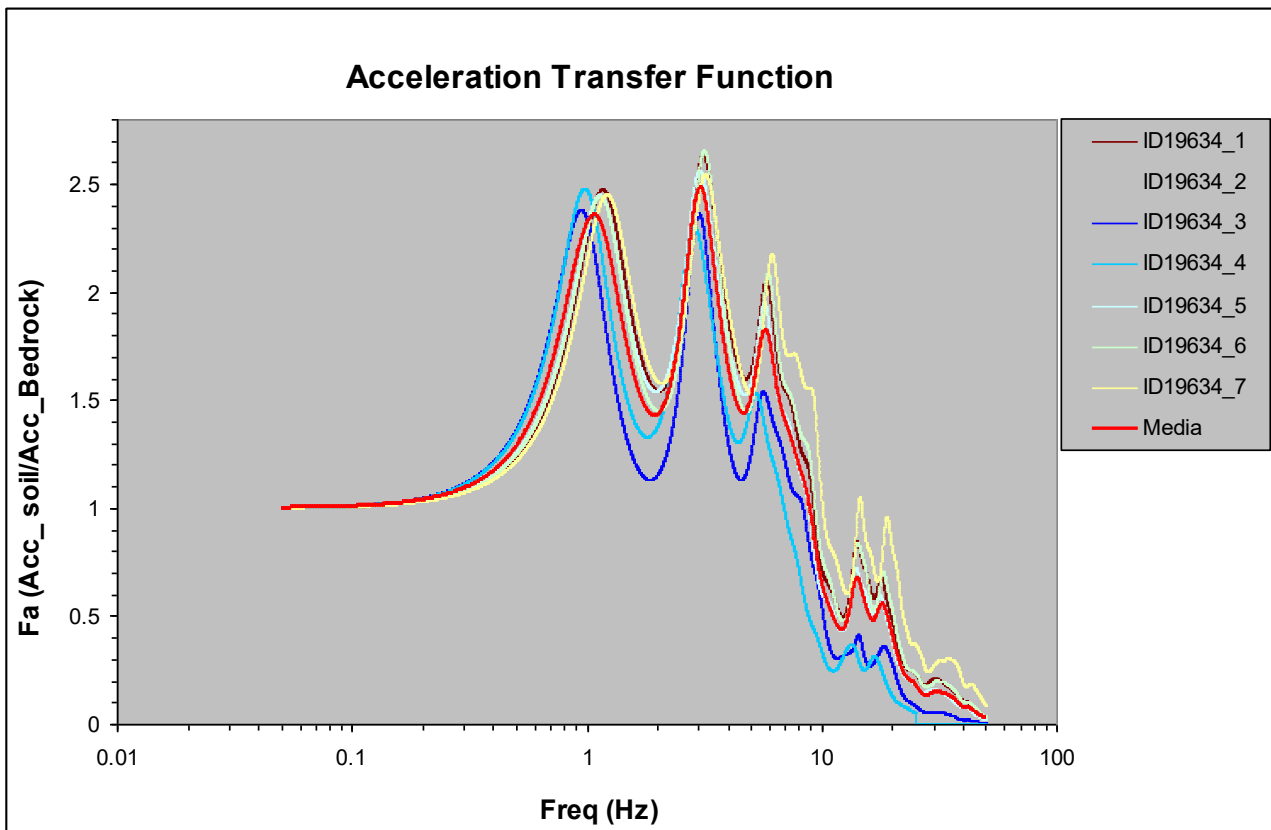
Le aree assoggettate a III Livello di approfondimento, data la modesta e regolare pendenza del versante e l'assetto stratigrafico ivi rilevato, non risultano interessate da potenziali effetti topografici amplificanti le azioni sismiche stimate tramite RSL 1D ne si ritiene necessario condurre analisi tramite metodi bidimensionali.

I dati numerici relativi ai singoli accelerogrammi ed agli spettri medi rappresentativi per ciascuna zona vengono inoltre forniti nell'apposito database secondo le modalità definite negli standard di archiviazione dati.

Di seguito si riportano i dati di sintesi rappresentativi per ciascuna zona/frana:

Frana Gemmano – Sezioni 3-3' / 4-4'





VsH (0-18)=234 (m/s) Vs30 (0-30)=246 (m/s)

PGA=0.324

F_{PGA}=1.798

Fattori SA:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SA1	0.1-0.5	0.160656	0.281986	1.755
INT SPETT.	SA2	0.4-0.8	0.100925	0.167394	1.659
INT SPETT.	SA3	0.7-1.1	0.063239	0.118185	1.869
INT SPETT.	SA4	0.5-1.5	0.154762	0.279460	1.806

Fattori SI:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SI1	0.1-0.5	6.862292	12.896501	1.879
INT SPETT.	SI2	0.5-1.0	10.821209	20.337587	1.879
INT SPETT.	SI3	0.5-1.5	21.614178	40.667589	1.882

AS_{Ipu}/ΔT= 397.691269

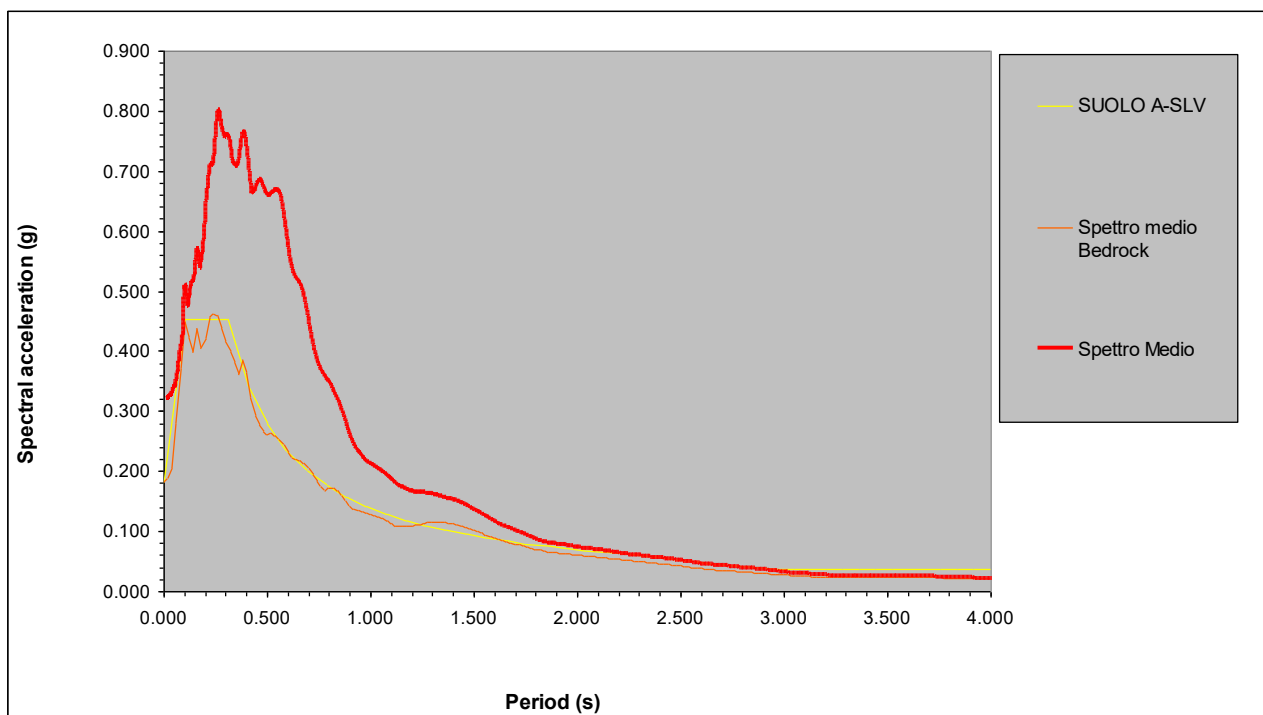
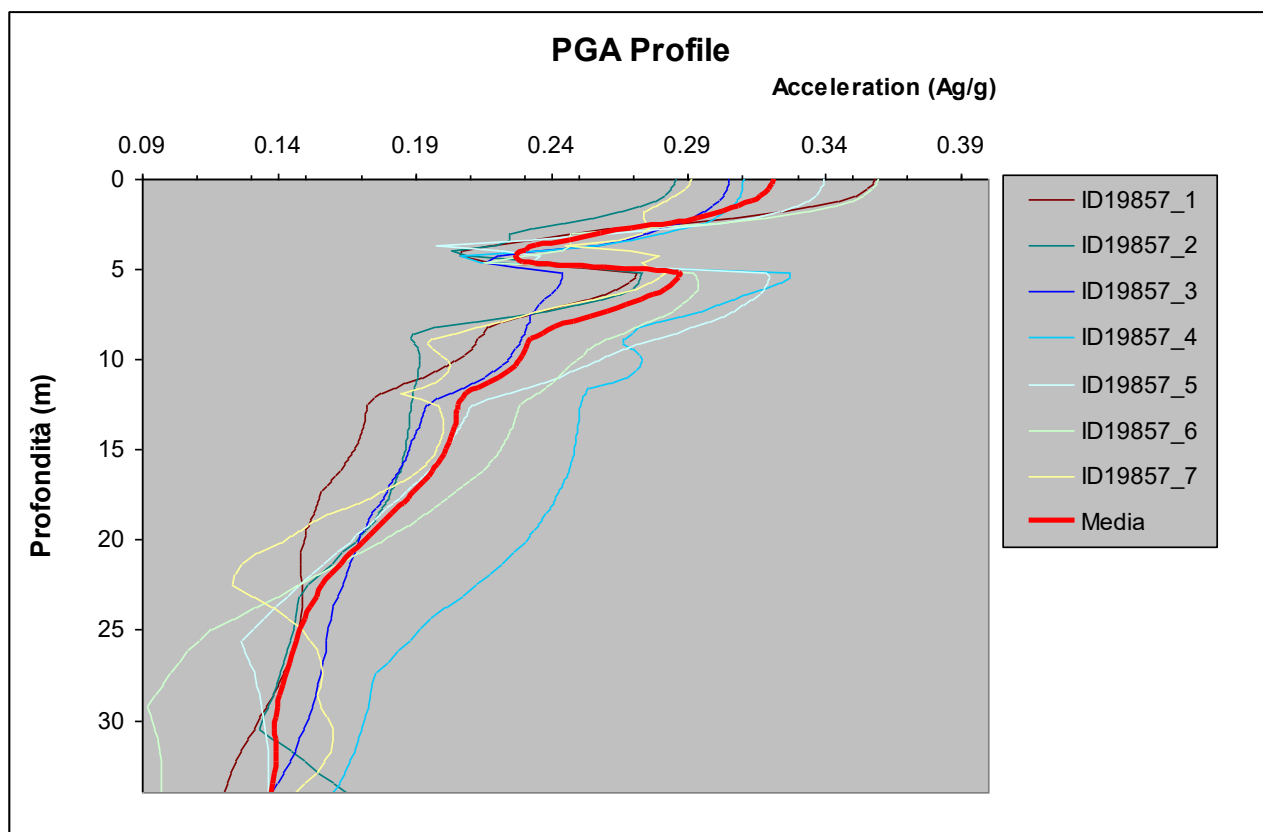
H_{SM} (cm/s²) = 698.032

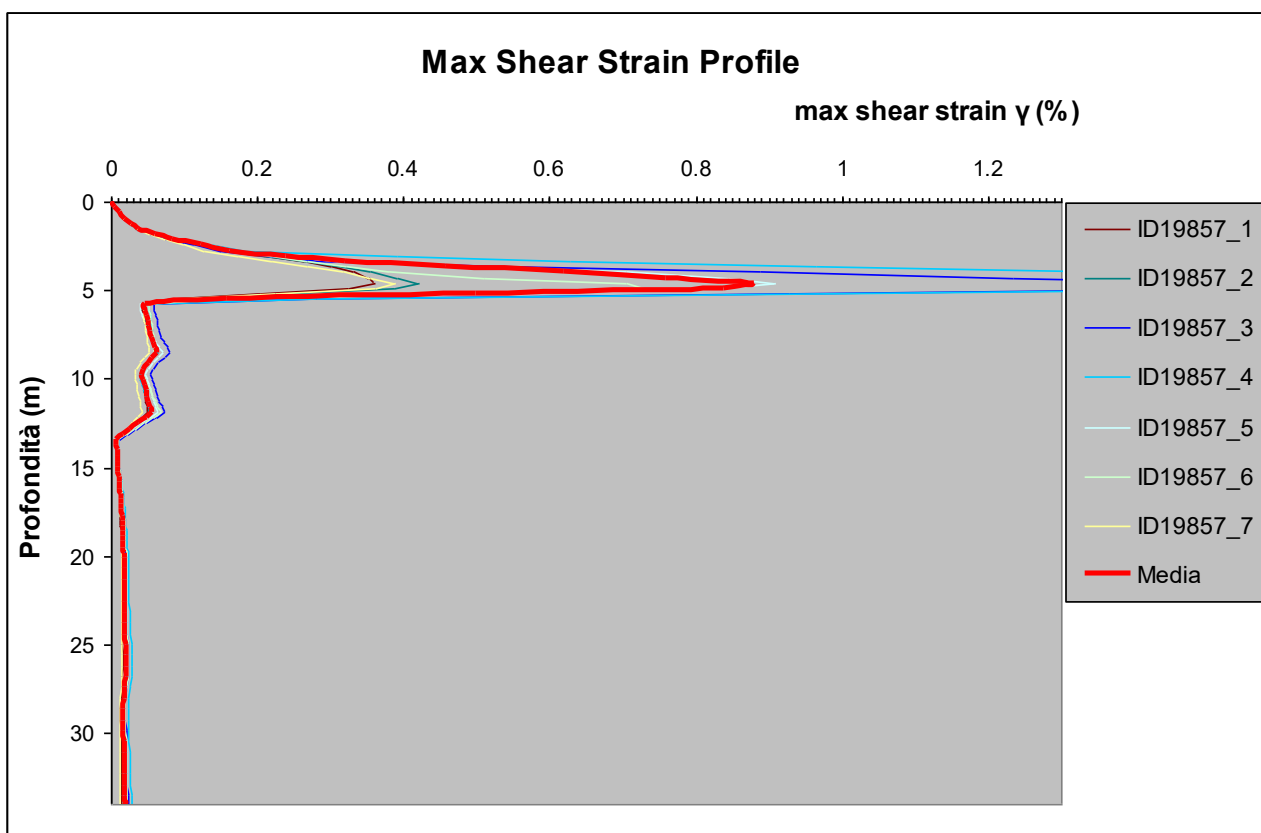
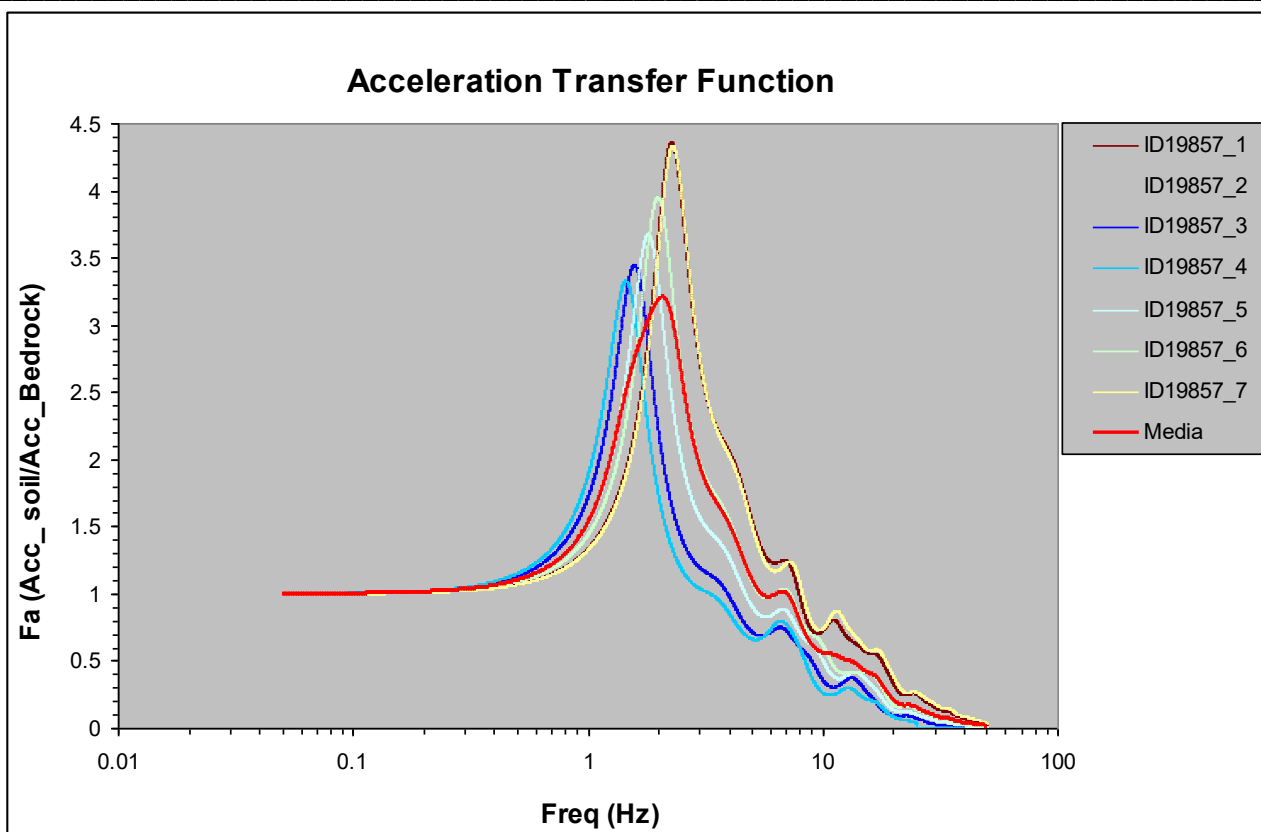
H₀₄₀₈ (cm/s²) = 410.393

H₀₇₁₁ (cm/s²) = 289.751

H₀₅₁₅ (cm/s²) = 274.057

Frana Mondaino – Sezione 3-3'





V_{sH} (0-12.5)=182 (m/s) V_{s30} (0-30)=278 (m/s)

PGA=0.321

F_{PGA}=1.750

Fattori SA:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SA1	0.1-0.5	0.162700	0.269566	1.657
INT SPETT.	SA2	0.4-0.8	0.102209	0.224268	2.194
INT SPETT.	SA3	0.7-1.1	0.064044	0.113717	1.776
INT SPETT.	SA4	0.5-1.5	0.156731	0.294920	1.882

Fattori SI:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SI1	0.1-0.5	6.949600	13.088371	1.883
INT SPETT.	SI2	0.5-1.0	10.958888	23.884301	2.179
INT SPETT.	SI3	0.5-1.5	21.889175	40.151792	1.834

AS_{Ipu}/ΔT= 397.961044

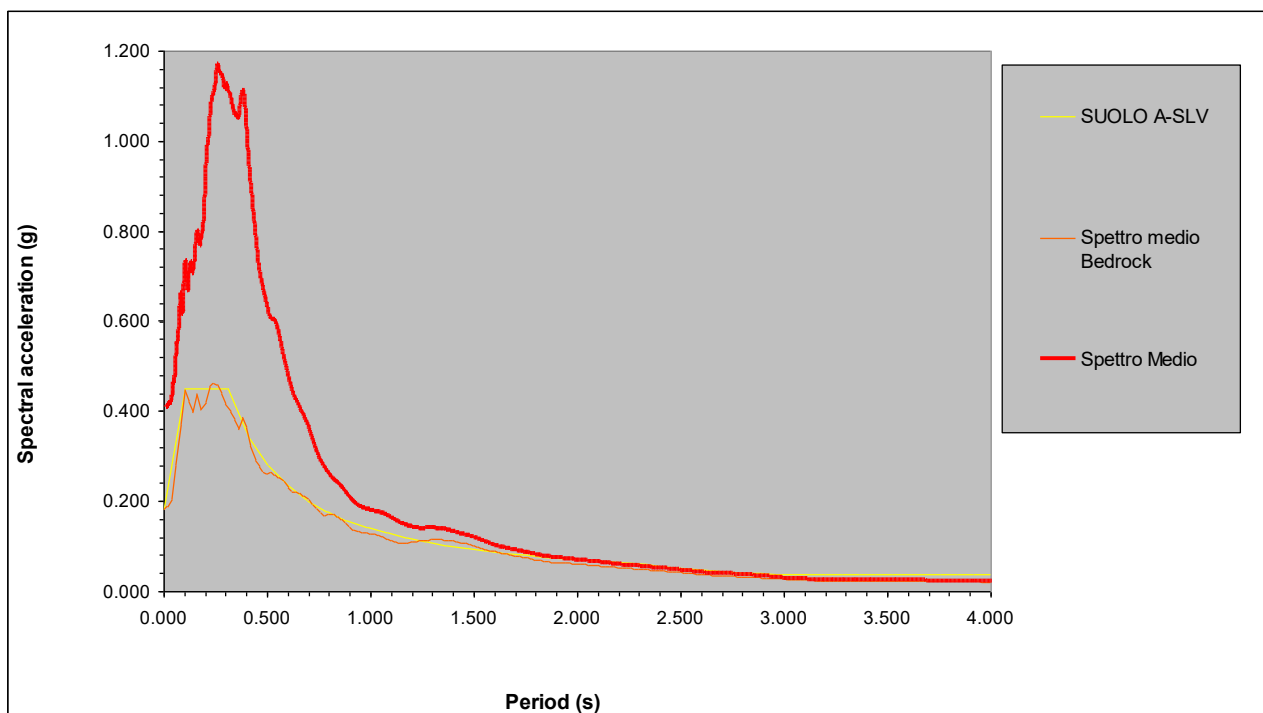
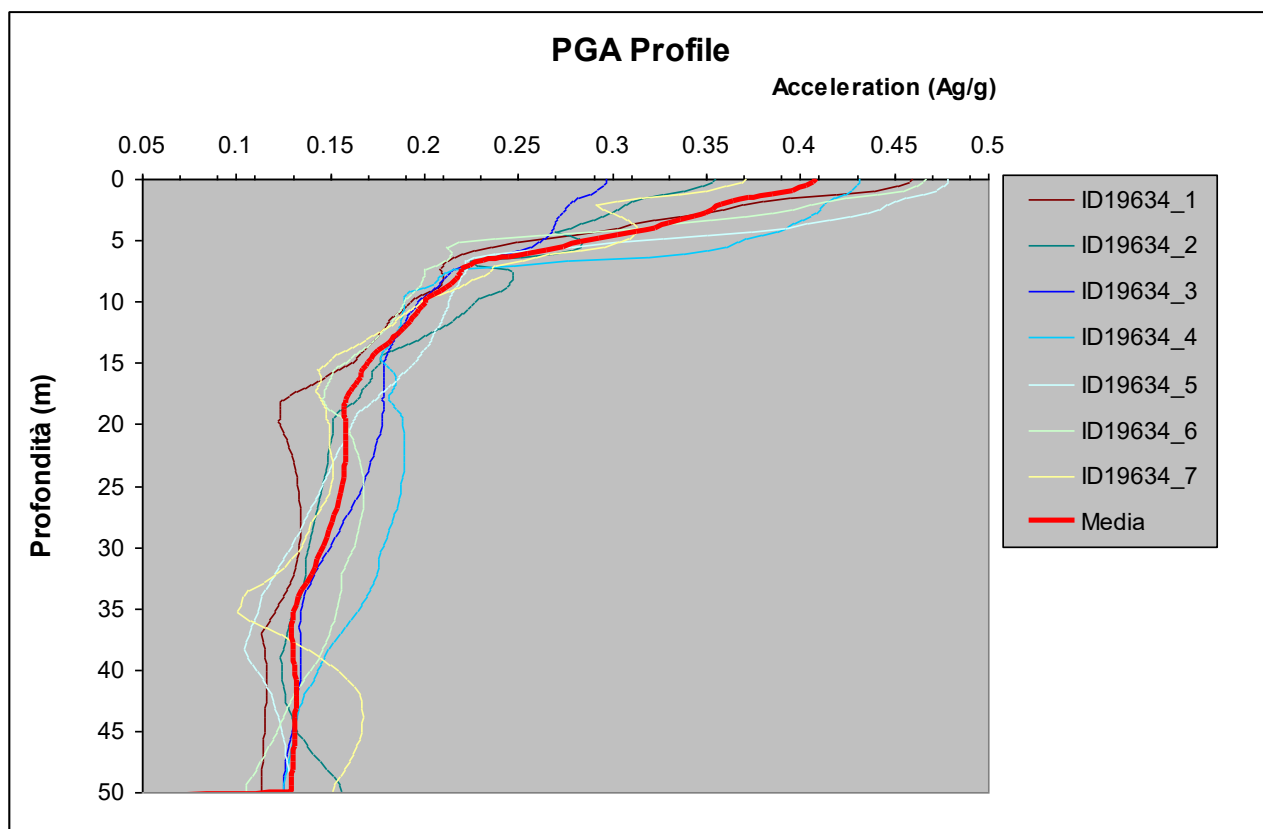
H_{SM} (cm/s²) = 659.352

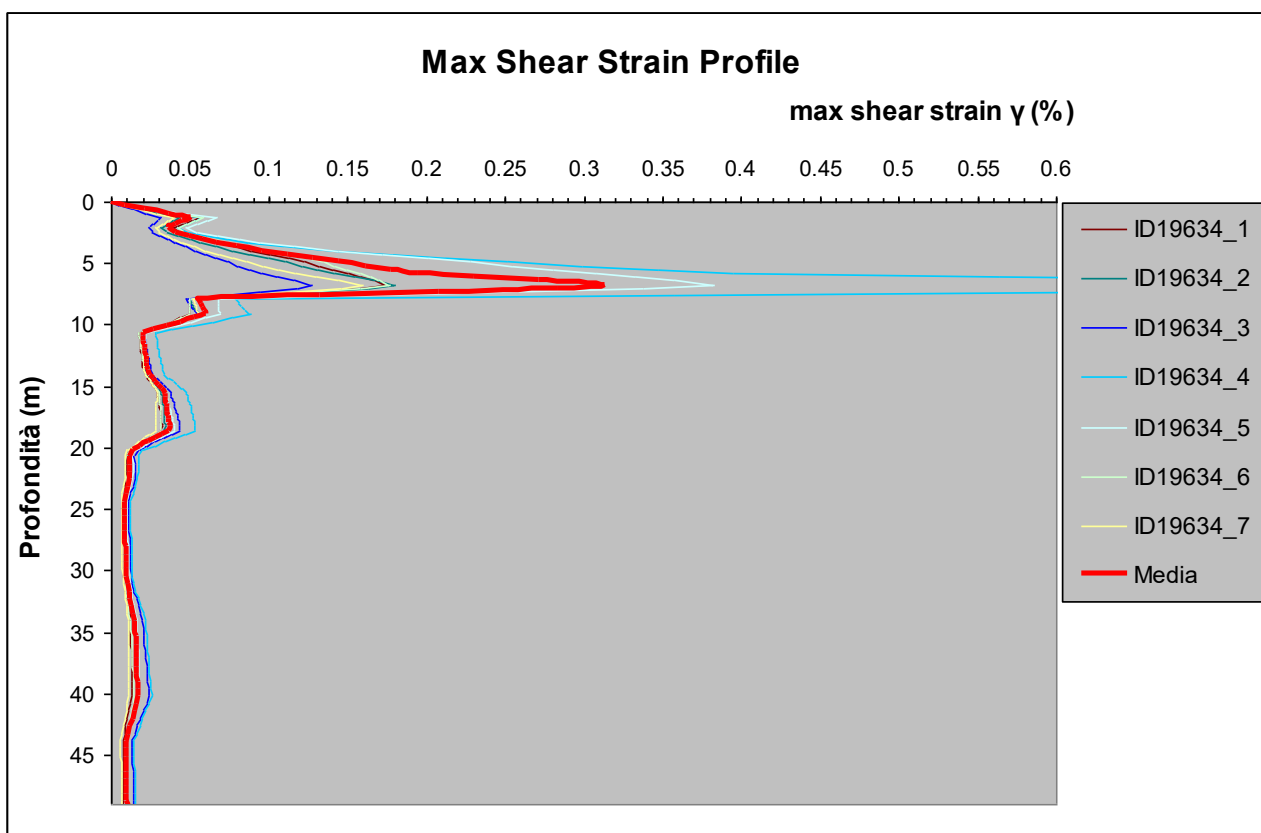
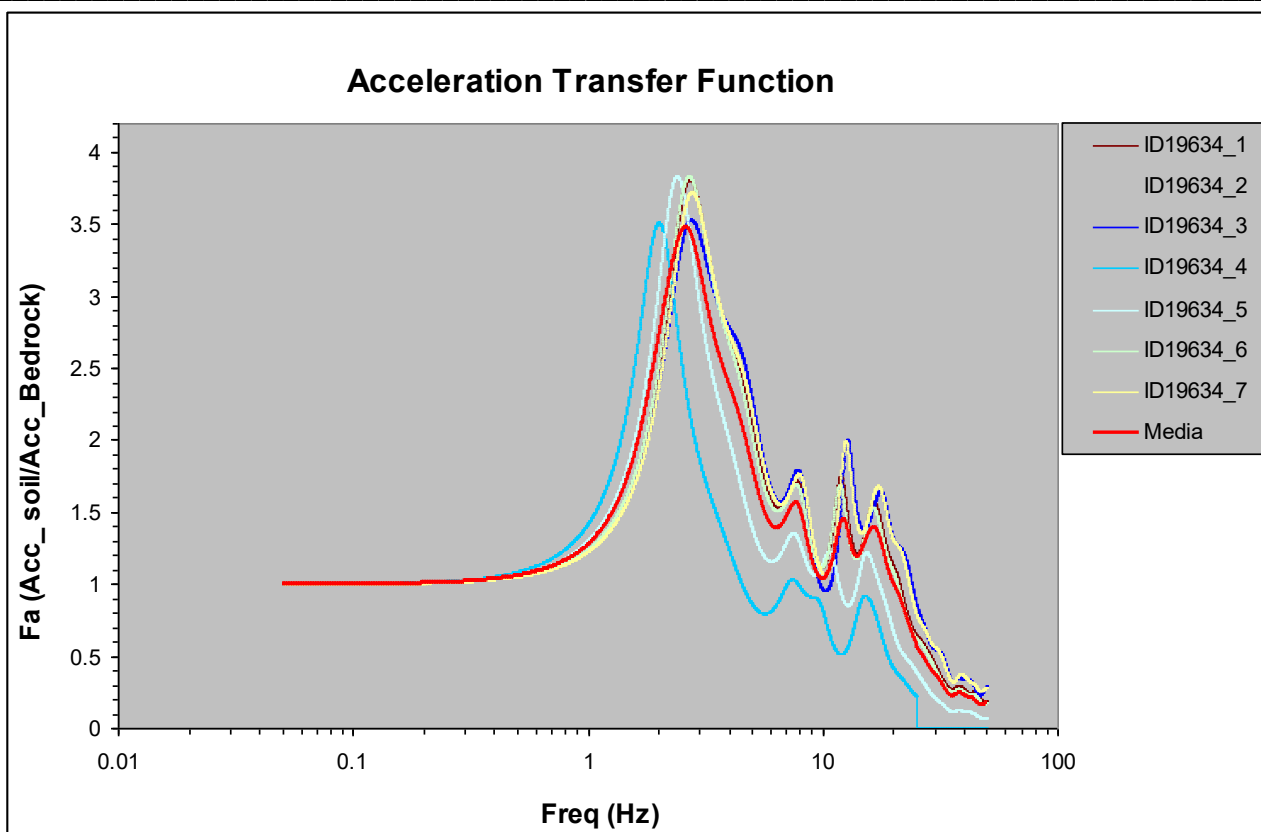
H₀₄₀₈ (cm/s²) = 549.829

H₀₇₁₁ (cm/s²) = 278.796

H₀₅₁₅ (cm/s²) = 289.218

Frana Montefiore Conca – Sezione 5-5'





VsH (0-10)=192 (m/s) Vs30 (0-30)=305 (m/s)

PGA=0.408

F_{PGA}=2.244

Fattori SA:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SA1	0.1-0.5	0.162329	0.372853	2.297
INT SPETT.	SA2	0.4-0.8	0.101978	0.209489	2.054
INT SPETT.	SA3	0.7-1.1	0.063903	0.091269	1.428
INT SPETT.	SA4	0.5-1.5	0.156386	0.246316	1.575

Fattori SI:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SI1	0.1-0.5	6.933705	17.648438	2.545
INT SPETT.	SI2	0.5-1.0	10.934684	19.627855	1.795
INT SPETT.	SI3	0.5-1.5	21.841098	33.738242	1.545

AS_{Ipu}/ΔT= 397.691269

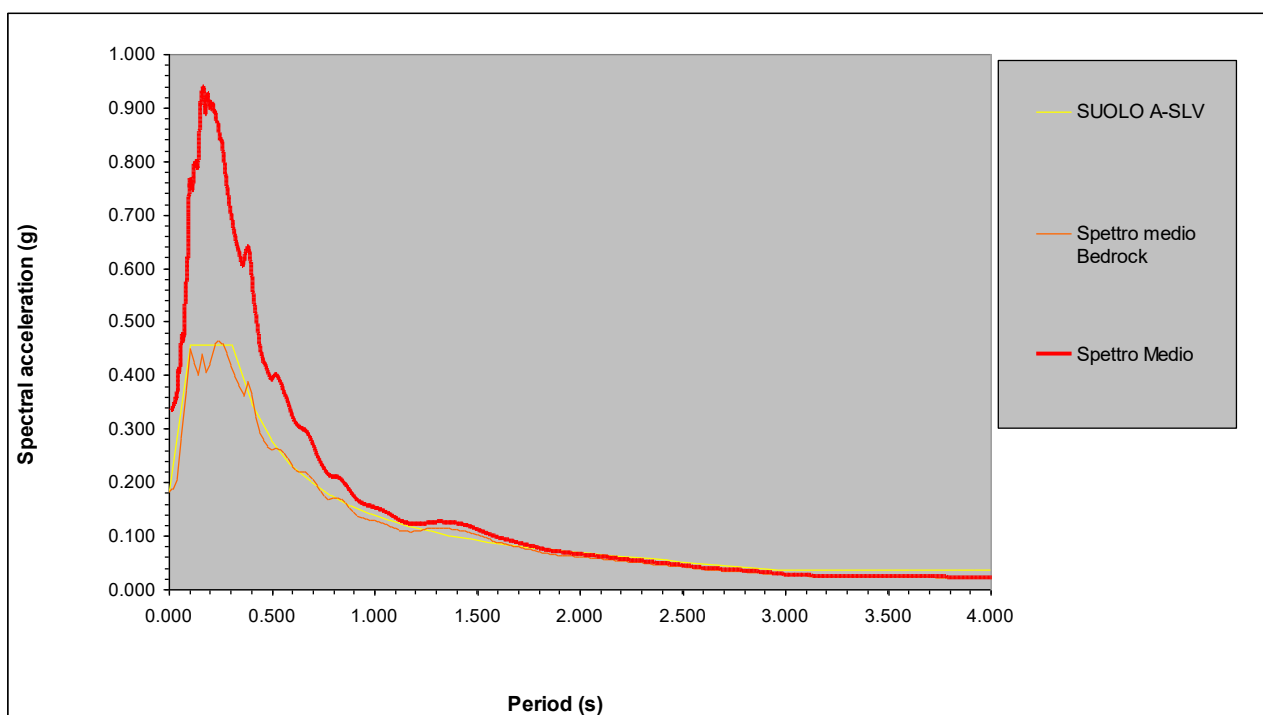
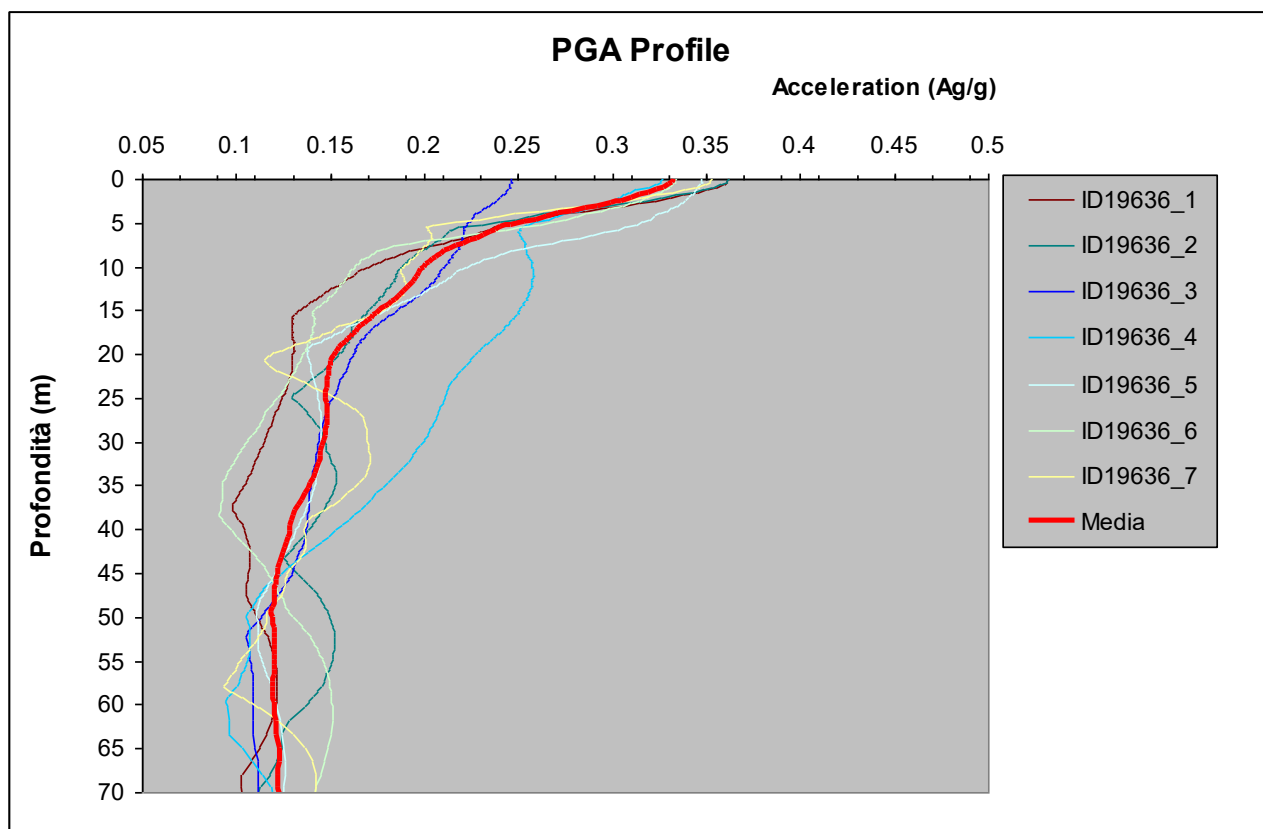
H_{SM} (cm/s²) = 913.456

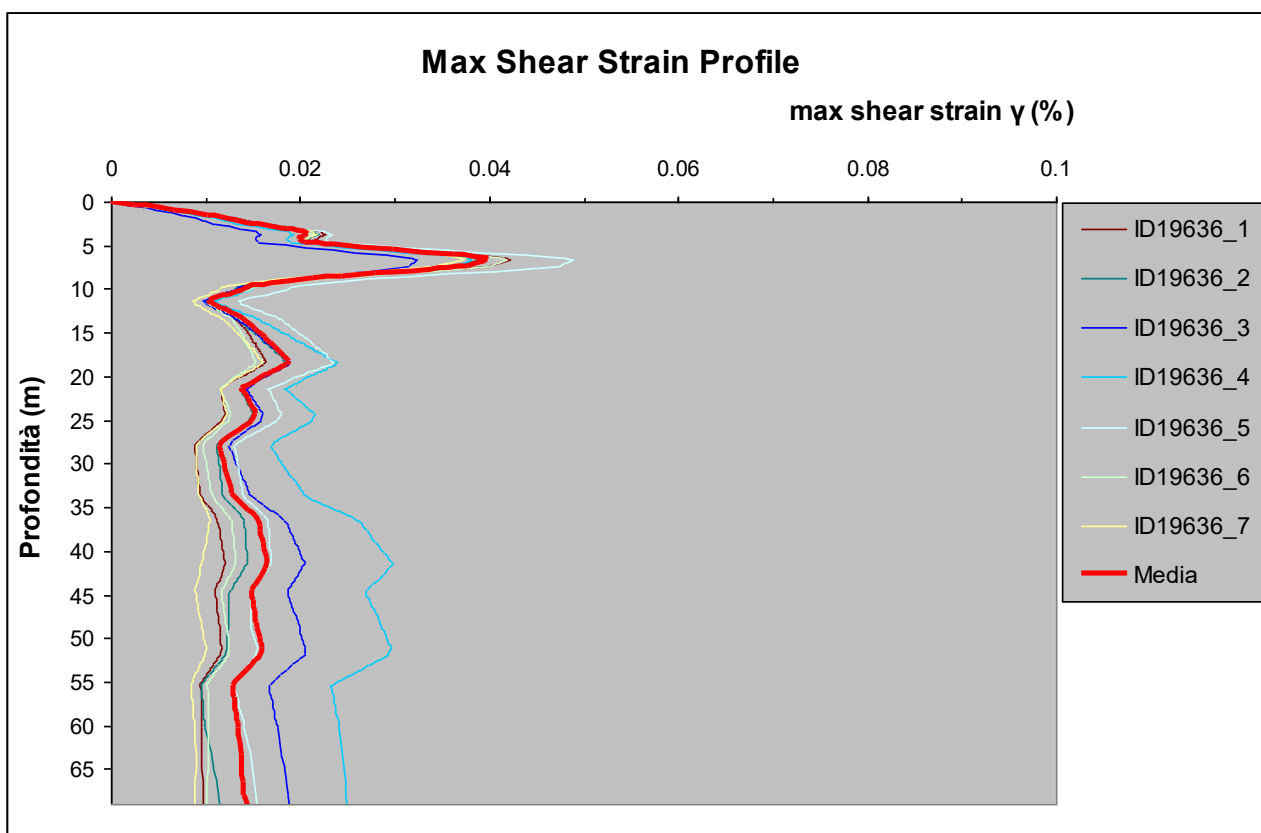
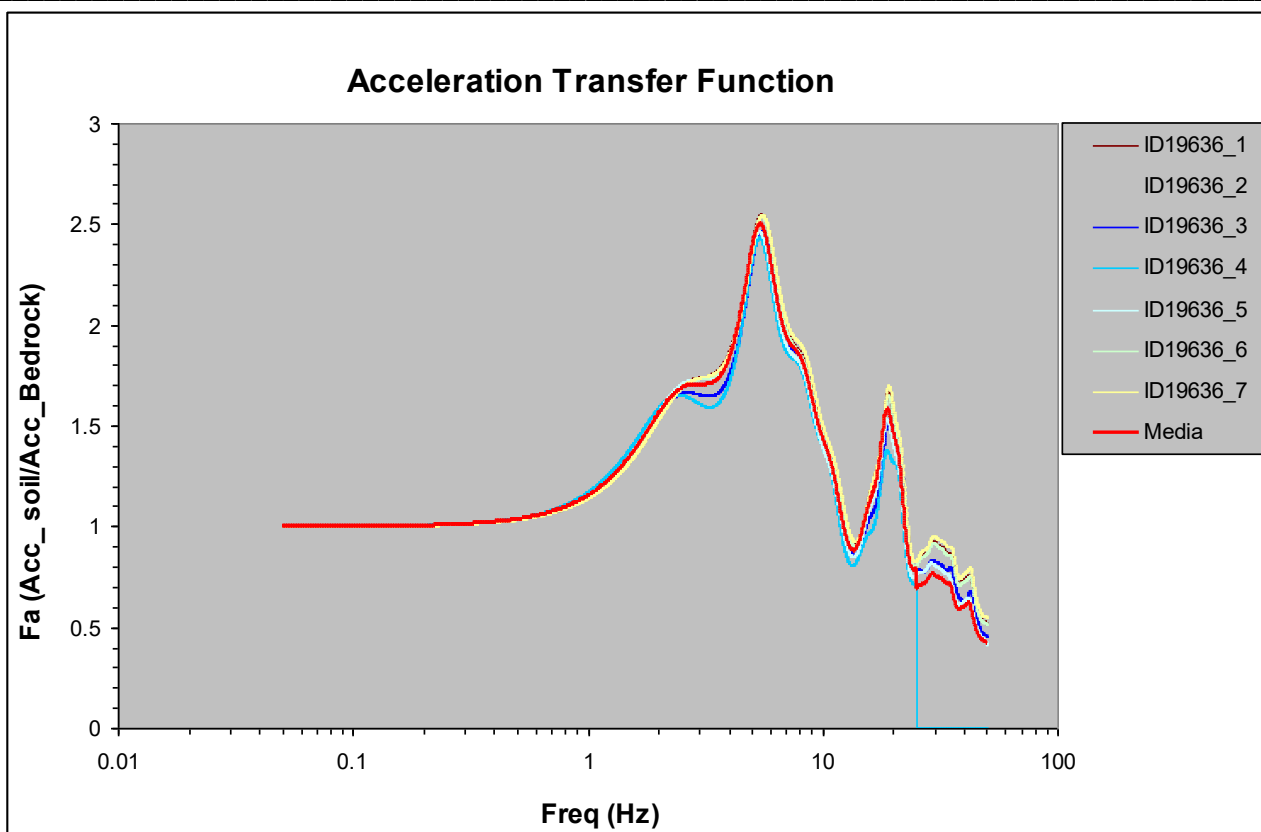
H₀₄₀₈ (cm/s²) = 513.597

H₀₇₁₁ (cm/s²) = 223.762

H₀₅₁₅ (cm/s²) = 241.554

Deposito Montegridolfo – Sezione 3-3'





VsH (0-9)=252 (m/s) Vs30 (0-30)=398 (m/s)

PGA=0.333

F_{PGA}=1.821

Fattori SA:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SA1	0.1-0.5	0.163166	0.278649	1.708
INT SPETT.	SA2	0.4-0.8	0.102495	0.137260	1.339
INT SPETT.	SA3	0.7-1.1	0.064222	0.073974	1.152
INT SPETT.	SA4	0.5-1.5	0.157166	0.190587	1.213

Fattori SI:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SI1	0.1-0.5	6.969450	12.050599	1.729
INT SPETT.	SI2	0.5-1.0	10.989293	14.530470	1.322
INT SPETT.	SI3	0.5-1.5	21.949872	26.880132	1.225

AS_{Ipu}/ΔT= 409.193494

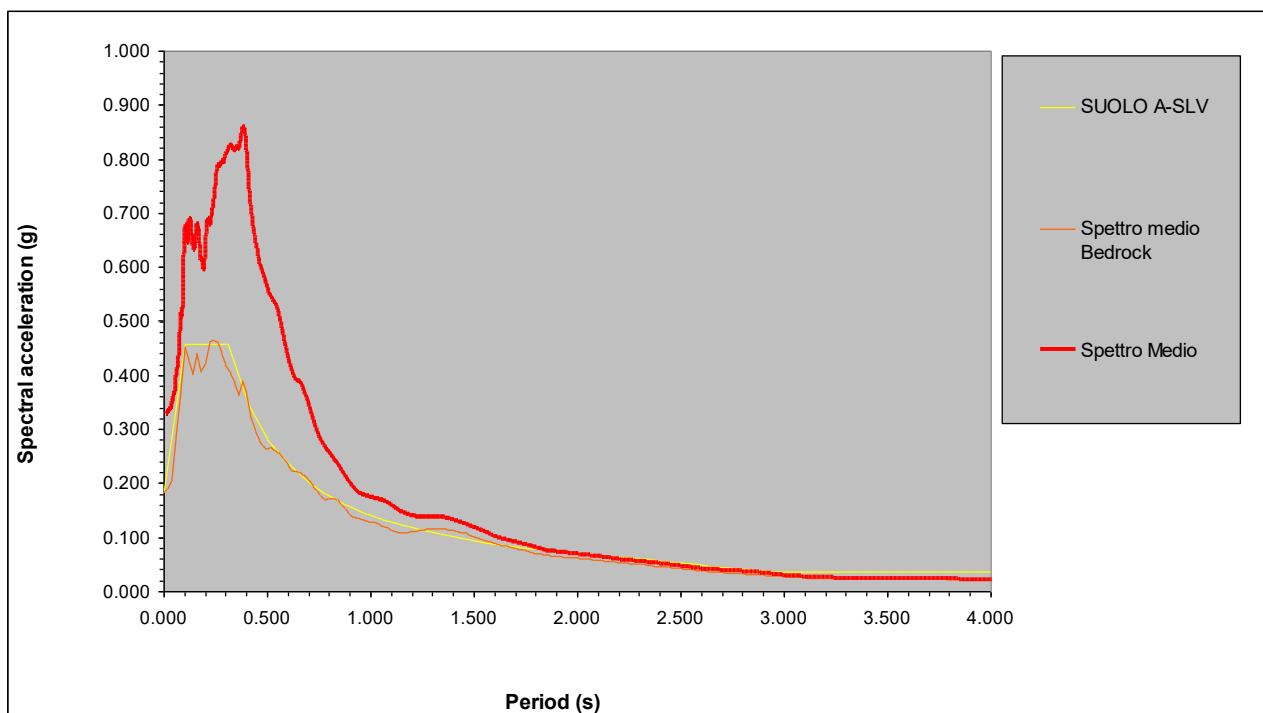
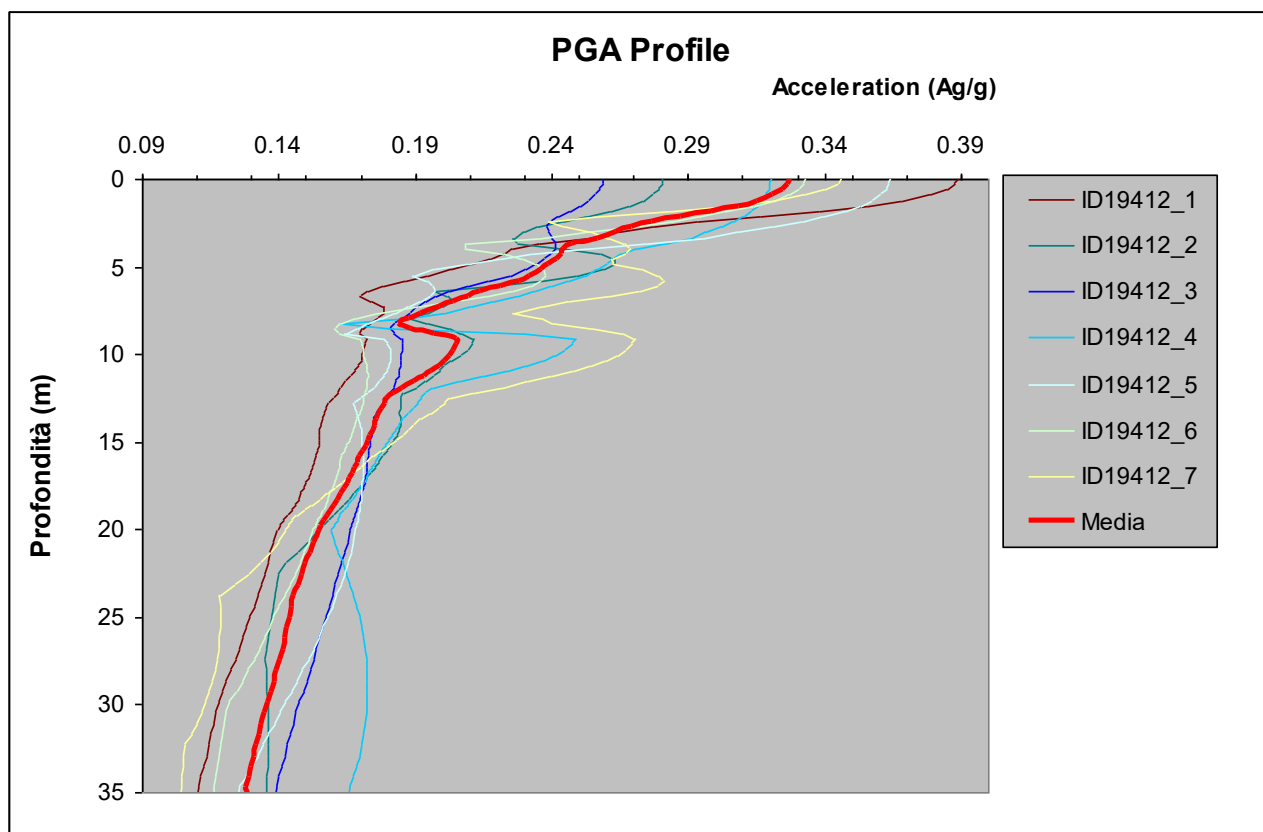
H_{SM} (cm/s²) = 698.808

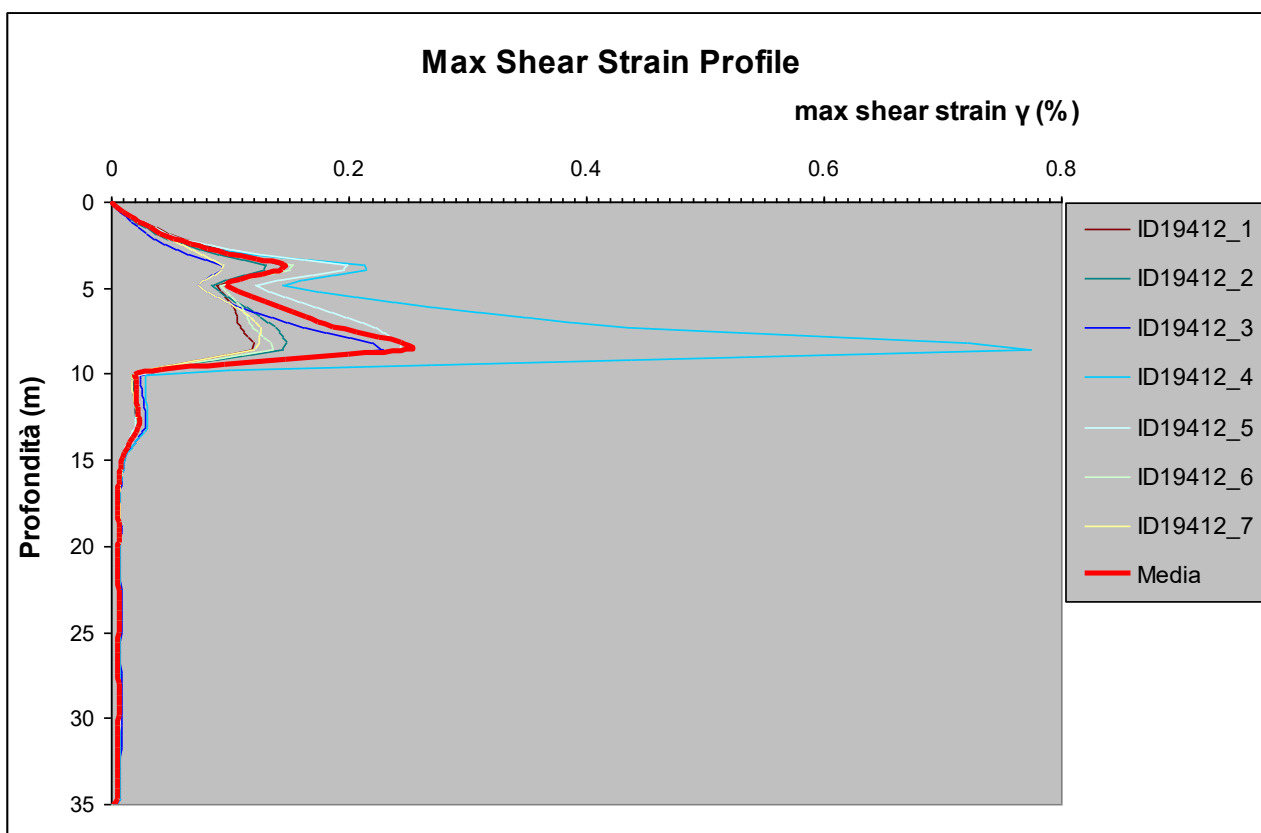
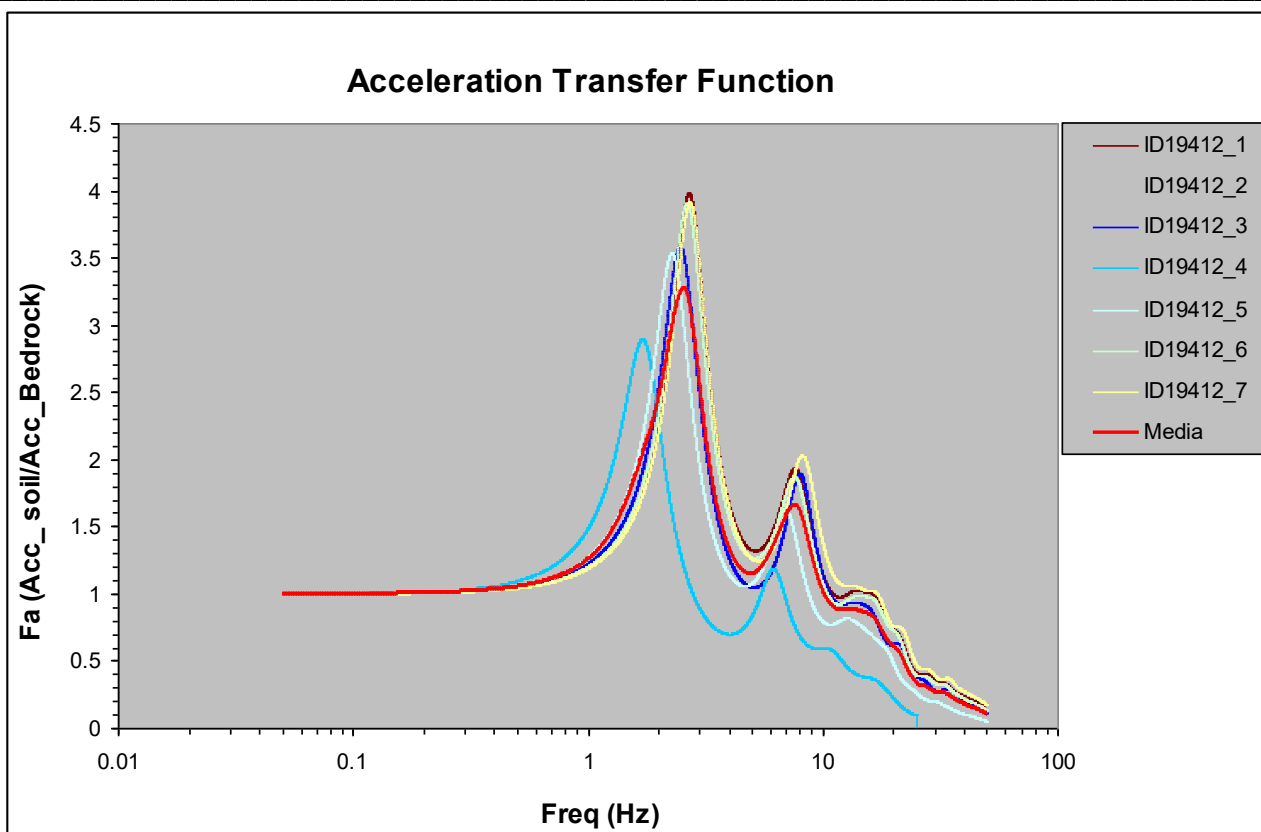
H₀₄₀₈ (cm/s²) = 336.515

H₀₇₁₁ (cm/s²) = 181.359

H₀₅₁₅ (cm/s²) = 186.902

Frana Montescudo - Montecolombo – Sezione 9-9'





VsH (0-9)=169 (m/s) Vs30 (0-30)=317 (m/s)

PGA=0.327

F_{PGA}=1.783

Fattori SA:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SA1	0.1-0.5	0.163895	0.287603	1.755
INT SPETT.	SA2	0.4-0.8	0.102964	0.185529	1.802
INT SPETT.	SA3	0.7-1.1	0.064515	0.088223	1.367
INT SPETT.	SA4	0.5-1.5	0.157880	0.233426	1.479

Fattori SI:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SI1	0.1-0.5	7.000652	13.642250	1.949
INT SPETT.	SI2	0.5-1.0	11.039592	18.393809	1.666
INT SPETT.	SI3	0.5-1.5	22.049177	32.248038	1.463

AS_{Ipu}/ΔT= 409.800487

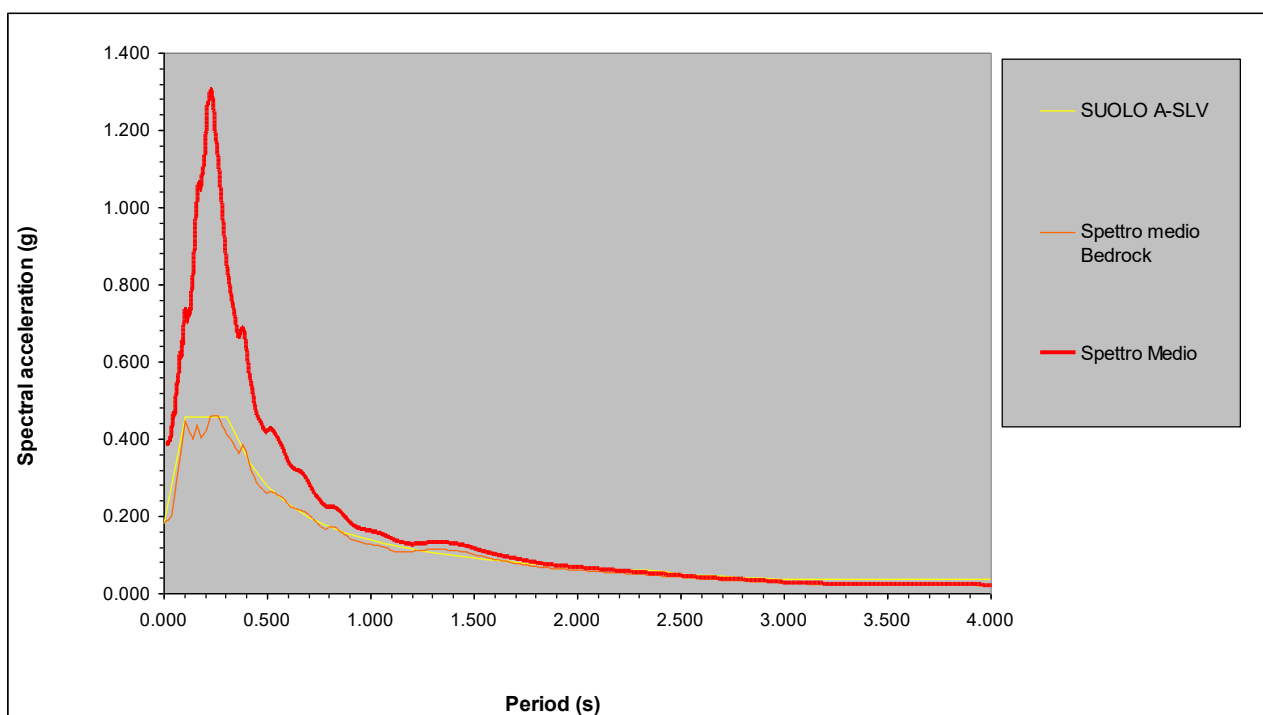
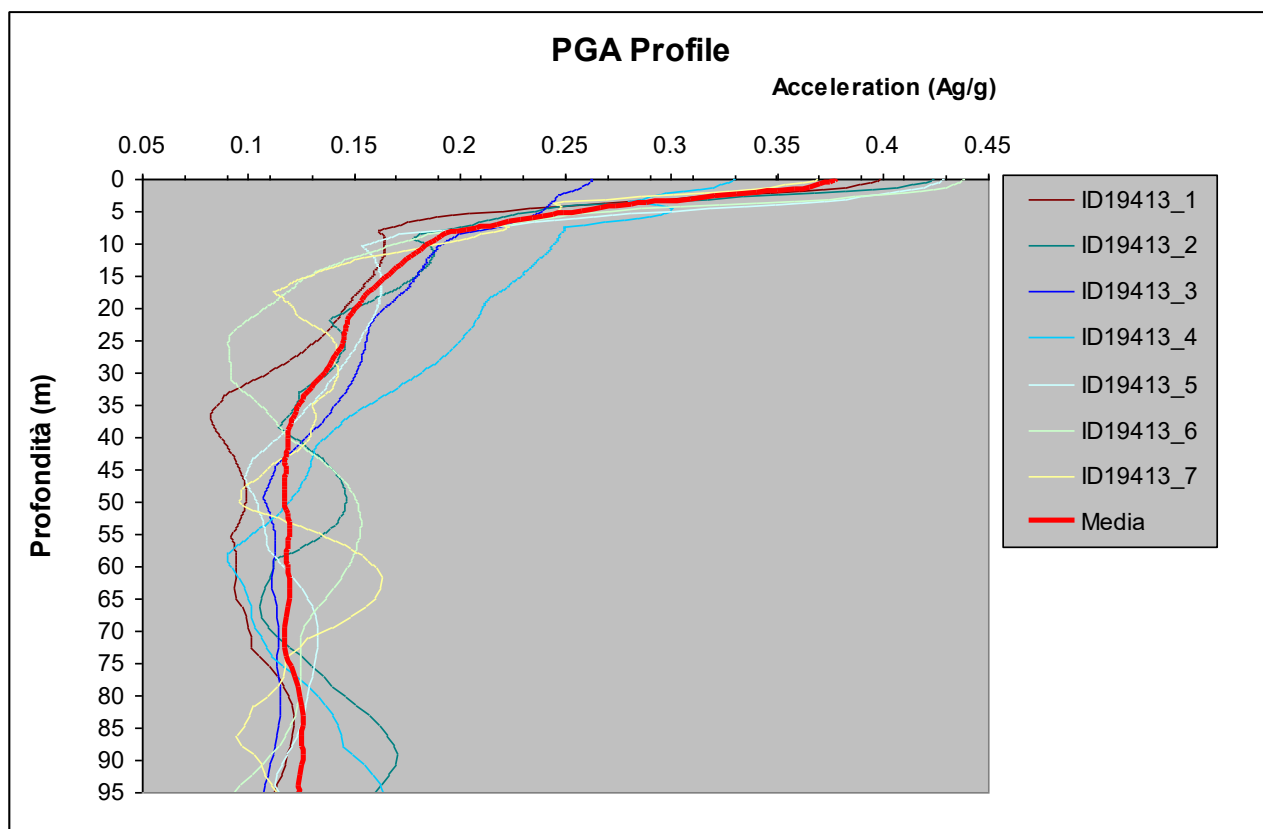
H_{SM} (cm/s²) = 719.120

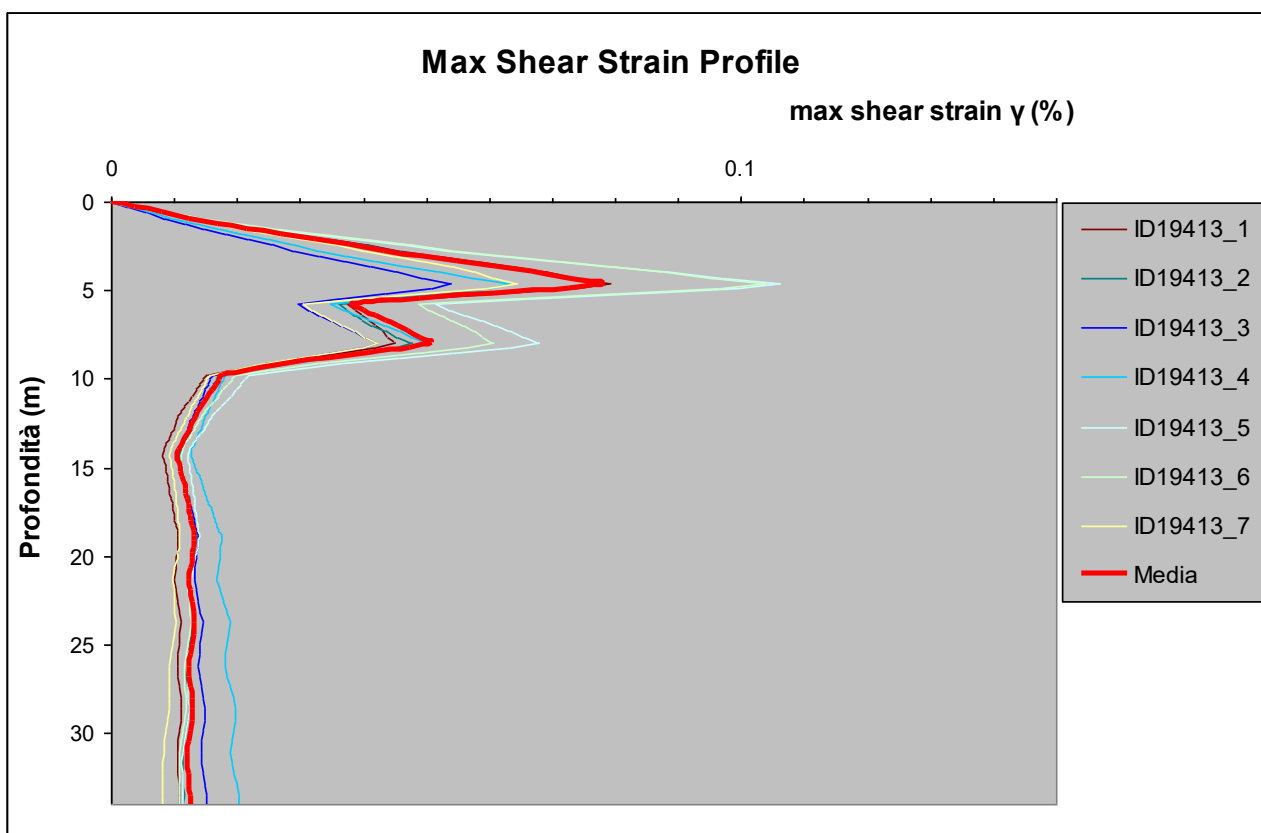
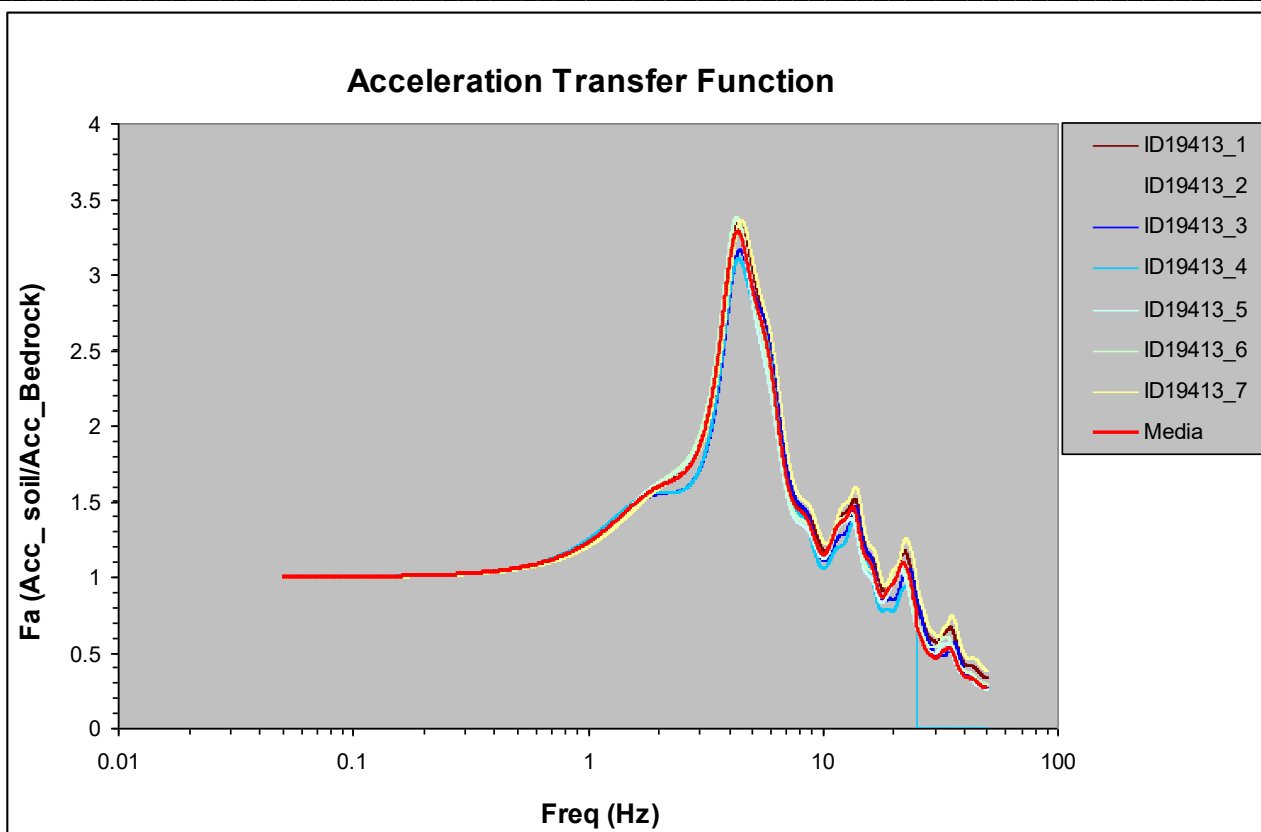
H₀₄₀₈ (cm/s²) = 454.854

H₀₇₁₁ (cm/s²) = 216.293

H₀₅₁₅ (cm/s²) = 228.913

Deposito Morciano di R. – Sezione 3-3'





V_{sH} (0-9)=193 (m/s) V_{s30} (0-30)=343 (m/s)

PGA=0.378

F_{PGA}=2.096

Fattori SA:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SA1	0.1-0.5	0.162723	0.327812	2.015
INT SPETT.	SA2	0.4-0.8	0.102232	0.145354	1.422
INT SPETT.	SA3	0.7-1.1	0.064051	0.078412	1.224
INT SPETT.	SA4	0.5-1.5	0.156751	0.201462	1.285

Fattori SI:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SI1	0.1-0.5	6.950663	14.115605	2.031
INT SPETT.	SI2	0.5-1.0	10.960702	15.404020	1.405
INT SPETT.	SI3	0.5-1.5	21.891228	28.371600	1.296

AS_{Ipu}/ΔT= 408.089869

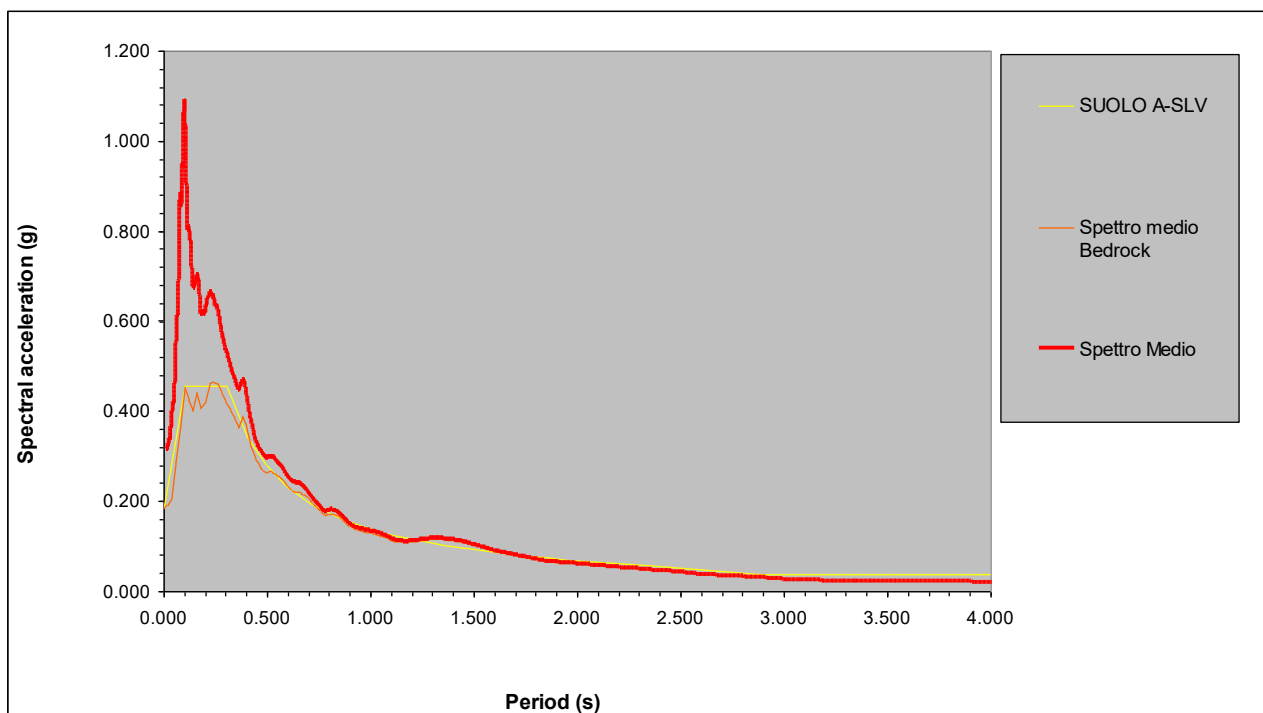
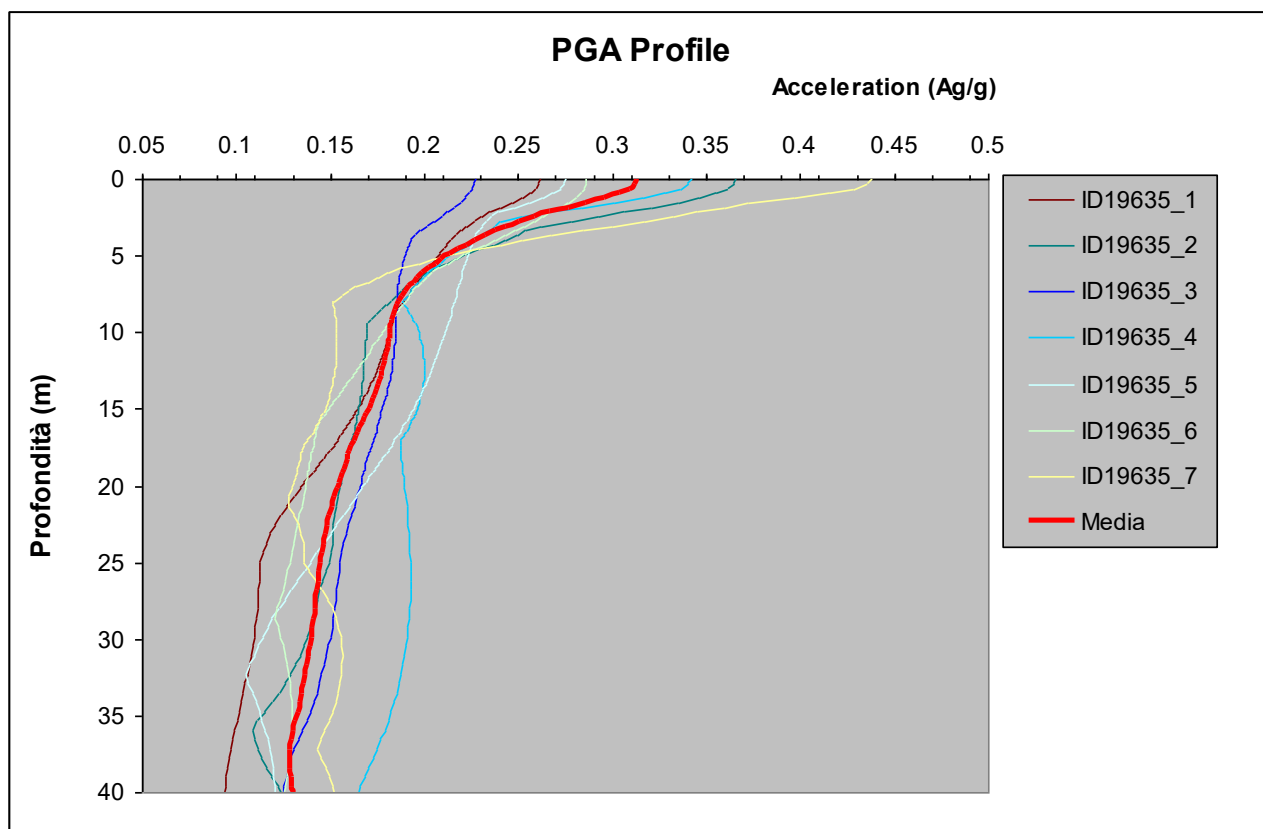
H_{SM} (cm/s²) = 822.116

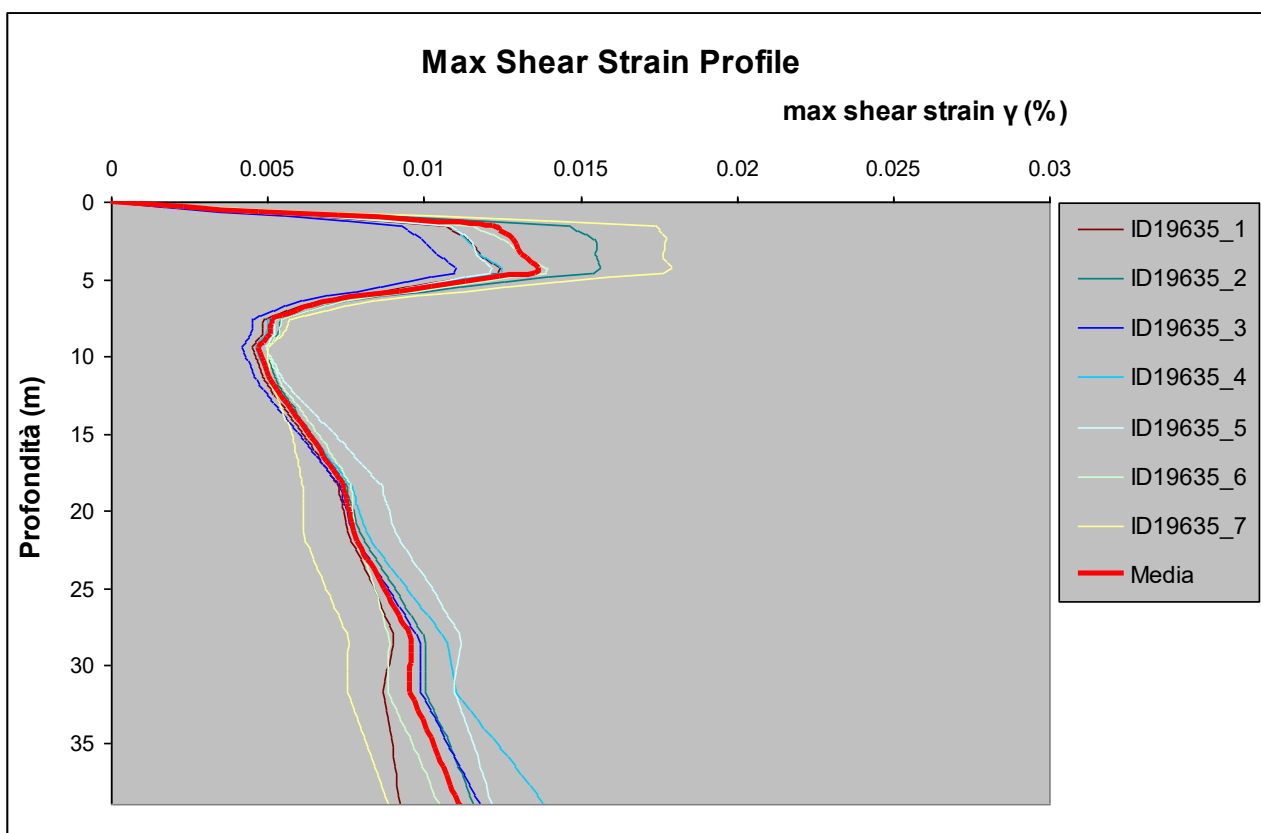
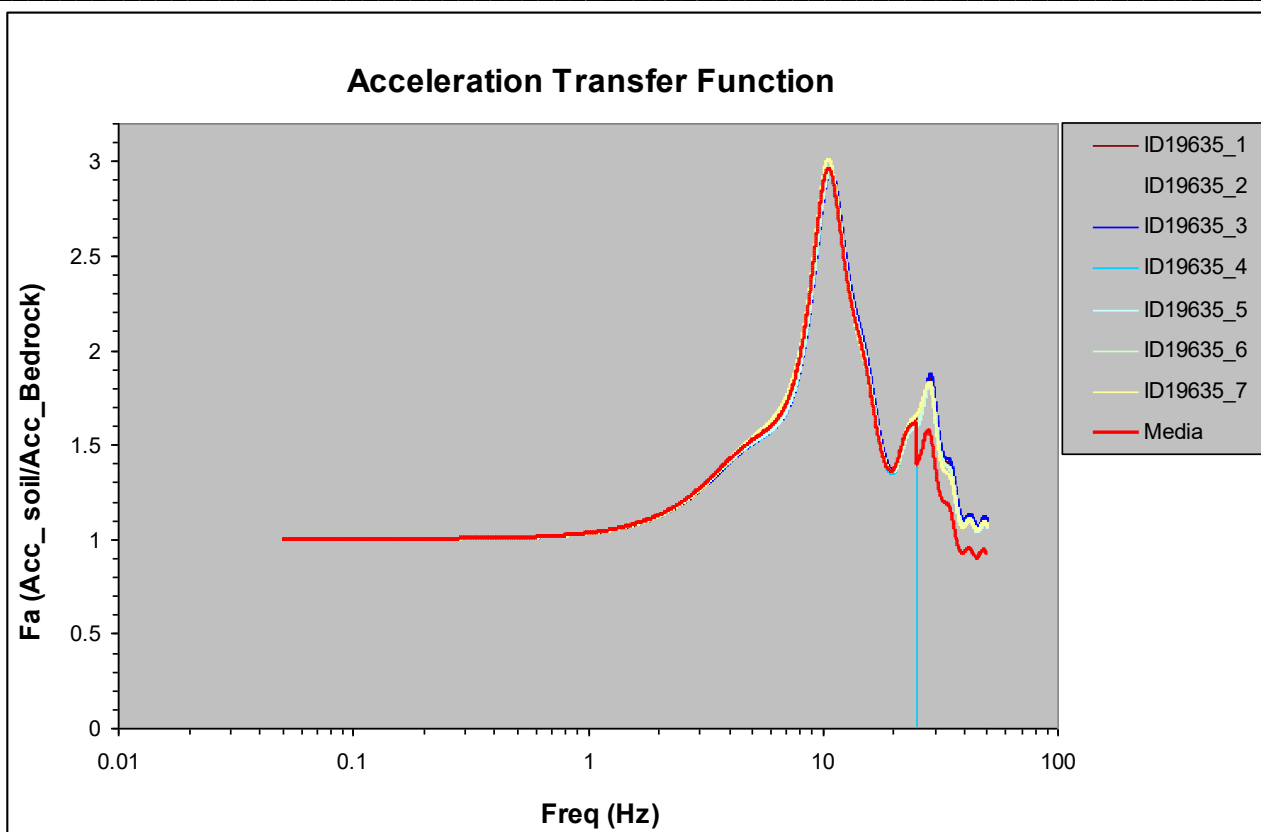
H₀₄₀₈ (cm/s²) = 356.360

H₀₇₁₁ (cm/s²) = 192.241

H₀₅₁₅ (cm/s²) = 197.567

Frana Saludecio – Sezioni 12-12' / 13-13' / 14-14'





VsH (0-6)=252 (m/s) Vs30 (0-30)=490 (m/s)

PGA=0.313

F_{PGA}=1.710

Fattori SA:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SA1	0.1-0.5	0.164069	0.217990	1.329
INT SPETT.	SA2	0.4-0.8	0.103077	0.106353	1.032
INT SPETT.	SA3	0.7-1.1	0.064582	0.063576	0.984
INT SPETT.	SA4	0.5-1.5	0.158047	0.161550	1.022

Fattori SI:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SI1	0.1-0.5	7.008191	9.291474	1.326
INT SPETT.	SI2	0.5-1.0	11.051465	11.906585	1.077
INT SPETT.	SI3	0.5-1.5	22.072284	23.242680	1.053

AS_{Ipu}/ΔT= 410.315512

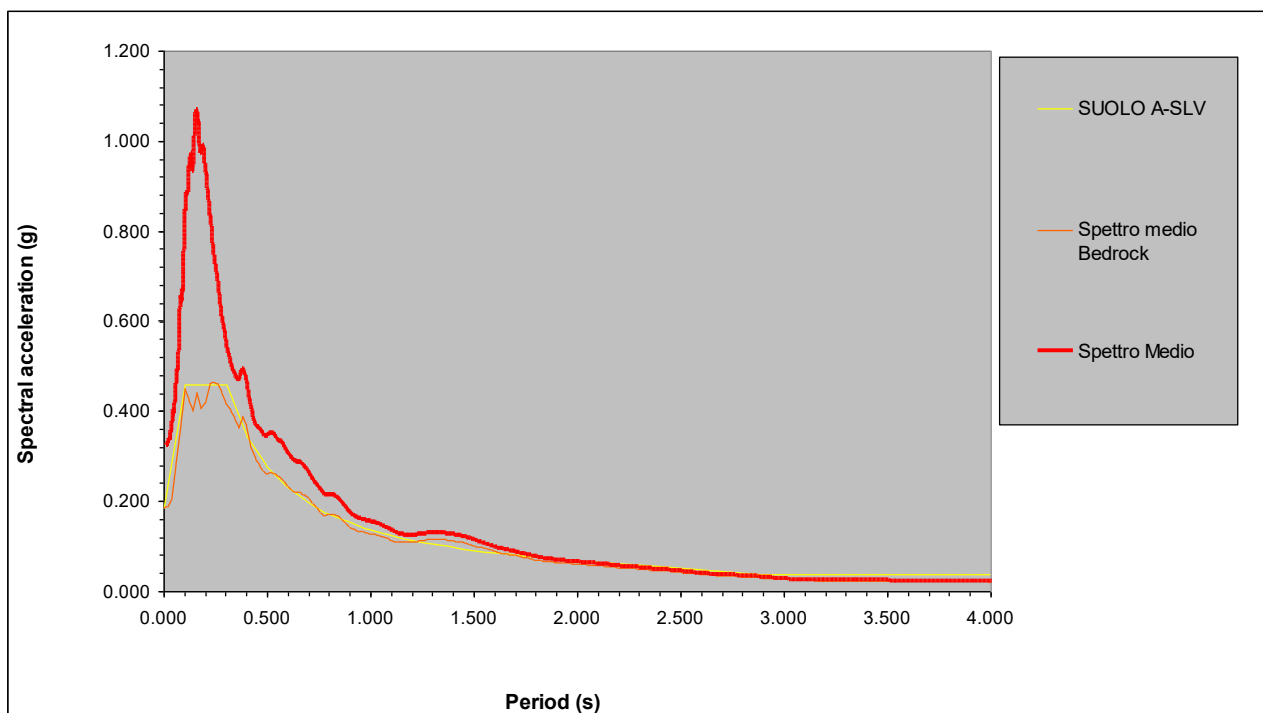
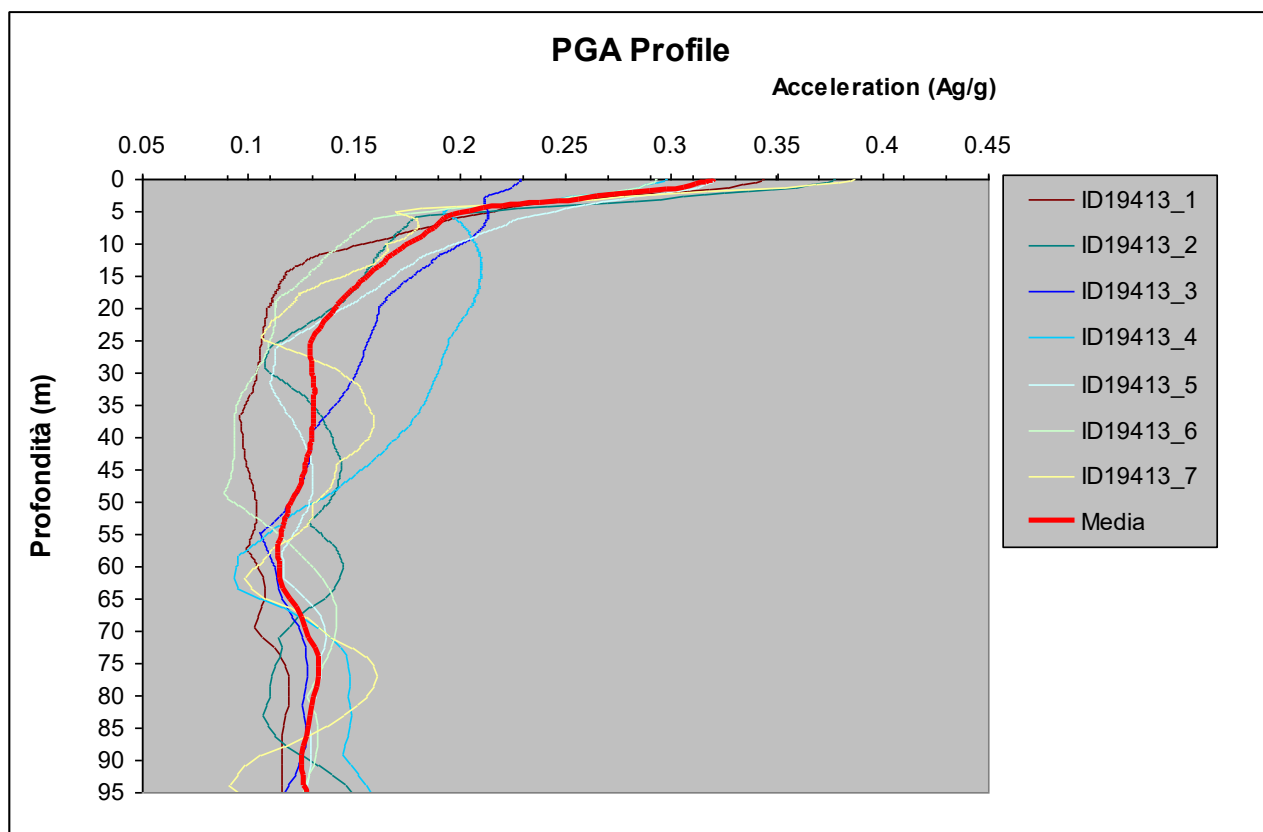
H_{SM} (cm/s²) = 545.165

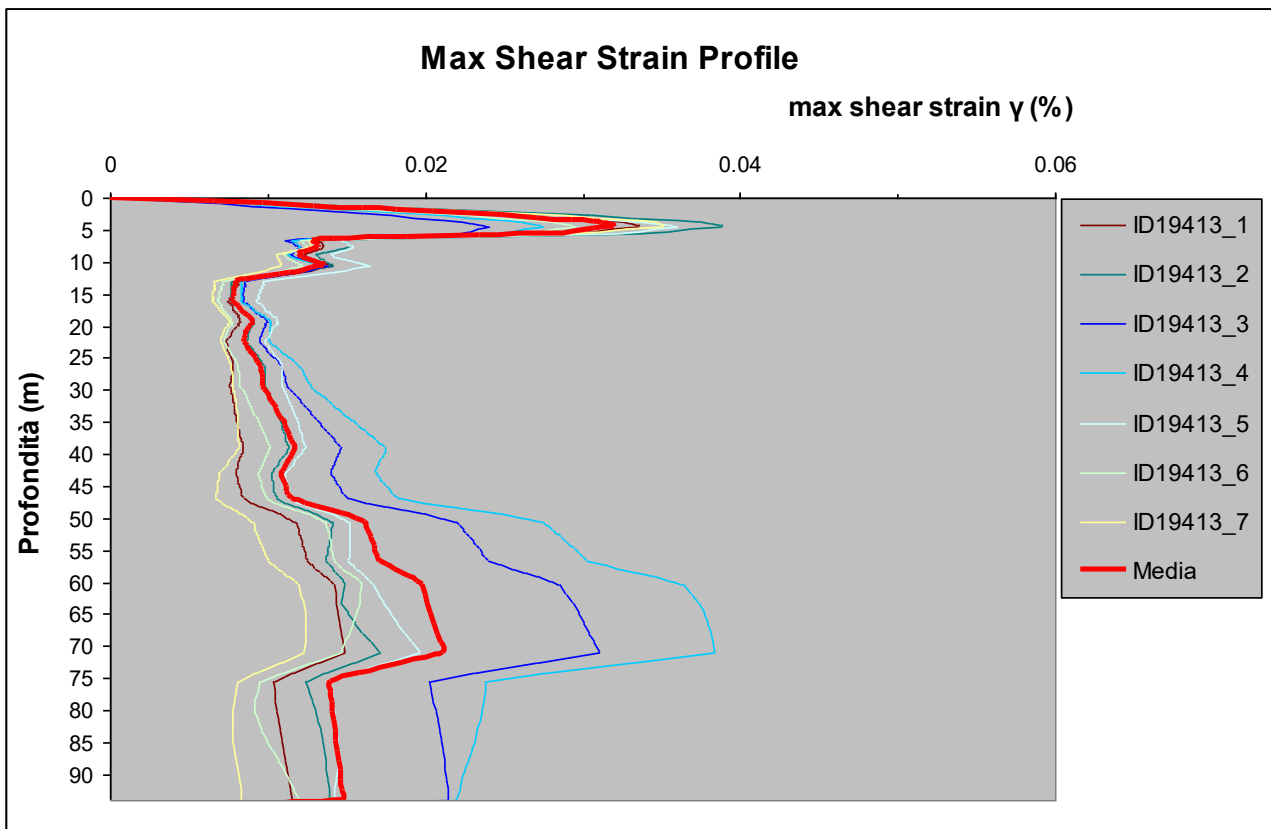
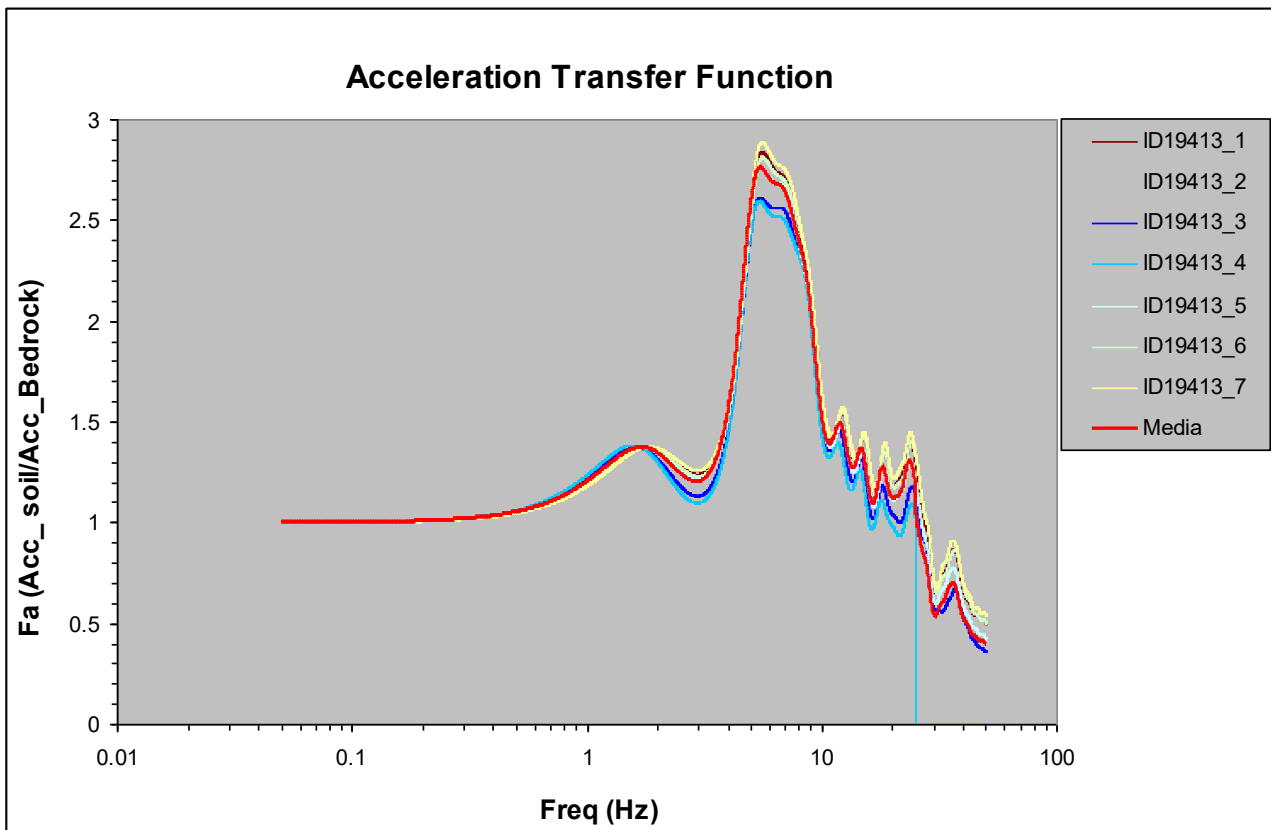
H₀₄₀₈ (cm/s²) = 260.742

H₀₇₁₁ (cm/s²) = 155.866

H₀₅₁₅ (cm/s²) = 158.427

Frana San Clemente – Sezione 5-5'





VsH (0-8)=223 (m/s) Vs30 (0-30)=338 (m/s)

PGA=0.321

F_{PGA}=1.764

Fattori SA:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SA1	0.1-0.5	0.164069	0.217990	1.329
INT SPETT.	SA2	0.4-0.8	0.103077	0.106353	1.032
INT SPETT.	SA3	0.7-1.1	0.064582	0.063576	0.984
INT SPETT.	SA4	0.5-1.5	0.158047	0.161550	1.022

Fattori SI:

		Periodo(s)	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	SI1	0.1-0.5	7.008191	9.291474	1.326
INT SPETT.	SI2	0.5-1.0	11.051465	11.906585	1.077
INT SPETT.	SI3	0.5-1.5	22.072284	23.242680	1.053

AS_{Ipu}/ΔT= 408.089869

H_{SM} (cm/s²) = 645.158

H₀₄₀₈ (cm/s²) = 304.512

H₀₇₁₁ (cm/s²) = 183.618

H₀₅₁₅ (cm/s²) = 184.373

10.2. Stabilità di Sito

10.2.1 Generalità e valutazioni geologico-tecniche

Il comportamento di alcuni dissesti di interesse per l'amministrazione, già individuati nell'ambito degli studi di I-II Livello di approfondimento, è stato studiato secondo i metodi e le procedure indicati nella direttiva regionale DGR 564/2021, Linee Guida AGI (Aspetti Geotecnici per la Progettazione in Zona Sismica, 2005) e le "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)" - versione 1.0, Roma, 2017 – elaborate dal D.P.C.

In corrispondenza dei depositi "a1", "a2" e "a3" definiti come "da verificare" nell'ambito delle perimetrazioni PAI – PTCP vigenti, preliminarmente alle verifiche di stabilità, si sono condotte anche analisi fotogeologiche condotte su fotogrammi aerei in stereoscopia, al fine di poter verificare la dinamica evolutiva dei depositi/movimenti gravitativi ed una più accurata perimetrazione areale.

L'analisi fotogeologica è stata:

- condotta sui fotogrammi stereoscopici disponibili datati nell'intervallo di tempo (con estensione massima 1976-2023) diverso per ogni sito a seconda della reperibilità;
- aggiornata tramite l'esame delle immagini di Google Earth più recenti (2015-2024);
- per ogni sito, restituita su CTR 1:5.000 in un'unica Tavola di sintesi (le Tavole di sintesi dei vari siti sono riportate in Allegato 1 alla presente relazione);
- fornisce la tendenza evolutiva della dinamica dei versanti in riferimento al periodo di tempo esteso entro le date di ripresa della documentazione esaminata.

I versanti in studio sono stati quindi modellati tramite sezioni litologico-meccaniche di dettaglio (vedi Allegato 2) ed una specifica caratterizzazione geomeccanica riportante i parametri caratteristici utilizzati per le diverse tipologie di analisi, desunti sia dalle prove geognostiche in sito e di laboratorio quanto, nei casi più complessi, da verifiche di back-analysis sulla base delle evidenze osservative e sperimentali.

Frana Gemmano – Sezioni 3-3' e 4-4'

I dissesti studiati in località Capoluogo di Gemmano fanno riferimento alle sezioni litotecniche 3-3' e 4-4'. In figura 10.4 si riporta un estratto della carta geologico tecnica su cui vengono individuate le specifiche tracce di sezione, mentre in figura 10.5 si illustra l'ubicazione delle indagini di riferimento utilizzate per la definizione del modello geologico-tecnico locale.

In questa situazione poiché tali dissesti non sono mai stati oggetto di uno specifico studio di approfondimento di dettaglio, ad integrazione delle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio, si è svolta anche un'analisi fotogeologica al fine di poter verificare la dinamica evolutiva dei movimenti gravitativi ed una più accurata perimetrazione areale (Vedi interpretazione grafica di sintesi in Allegato 1).

Per lo studio fotogeologico di dettaglio, delle forme e dei processi, sono stati utilizzati i sui seguenti fotogrammi stereoscopici:

- Volo RER, anno 1976, colore, scala approx 1:13.000;
- Volo Azimut, anno 2000, colore, scala approx 1:13.000.

Inoltre sono state utilizzate le immagini di Google-Earth fino al 2022, tramite le quali è stata aggiornata la fotointerpretazione del 2000. L'intervallo di tempo dei fotogrammi disponibili, fornisce la tendenza evolutiva della dinamica dei versanti relativamente al periodo esaminato. La fotointerpretazione è stata restituita su CTR 1:5.000 ed il dettaglio relativo di ciascun fotogramma viene riportato in Allegato 1.

L'area di studio è ubicata entro la vallecola digradante dal crinale del centro abitato di Gemmano verso S, fino a raggiungere il reticolo idrografico minore di un corso d'acqua affluente, in sinistra idrografica, nel Torrente Conca.

Tale vallecola è ad uso residenziale in corrispondenza dell'apice e uso agricolo/boschivo/ sportivo dalla mezzacosta al piede. In prossimità dell'insediamento sportivo (campo da calcio) sono stati eseguiti nel corso degli anni movimenti terra (sterri e riporti) di una certa entità.

Tale vallecola si articola nei due seguenti rami principali:

- impluvio W, a valle del Cimitero;
- impluvio E, a valle del centro abitato e passante per il campo da calcio.

Tali impluvi convergono a quota di circa 260 m.s.l.m..

Ambedue gli impluvi sono interessati in corrispondenza:

- della parte apicale della vallecola, da un insieme congiunto di corpi di accumulo di frana di scorrimento roto-traslativo in stato classificabile come prevalentemente quiescente in relazione ad una certa regolarità topografica e continuità della copertura pedologica/vegetazionale, anche se lo stesso campo da calcio mostra discontinuità riconducibili a deformazioni del suo riporto in qualche modo connesse ad attività latente del dissesto. Tali depositi, sono stati scontornati con difficoltà in quanto la loro visibilità è frequentemente interrotta da scarpate antropiche lungo la viabilità e dai movimenti terra di sterro/riporto per la realizzazione del campo da calcio che in taluni punti hanno rimosso/rimaneggiato quasi completamente l'accumulo gravitativo. A monte di Via delle Fonti e del sentiero lungo il suo prolungamento, non sono visibili fossi di regimazione idrica e/o il reticolo idrografico; per cui le acque meteoriche non regimate tendono a saturare la coltre;
- del versante di mezzacosta-piede, da un insieme congiunto di corpi di accumulo di frana di scorrimento roto-traslativo (talora associati a lobi di colamento nelle parti terminali) in stato classificabile come attivo in relazione alle irregolarità topografiche (microrilievo alternativamente concavo-convesso) e alla discontinuità della copertura pedologica/vegetazionale; Tali discontinuità/irregolarità sono riconducibili a movimenti recenti. A valle di Via delle Fonti e del sentiero lungo il suo prolungamento è visibile il reticolo idrografico ondulato per effetto della presenza dei corpi di accumulo.

Dagli anni '70 ad oggi si riscontra una spiccata tendenza alla retrogressione del dissesto verso monte.

Dal riscontro di tali osservazioni nonché in sede di rilievo geologico e sulla base delle indagini condotte si è quindi giunti alla caratterizzazione dei corpi di frana ed al modello litotecnico di riferimento. La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata desunta avvalendosi sia delle prove in sito (CPTm e CPTe) che delle prove di laboratorio di nuova esecuzione e reperite fra indagini di archivio (vedi Allegato 3), mentre i livelli di falda sono stati assunti in base alle osservazioni condotte in sede di indagine nonché in letture successive nei piezometri installati, ovvero sulla base anche di informazioni e dati relativi ad indagini pregresse eseguite in aree limitrofe. I valori di resistenza non drenata sono stimati sia in base ai minimi di resistenza in corrispondenza dei profili penetrometrici quanto da formulazioni di bibliografia per la definizione dei valori residuali per terreni NC rammolliti/rimaneggiati nonché in virtù della relativa composizione, stato tensionale, criterio di rottura e stress history (Mayne 2001-2009, Ladd 1991, Mesri 1975, Ladd e Foott 1974). In particolare per la definizione dei litotipi caratteristici si può far riferimento alla schematizzazione tecnica adottata in Tabella 10.1

Tabella 10.1 – Caratterizzazione geomeccanica litotipi caratteristici

GEMMANO - Sezione 3-3'

Litotipo	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (kPa) Coesione Totale	C' (kPa) Coesione Drenata	Fi _r (gradi) Angolo di Attrito Residuo	Fi _{cv} (gradi) Angolo di Attrito Vol. Cost	Fi _p (gradi) Angolo di Attrito Picco
a1	Deposito di frana attiva	1.7-1.9	42	/	17	/	/
a2	Deposito di frana quiescente	1.7-1.9	42	5	17	/	/
R	Terreni di riporto antropico	1.7-1.9	45	/	/	27	/
SA	Coltre formazionale alterata	1.8-2.0	60	/	/	27	/
SD	Substrato formazionale decompresso	1.9-2.0	100	10	/	/	27
SU	Substrato formazionale indisturbato	2.0-2.1	200	20	/	/	28

GEMMANO - Sezione 4-4'

Litotipo	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (kPa) Coesione Totale	C' (kPa) Coesione Drenata	Fi _r (gradi) Angolo di Attrito Residuo	Fi _{cv} (gradi) Angolo di Attrito Vol. Cost	Fi _p (gradi) Angolo di Attrito Picco
a1	Deposito di frana attiva	1.7-1.9	30	/	17	/	/
a2	Deposito di frana quiescente	1.7-1.9	35	5	17	/	/
SA	Coltre formazionale alterata	1.8-2.0	60	/	/	27	/
SD	Substrato formazionale decompresso	1.9-2.0	100	10	/	/	27
SU	Substrato formazionale indisturbato	2.0-2.1	200	20	/	/	28

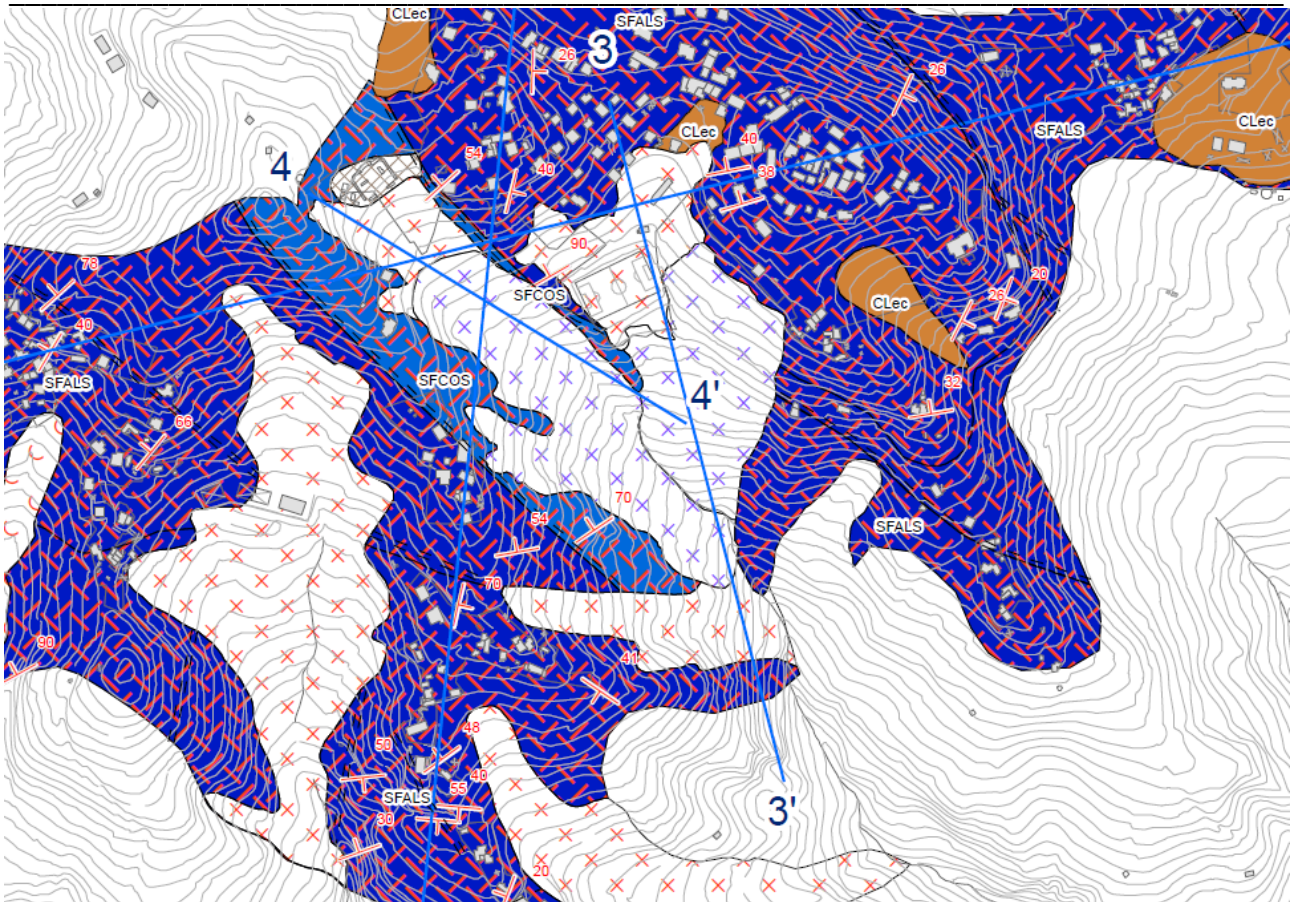


Figura 10.4- Stralcio fuori scala della carta geologico-tecnica – Frana Gemmano - Sezioni 3-3' e 4-4'

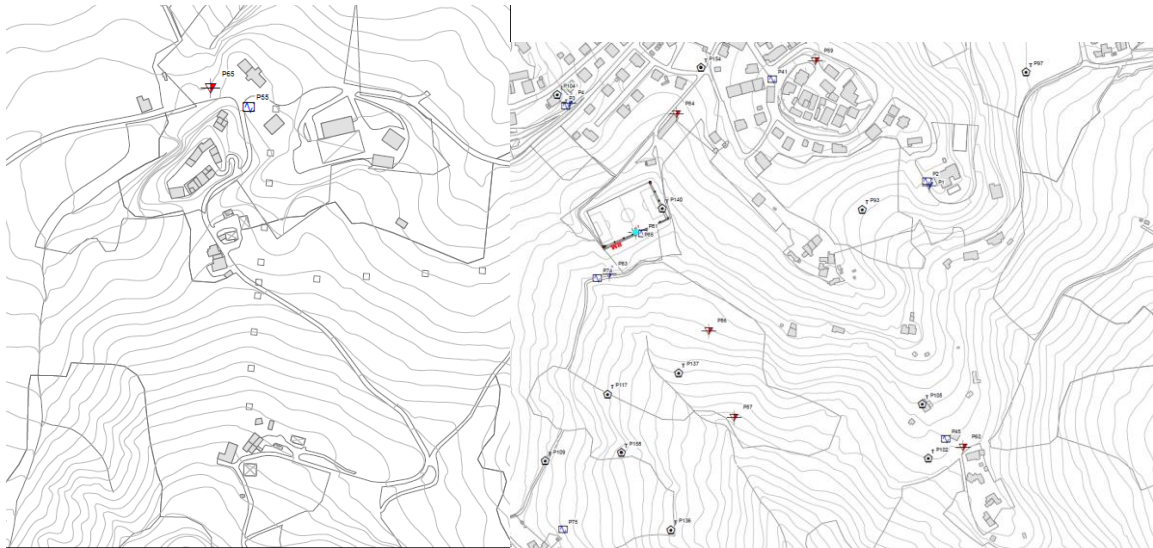


Figura 10.5- Stralci fuori scala della carta delle indagini – Frana Gemmano - Sezioni 3-3' e 4-4'

I risultati delle analisi numeriche condotte vengono sintetizzati ai successivi Paragrafi 10.2.2 (*Verifiche di stabilità – metodi pseudostatici*) e 10.2.3 (*Verifiche di stabilità – valutazione degli spostamenti in condizioni dinamiche*).

Deposito Mondaino – Sezione 3-3'

I depositi studiati in località Capoluogo di Mondaino fanno riferimento alla sezione litotecnica 3-3'. In figura 10.6 si riporta un estratto della carta geologico tecnica su cui viene individuata la specifica traccia di sezione rappresentativa, mentre in figura 10.7 si illustra l'ubicazione delle indagini di riferimento utilizzate per la definizione del modello geologico-tecnico locale.

In questa situazione poiché tali depositi non sono mai stati oggetto di uno specifico studio di approfondimento di dettaglio, ad integrazione delle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio, si è svolta anche un'analisi fotogeologica al fine di poter verificare la dinamica evolutiva dei depositi superficiali ed una più accurata perimetrazione areale (Vedi interpretazione grafica di sintesi in Allegato 1).

Per lo studio fotogeologico di dettaglio, delle forme e dei processi, sono stati utilizzati i seguenti fotogrammi stereoscopici:

- Volo Azimut, anno 2000, colore, scala approx 1:13.000;
- Volo RER, anno 2023, colore.

L'area di studio, è ubicata entro la vallecola che dal crinale del centro abitato di Mondaino, digrada verso SW, fino a raggiungere il reticolo idrografico minore del corso d'acqua Fosso Tafuggia affluente, in sinistra idrografica, nel Rio Salso.

Tale vallecola è ad uso residenziale in corrispondenza dell'apice e uso boschivo/sportivo dalla mezzacosta al piede. In prossimità dell'insediamento sportivo (campo da calcio) e a monte di esso sono stati eseguiti nel corso degli anni movimenti terra (sterri e riporti) di una certa entità.

Tale vallecola si articola nei due seguenti rami principali:

- impluvio principale, passante per l'insediamento sportivo.
- impluvio laterale a E, passante per Via Arboreto.

Tali impluvi convergono a quota di circa 275 m.s.l.m..

L'impluvio principale della vallecola è interessato:

- immediatamente a valle del centro abitato, da depositi eluvio-colluviali e processi di creep a ridosso di scarpate antropiche associate a movimenti terra di sterro/riporto.
- digradando da quote prossime a 350 m.s.l.m. verso valle, da un insieme congiunto di corpi di accumulo di frana di scorrimento roto-traslato in stato classificabile come prevalentemente quiescente in relazione ad una certa regolarità topografica e continuità della copertura pedologica/vegetazionale. Intensamente antropizzati da movimenti terra di sterro/riporto fino a quote prossime a 325 m.s.l.m., tali depositi, sono stati scontornati con difficoltà in quanto la loro visibilità è frequentemente interrotta da gradoni antropici.

L'impluvio laterale della vallecola è interessato:

- in corrispondenza di Via delle Maioliche e Via Fonti Leali, da depositi eluvio-colluviali;

- da Via Arboreto digradando verso valle, da un corpo di accumulo di frana di scorrimento roto-traslativo in stato classificabile come prevalentemente quiescente in relazione ad una certa regolarità topografica e continuità della copertura pedologica/vegetazionale.

Dagli anni '70 ad oggi si riscontra una certa tendenza alla retrogressione laterale del dissesto.

Rispetto ad oggi, negli anni '70 risulta un maggiore stato di attività dei dissesti.

Dal riscontro di tali osservazioni nonché in sede di rilievo geologico e sulla base delle indagini condotte si è quindi giunti alla caratterizzazione dei corpi di frana ed al modello litotecnico di riferimento. La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata desunta avvalendosi sia delle prove in sito (CPTm) che delle prove di laboratorio di nuova esecuzione e reperite fra indagini di archivio (vedi Allegato 3), mentre i livelli di falda sono stati assunti in base alle osservazioni condotte in sede di indagine nonché in letture successive nei piezometri installati, ovvero sulla base anche di informazioni e dati relativi ad indagini pregresse eseguite in aree limitrofe. I valori di resistenza non drenata sono stimati sia in base ai minimi di resistenza in corrispondenza dei profili penetrometrici quanto da formulazioni di bibliografia per la definizione dei valori residuali per terreni NC rammolliti/rimaneggiati nonché in virtù della relativa composizione, stato tensionale, criterio di rottura e stress history (Mayne 2001-2009, Ladd 1991, Mesri 1975, Ladd e Foott 1974).

In particolare per la definizione dei litotipi caratteristici si può far riferimento alla schematizzazione tecnica adottata in Tabella 10.2

Tabella 10.2 – Caratterizzazione geomeccanica litotipi caratteristici

MONDAINO Sezione 3-3'

Litotipo	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (kPa) Coesione Totale	C' (kPa) Coesione Drenata	F _r (gradi) Angolo di Attrito Residuo	F _{cv} (gradi) Angolo di Attrito Vol. Cost	F _p (gradi) Angolo di Attrito Picco
a2	Deposito di frana quiescente	1.7-1.9	28	/	18	/	/
R	Terreni di riporto antropico	1.7-1.9	45	/	/	25	/
SA	Coltre formazionale alterata	1.8-2.0	45	/	/	25	/
SD	Substrato formazionale decompresso	1.9-2.0	100	20	/	/	25
SU	Substrato formazionale indisturbato	2.0-2.1	200	25	/	/	26

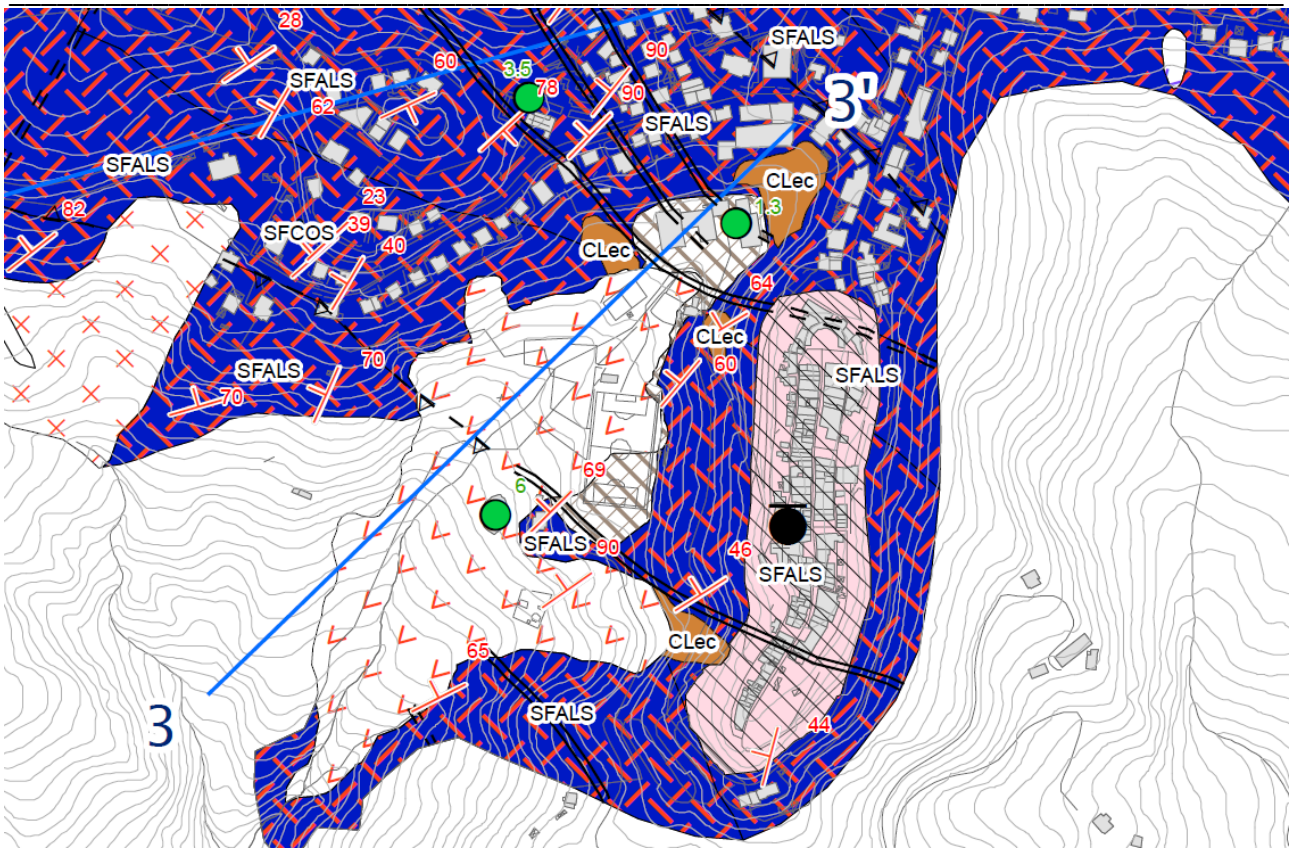


Figura 10.6- Stralcio fuori scala della carta geologico-tecnica – Frana Mondaino - Sezione 3-3'

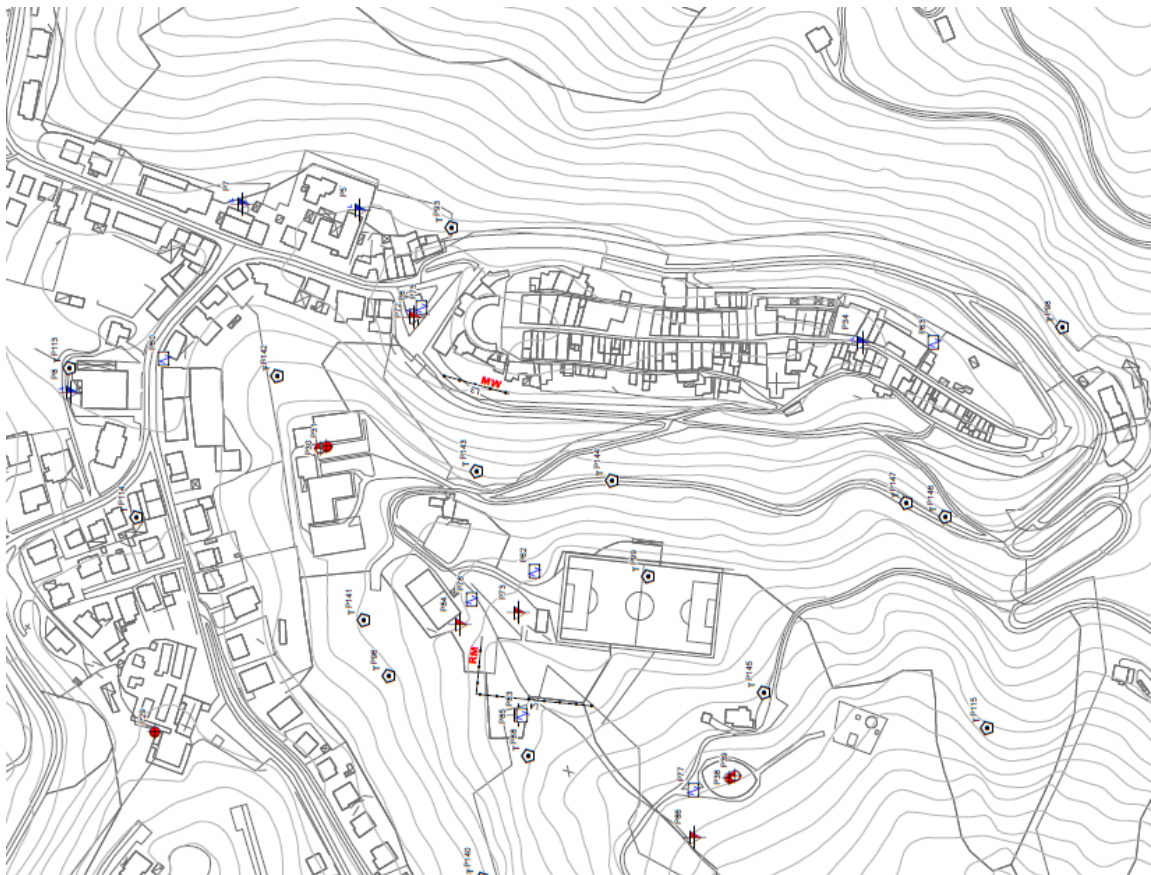


Figura 10.7- Stralcio fuori scala della carta delle indagini – Frana Mondaino - Sezione 3-3'

I risultati delle analisi numeriche condotte vengono sintetizzati ai successivi Paragrafi 10.2.2 (*Verifiche di stabilità – metodi pseudostatici*) e 10.2.3 (*Verifiche di stabilità – valutazione degli spostamenti in condizioni dinamiche*).

Frana Montefiore Conca – Sezione 5-5'

L'ampia area in dissesto presente in località Capoluogo del comune di Montefiore C. risulta già oggetto di studi di approfondimento pregressi (Scheda 4.7_R_Montefiore Conca-Capoluogo) legati alla zonazione PAI presso l'Autorità Interregionale di Bacino Marecchia – Conca, con specifico riferimento all'**Allegato 2A – Atlante delle Perimetrazioni delle aree di versante a Rischio – scale 1:5.000 – 1:10.000** (https://www.adbpo.it/PAI/PAI_Variante_Marecchia_Conca/Variante2016/_ridotti_web20210427/09_ALLEGATO_2A/) e di cui in figura 10.8 se ne riporta uno stralcio cartografico esemplificativo fuori scala che ne ha consentito la specifica perimetrazione e un'adeguata caratterizzazione geomeccanica per le relative verifiche di stabilità.

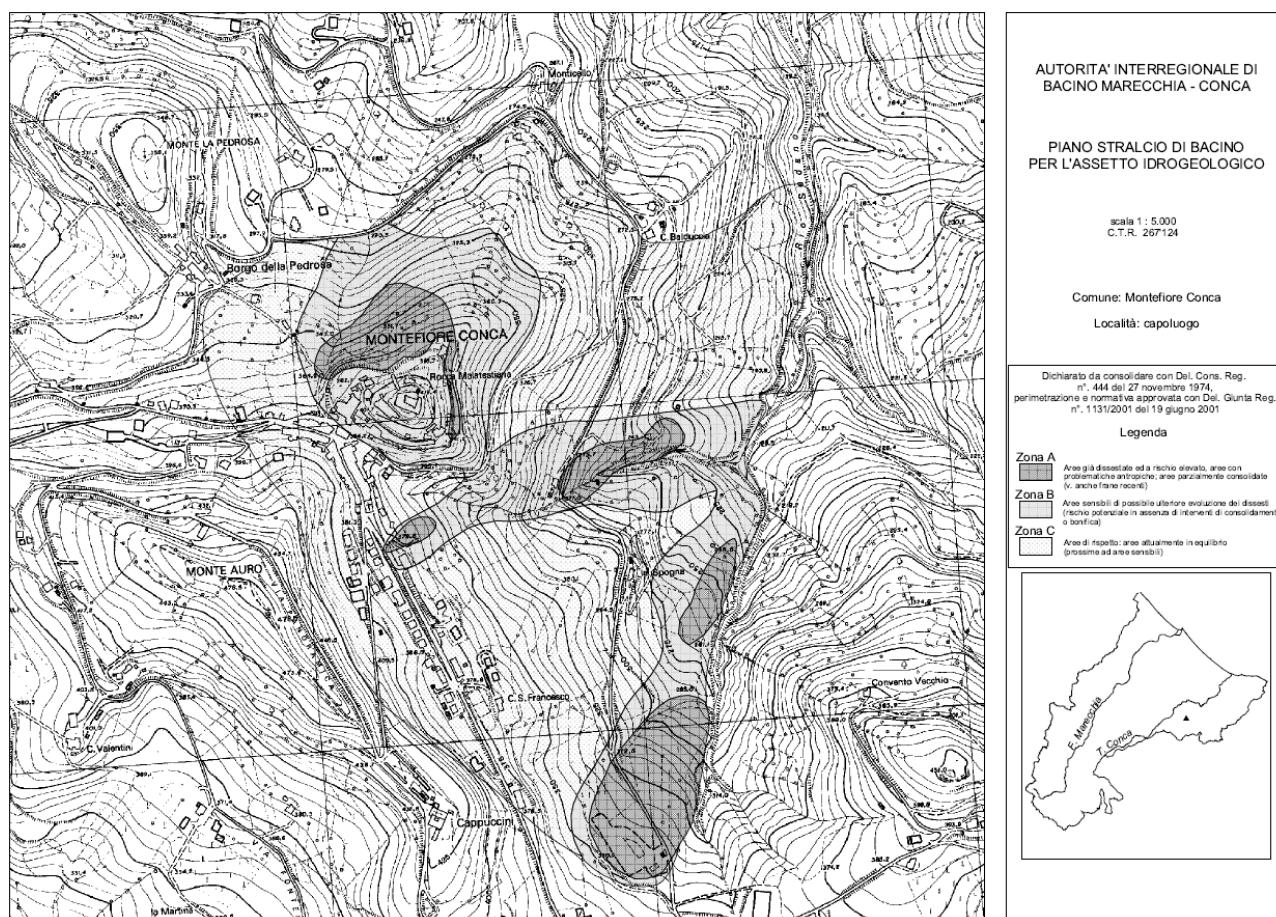


Figura 10.8- Stralcio Scheda 4.7_R_Montefiore Conca-Capoluogo, PAI Marecchia-Conca

I dissesti studiati in località Capoluogo di Montefiore C. fanno riferimento alla sezione litotecnica di dettaglio 5-5'. In figura 10.9 si riporta un estratto della carta geologico tecnica su cui viene individuata la

specificata traccia di sezione rappresentativa, mentre in figura 10.10 si illustra l'ubicazione delle indagini di riferimento utilizzate per la definizione del modello geologico-tecnico locale.

Dal riscontro dei dati di bibliografia, dalle evidenze in sede di rilievo geologico e sulla base delle indagini condotte si è quindi giunti alla caratterizzazione dei corpi di frana ed al modello litotecnico di riferimento. La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata desunta avvalendosi sia delle prove in sito geofisiche e geognostiche (CPTm) che delle prove di laboratorio di nuova esecuzione e reperite fra indagini di archivio (vedi Allegato 3), mentre i livelli di falda sono stati assunti in base alle osservazioni condotte in sede di indagine nonché in letture successive nei piezometri installati, ovvero sulla base anche di informazioni e dati relativi ad indagini pregresse eseguite in aree limitrofe. I valori di resistenza non drenata sono stimati sia in base ai minimi di resistenza in corrispondenza dei profili penetrometrici quanto da formulazioni di bibliografia per la definizione dei valori residuali per terreni NC rammolliti/rimaneggiati nonché in virtù della relativa composizione, stato tensionale, criterio di rottura e stress history (Mayne 2001-2009, Ladd 1991, Mesri 1975, Ladd e Foott 1974).

In particolare per la definizione dei litotipi caratteristici si può far riferimento alla schematizzazione tecnica adottata in Tabella 10.3

Tabella 10.3 – Caratterizzazione geomeccanica litotipi caratteristici

MONTEFIORE C. Sezione 5-5'

Litotipo	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (kPa) Coesione Totale	C' (kPa) Coesione Drenata	F _{ir} (gradi) Angolo di Attrito Residuo	F _{icv} (gradi) Angolo di Attrito Vol. Cost	F _{ip} (gradi) Angolo di Attrito Picco
a1	Deposito di frana attiva	1.7-1.9	18.5	/	19	/	/
a2	Deposito di frana quiescente	1.7-1.9	50	/	28	/	/
R	Terreni di riporto antropico	1.7-1.9	45	/	/	28	/
SA	Coltre formazionale alterata	1.8-2.0	50	/	/	28	/
SD	Substrato formazionale decompresso	1.9-2.0	100	10	/	/	28
SU	Substrato formazionale indisturbato	2.0-2.1	200	20	/	/	29

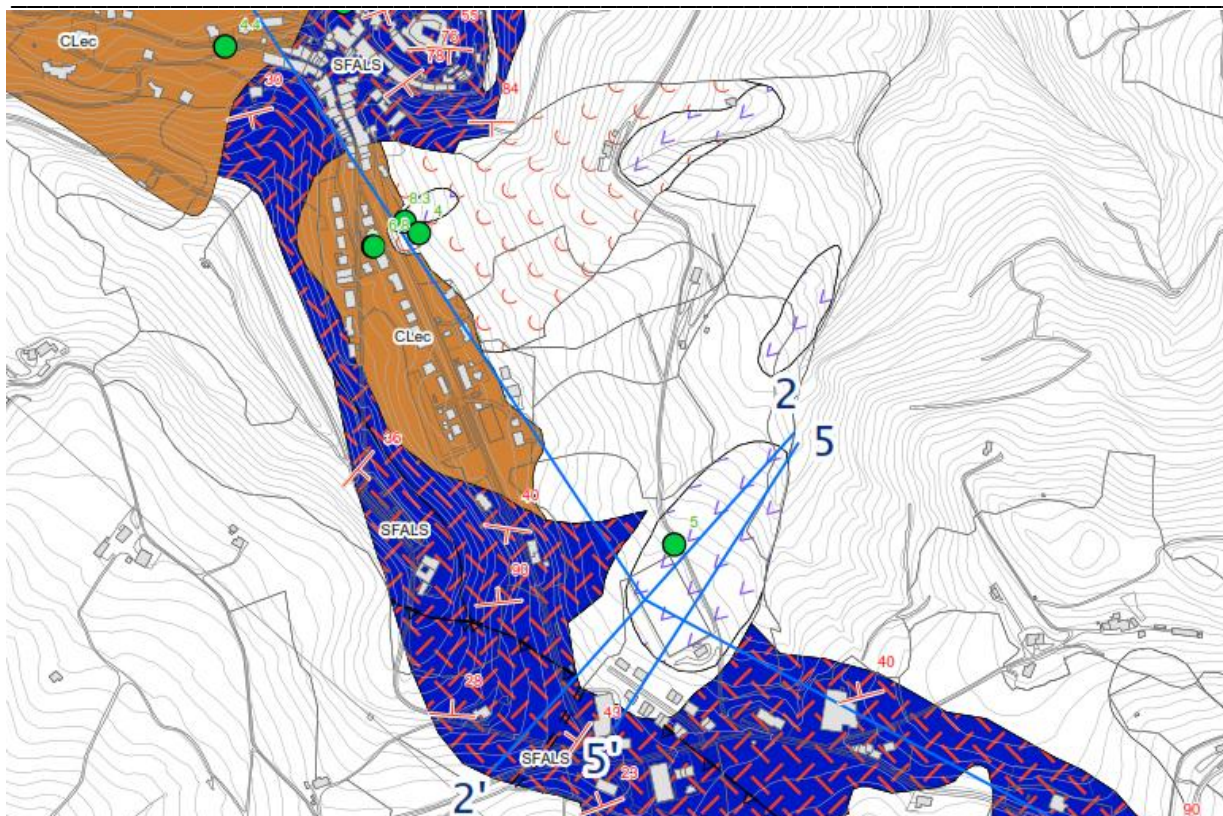


Figura 10.9- Stralcio fuori scala della carta geologico-tecnica – Frana Montefiore C./Capoluogo - Sezione 5-5'

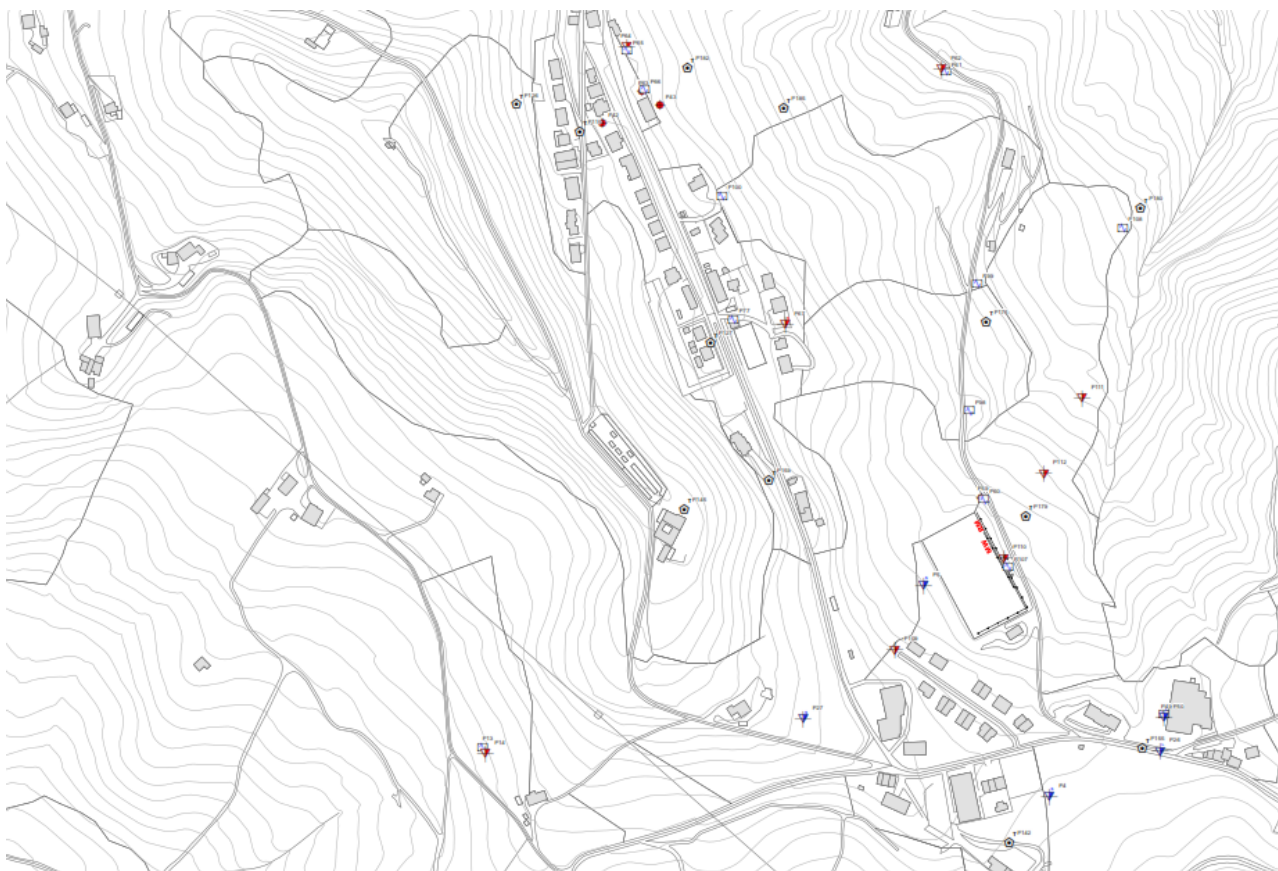


Figura 10.10- Stralcio fuori scala della carta delle indagini – Frana Montefiore C./Capoluogo - Sezione 5-5'

I risultati delle analisi numeriche condotte vengono sintetizzati ai successivi Paragrafi 10.2.2 (*Verifiche di stabilità – metodi pseudostatici*) e 10.2.3 (*Verifiche di stabilità – valutazione degli spostamenti in condizioni dinamiche*).

Deposito Montegridolfo – Sezione 3-3'

I depositi studiati in località Molino Tenti di Montegridolfo fanno riferimento alla sezione litotecnica 3-3'. In figura 10.11 si riporta un estratto della carta geologico tecnica su cui viene individuata la specifica traccia di sezione rappresentativa, mentre in figura 10.12 si illustra l'ubicazione delle indagini di riferimento utilizzate per la definizione del modello geologico-tecnico locale.

In questa situazione poiché tali depositi non sono mai stati oggetto di uno specifico studio di approfondimento di dettaglio, ad integrazione delle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio, si è svolta anche un'analisi fotogeologica al fine di poter verificare la dinamica evolutiva dei depositi superficiali ed una più accurata perimetrazione areale (Vedi interpretazione grafica di sintesi in Allegato 1).

Per lo studio fotogeologico di dettaglio, delle forme e dei processi, sono stati utilizzati i seguenti fotogrammi stereoscopici:

- Volo RER, anno 2023, colore.

L'area di studio, ubicata nel versante E che dal crinale S. Pietro – Montegridolfo, digrada, entro un'ampia e blanda vallecchia, verso E fino a raggiungere Fosso Caltente.

Tale vallecchia ha modesta pendenza ed è interessata da coperture quaternarie classificabili come deposito di versante (intesi come accumuli detritici su versante con attribuzione genetica incerta) con profilo trasversale estremamente appiattito. Solo nella parte inferiore di tale deposito, al raccordo con il piede del versante, sono talora visibili lobi riconducibili a lievi processi di creep.

Tali depositi, sono stati scontornati con difficoltà in quanto per il profilo longitudinale e trasversale estremamente appiattito sono scarsamente visibili.

Dal riscontro di tali osservazioni nonché in sede di rilievo geologico e sulla base delle indagini condotte si è quindi giunti alla caratterizzazione dei corpi deposizionali ed al modello litotecnico di riferimento. La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata desunta avvalendosi sia delle prove in sito geofisiche e geognostiche (CPTm - CPTe) che delle prove di laboratorio di nuova esecuzione e reperite fra indagini di archivio (vedi Allegato 3), mentre i livelli di falda sono stati assunti in base alle osservazioni condotte in sede di indagine nonché in letture successive nei piezometri installati, ovvero sulla base anche di informazioni e dati relativi ad indagini pregresse eseguite in aree limitrofe. I valori di resistenza non drenata sono stimati sia in base ai minimi di resistenza in corrispondenza dei profili penetrometrici quanto da formulazioni di bibliografia per la definizione dei valori residuali per terreni NC rammolliti/rimaneggiati nonché in virtù della relativa composizione, stato tensionale, criterio di rottura e stress history (Mayne 2001-2009, Ladd 1991, Mesri 1975, Ladd e Foott 1974).

In particolare per la definizione dei litotipi caratteristici si può far riferimento alla schematizzazione tecnica adottata in Tabella 10.4

Tabella 10.4 – Caratterizzazione geomeccanica litotipi caratteristici

MONTEGRIDOLFO Sezione 3-3'

Litotipo	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (kPa) Coesione Totale	C' (kPa) Coesione Drenata	Fir (gradi) Angolo di Attrito Residuo	Ficv (gradi) Angolo di Attrito Vol. Cost	Fip (gradi) Angolo di Attrito Picco
a3	Deposito di versante	1.8-2.0	35	/	18	/	/
SA	Coltre formazionale alterata	1.8-2.0	70	/	/	20.6	/
SD	Substrato formazionale decompresso	1.9-2.0	100	10	/	/	22
SU	Substrato formazionale indisturbato	2.0-2.1	200	20	/	/	24

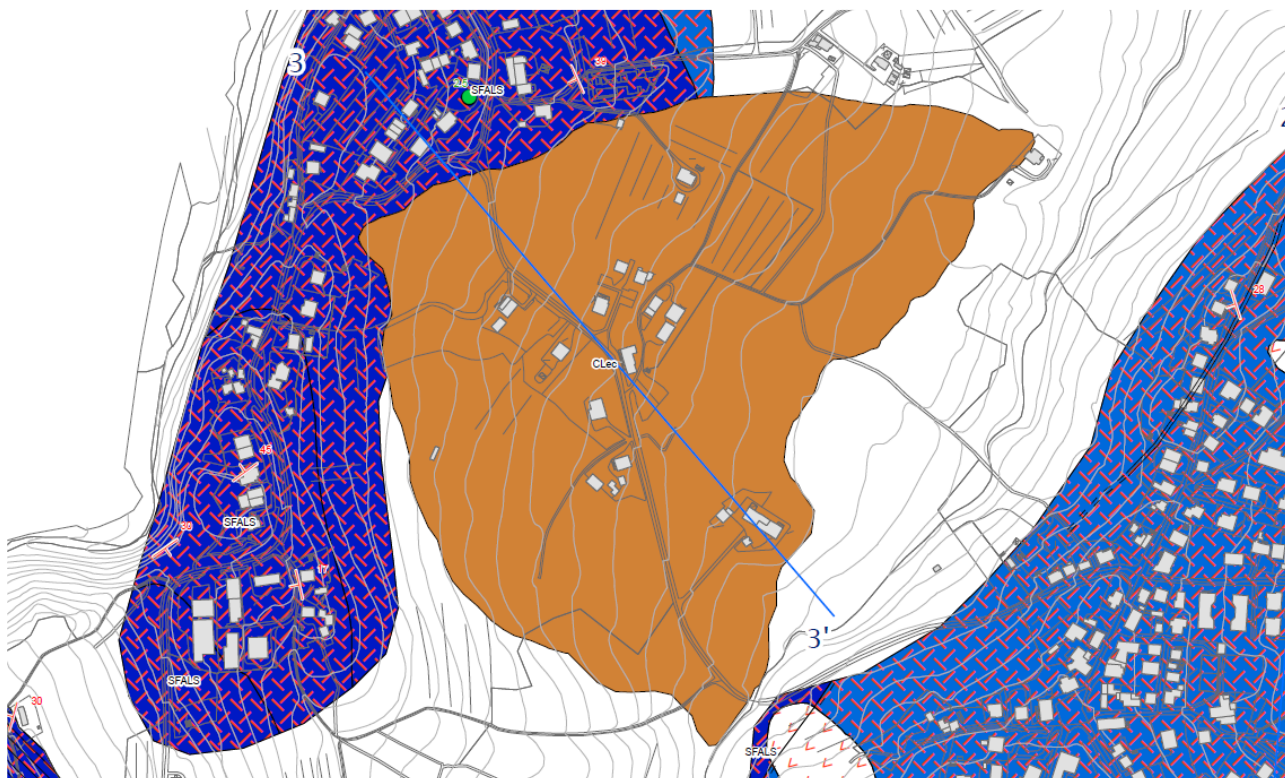


Figura 10.11- Stralcio fuori scala della carta geologico-tecnica – Deposito Montegridolfo - Sezione 3-3'

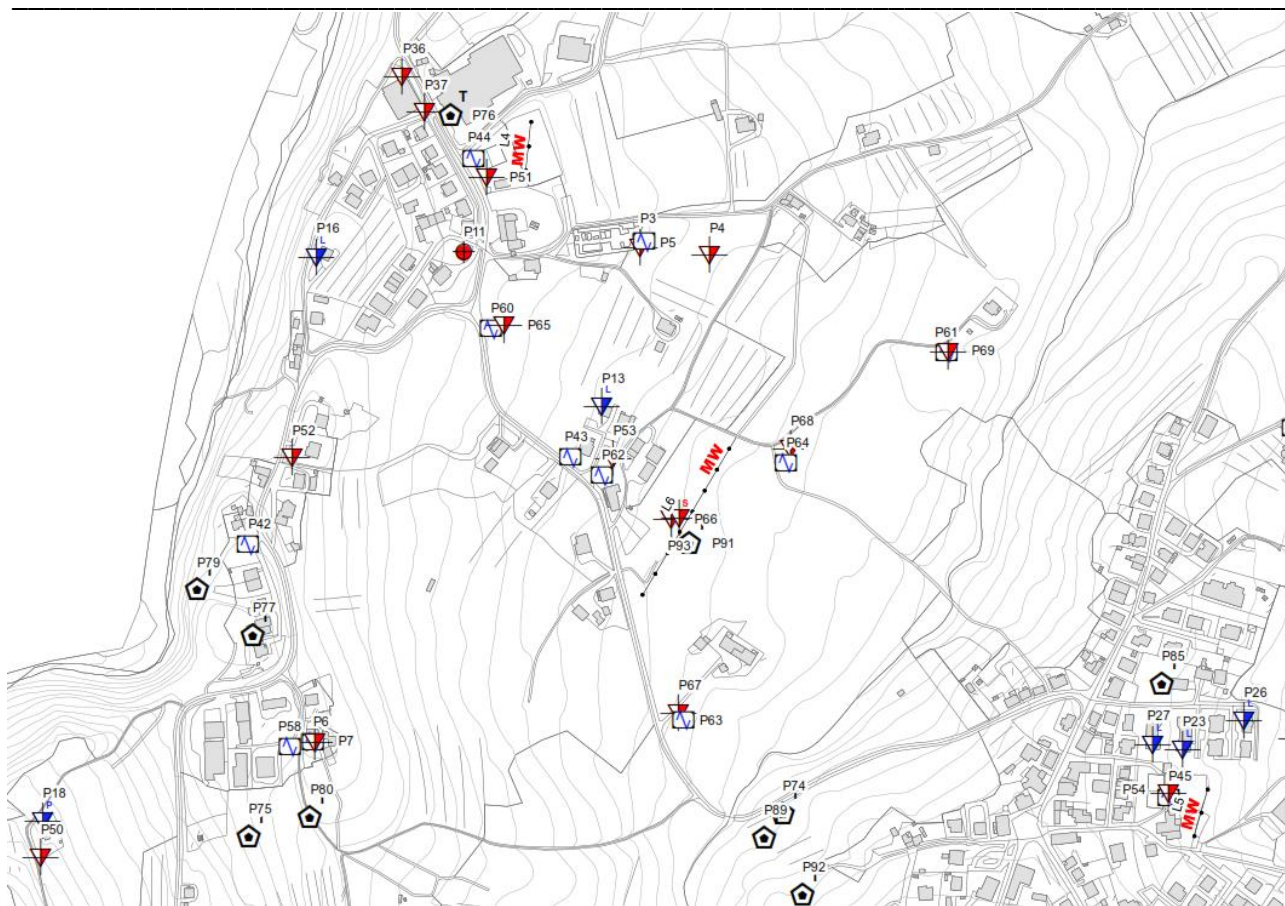


Figura 10.12- Stralcio fuori scala della carta delle indagini – Deposito Montegridolfo - Sezione 3-3'

I risultati delle analisi numeriche condotte vengono sintetizzati ai successivi Paragrafi 10.2.2 (*Verifiche di stabilità – metodi pseudostatici*) e 10.2.3 (*Verifiche di stabilità – valutazione degli spostamenti in condizioni dinamiche*).

Frana Montescudo - Montecolombo – Sezione 9-9'

L'ampia area in dissesto presente in località Case Savoretti presso la fraz. Montecolombo risulta già oggetto di studi di approfondimento pregressi (Scheda 4.19_P_ Montecolombo–Case Savoretti) legati alle perimetrazioni PAI presso l'Autorità Interregionale di Bacino Marecchia – Conca, con specifico riferimento all'**Allegato 2B – Atlante delle Classificazioni di Pericolosità delle aree di versante in dissesto – scala 1:5.000**

(https://www.adbpo.it/PAI/PAI_Variante_Marecchia_Conca/Variante2016/_ridotti_web20210427/10_ALLEGATO_2B/) e di cui in figura 10.13 se ne riporta uno stralcio cartografico esemplificativo fuori scala che ne ha consentito la specifica perimetrazione e un'adeguata caratterizzazione geomeccanica per le relative verifiche di stabilità.

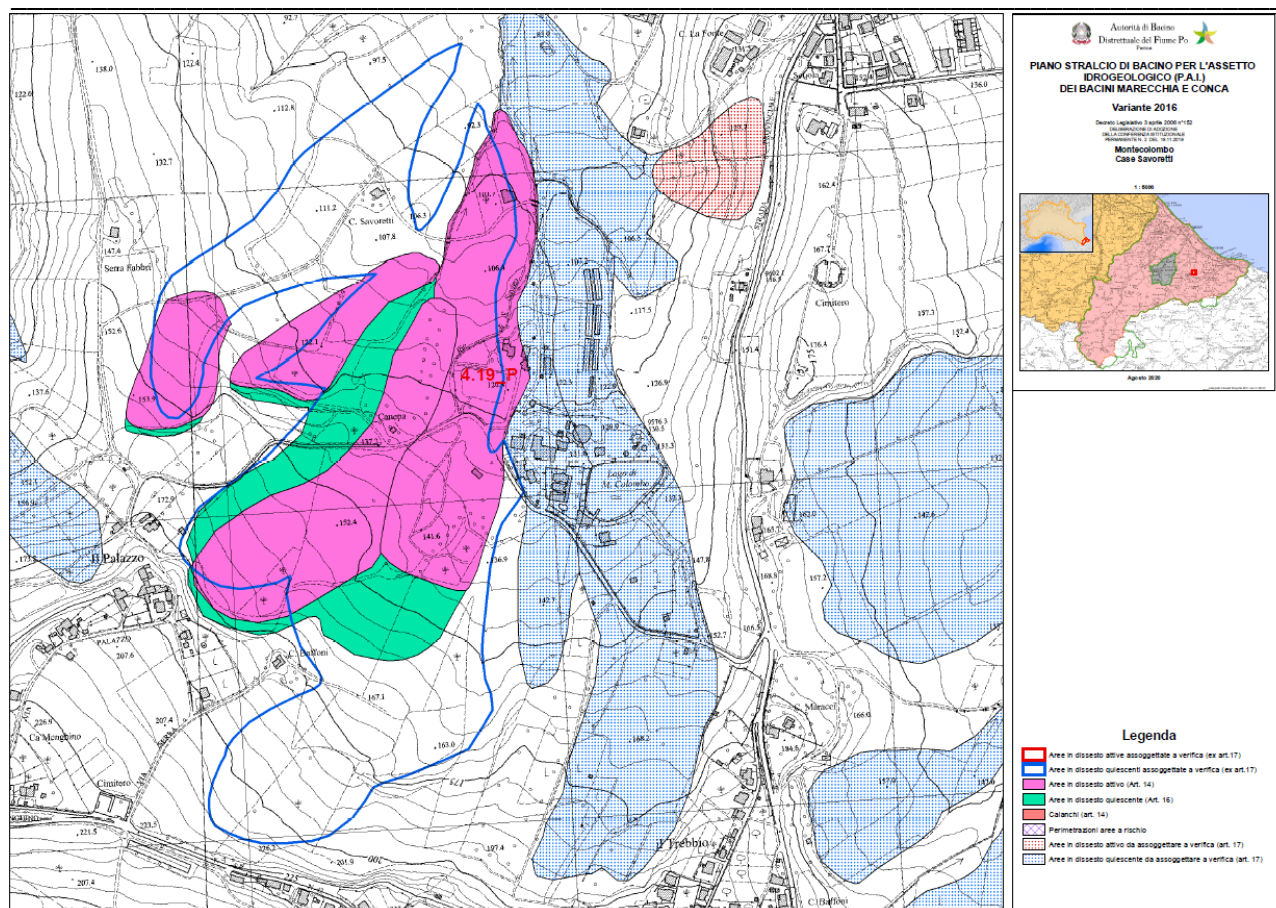


Figura 10.13- Stralcio Scheda 4.19_P_Montecolombo-Case Savoretti, PAI Marecchia-Conca

I dissesti studiati in località Case Savoretti presso la fraz. Montecolombo fanno riferimento alla sezione litotecnica di dettaglio 9. In figura 10.14 si riporta un estratto della carta geologico tecnica su cui viene individuata la specifica traccia di sezione rappresentativa, mentre in figura 10.15 si illustra l'ubicazione delle indagini di riferimento utilizzate per la definizione del modello geologico-tecnico locale.

Dal riscontro dei dati di bibliografia, dalle evidenze in sede di rilievo geologico e sulla base delle indagini condotte si è quindi giunti alla caratterizzazione dei corpi di frana ed al modello litotecnico di riferimento. La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata desunta avvalendosi sia delle prove in sito geofisiche e geognostiche (CPTm) che delle prove di laboratorio di nuova esecuzione e reperite fra indagini di archivio (vedi Allegato 3), mentre i livelli di falda sono stati assunti in base alle osservazioni condotte in sede di indagine nonché in letture successive nei piezometri installati, ovvero sulla base anche di informazioni e dati relativi ad indagini pregresse eseguite in aree limitrofe. I valori di resistenza non drenata sono stimati sia in base ai minimi di resistenza in corrispondenza dei profili penetrometrici quanto da formulazioni di bibliografia per la definizione dei valori residuali per terreni NC rammolliti/rimaneggiati nonché in virtù della relativa composizione, stato tensionale, criterio di rottura e stress history (Mayne 2001-2009, Ladd 1991, Mesri 1975, Ladd e Foott 1974).

In particolare per la definizione dei litotipi caratteristici si può far riferimento alla schematizzazione tecnica adottata in Tabella 10.5

Tabella 10.5 – Caratterizzazione geomeccanica litotipi caratteristici

MONTESCUDO - MONTECOLOMBO Sezione 9-9'

Litotipo	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (kPa) Coesione Totale	C' (kPa) Coesione Drenata	Fir (gradi) Angolo di Attrito Residuo	Ficv (gradi) Angolo di Attrito Vol. Cost	Fip (gradi) Angolo di Attrito Picco
a1	Deposito di frana attiva	1.7-1.9	24	/	12	/	/
a2	Deposito di frana quiescente	1.7-1.9	45	/	24	24	/
SA	Coltre formazionale alterata	1.8-2.0	50	5	/	24	/
SD	Substrato formazionale decompresso	1.9-2.0	100	10	/	/	25
SU	Substrato formazionale indisturbato	2.0-2.1	200	20	/	/	25

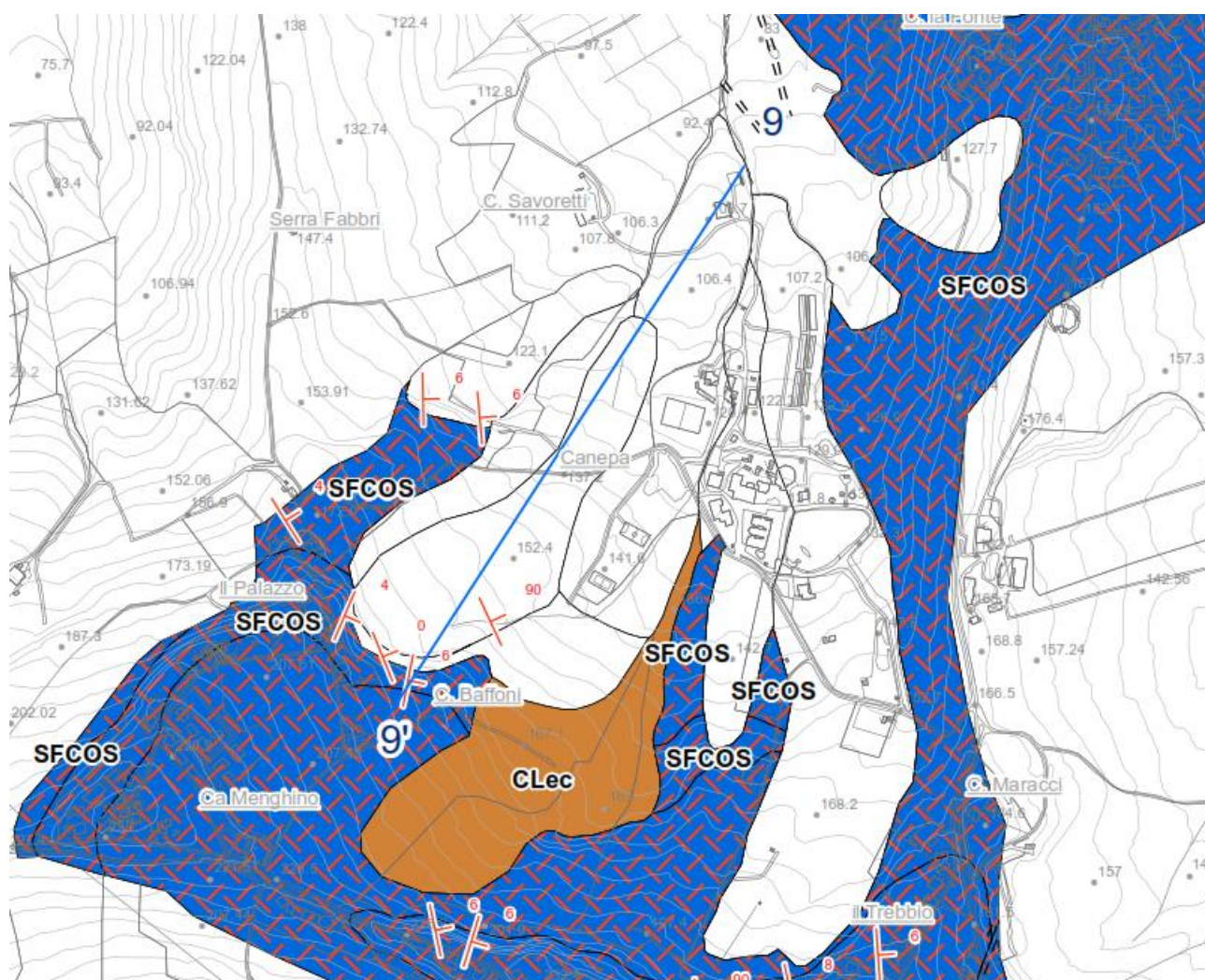


Figura 10.14- Stralcio fuori scala della carta geologico-tecnica – Frana Montecolombo_Case Savoretti - Sezione 9-9'

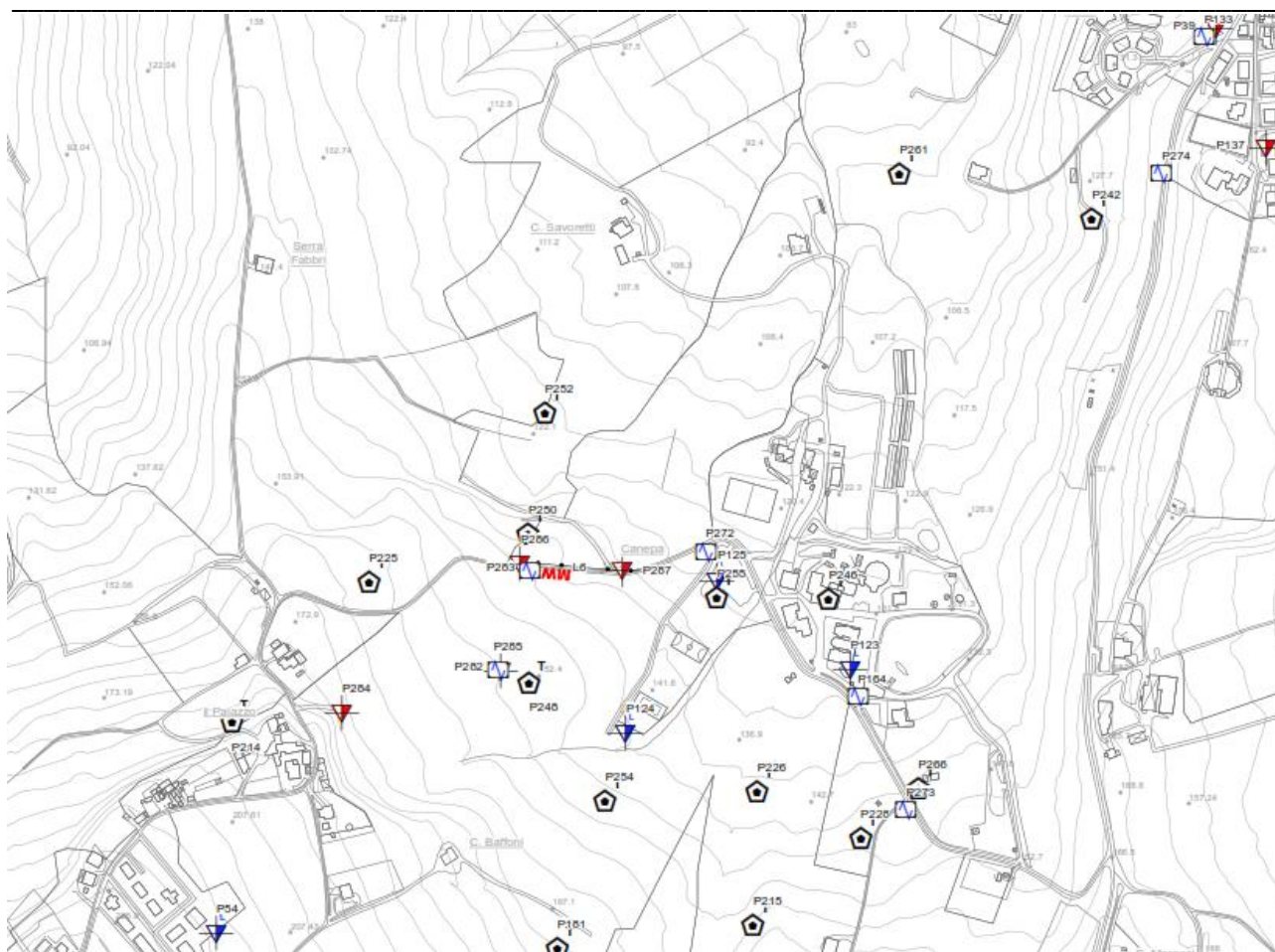


Figura 10.15- Stralcio fuori scala della carta delle indagini – Frana Montecolombo _Case Savoretti - Sezione 9-9’

I risultati delle analisi numeriche condotte vengono sintetizzati ai successivi Paragrafi 10.2.2 (*Verifiche di stabilità – metodi pseudostatici*) e 10.2.3 (*Verifiche di stabilità – valutazione degli spostamenti in condizioni dinamiche*).

Deposito Morciano di R. – Sezione 3-3’

I depositi studiati in località Capoluogo di Morciano di R. fanno riferimento alla sezione litotecnica 3-3’. In figura 10.16 si riporta un estratto della carta geologico tecnica su cui viene individuata la specifica traccia di sezione rappresentativa, mentre in figura 10.17 si illustra l’ubicazione delle indagini di riferimento utilizzate per la definizione del modello geologico-tecnico locale.

In questa situazione poiché tali depositi non sono mai stati oggetto di uno specifico studio di approfondimento di dettaglio, ad integrazione delle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio, si è svolta anche un’analisi fotogeologica al fine di poter verificare la dinamica evolutiva dei depositi superficiali ed una più accurata perimetrazione areale (Vedi interpretazione grafica di sintesi in Allegato 1).

Per lo studio fotogeologico di dettaglio, delle forme e dei processi, sono stati utilizzati i seguenti fotogrammi stereoscopici:

- Volo Azimut, anno 2000, colore, scala approx 1:13.000.

L'area di studio, ubicata nel versante che dal crinale SP36 - Via Panoramica, digrada verso NE fino a raggiungere la piana alluvionale del T. Conca. Trattasi di depositi eluvio-colluviali sottili e talora discontinui, ubicati nella fascia di raccordo del versante con la piana alluvionale; pertanto il declivio ha pendenza molto modesta.

Dagli anni 2000 ad oggi la situazione è invariata.

Dal riscontro di tali osservazioni nonché in sede di rilievo geologico e sulla base delle indagini condotte si è quindi giunti alla caratterizzazione dei corpi deposizionali ed al modello litotecnico di riferimento. La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata desunta avvalendosi sia delle prove in sito geofisiche e geognostiche (CPTm - CPTe) che delle prove di laboratorio di nuova esecuzione e reperite fra indagini di archivio (vedi Allegato 3), mentre i livelli di falda sono stati assunti in base alle osservazioni condotte in sede di indagine nonché in letture successive nei piezometri installati, ovvero sulla base anche di informazioni e dati relativi ad indagini pregresse eseguite in aree limitrofe. I valori di resistenza non drenata sono stimati sia in base ai minimi di resistenza in corrispondenza dei profili penetrometrici quanto da formulazioni di bibliografia per la definizione dei valori residuali per terreni NC rammolliti/rimaneggiati nonché in virtù della relativa composizione, stato tensionale, criterio di rottura e stress history (Mayne 2001-2009, Ladd 1991, Mesri 1975, Ladd e Foott 1974).

In particolare per la definizione dei litotipi caratteristici si può far riferimento alla schematizzazione tecnica adottata in Tabella 10.6

Tabella 10.6 – Caratterizzazione geomeccanica litotipi caratteristici

MORCIANO DI R. Sezione 3-3'

Litotipo	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (kPa) Coesione Totale	C' (kPa) Coesione Drenata	F _r (gradi) Angolo di Attrito Residuo	F _{cv} (gradi) Angolo di Attrito Vol. Cost	F _p (gradi) Angolo di Attrito Picco
a3	Deposito di versante	1.8-2.0	44.9	/	/	20.8	/
AES	Deposito alluvionale	1.8-1.9	50	10	/	20.5	/
SA	Coltre formazionale alterata	1.8-2.0	44.9	5	/	21.5	/
SD	Substrato formazionale decompresso	1.9-2.0	100	10	/	/	23
SU	Substrato formazionale indisturbato	2.0-2.1	200	20	/	/	23

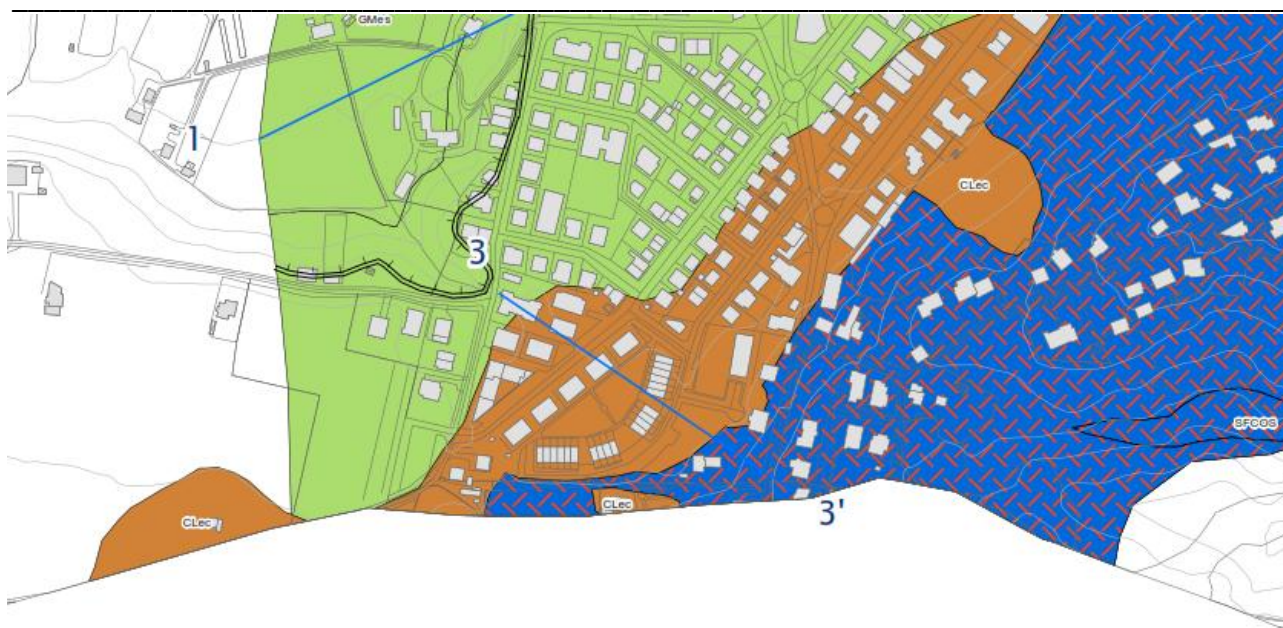


Figura 10.16- Stralcio fuori scala della carta geologico-tecnica – Deposito Morciano di R./Capoluogo - Sezione 3-3'

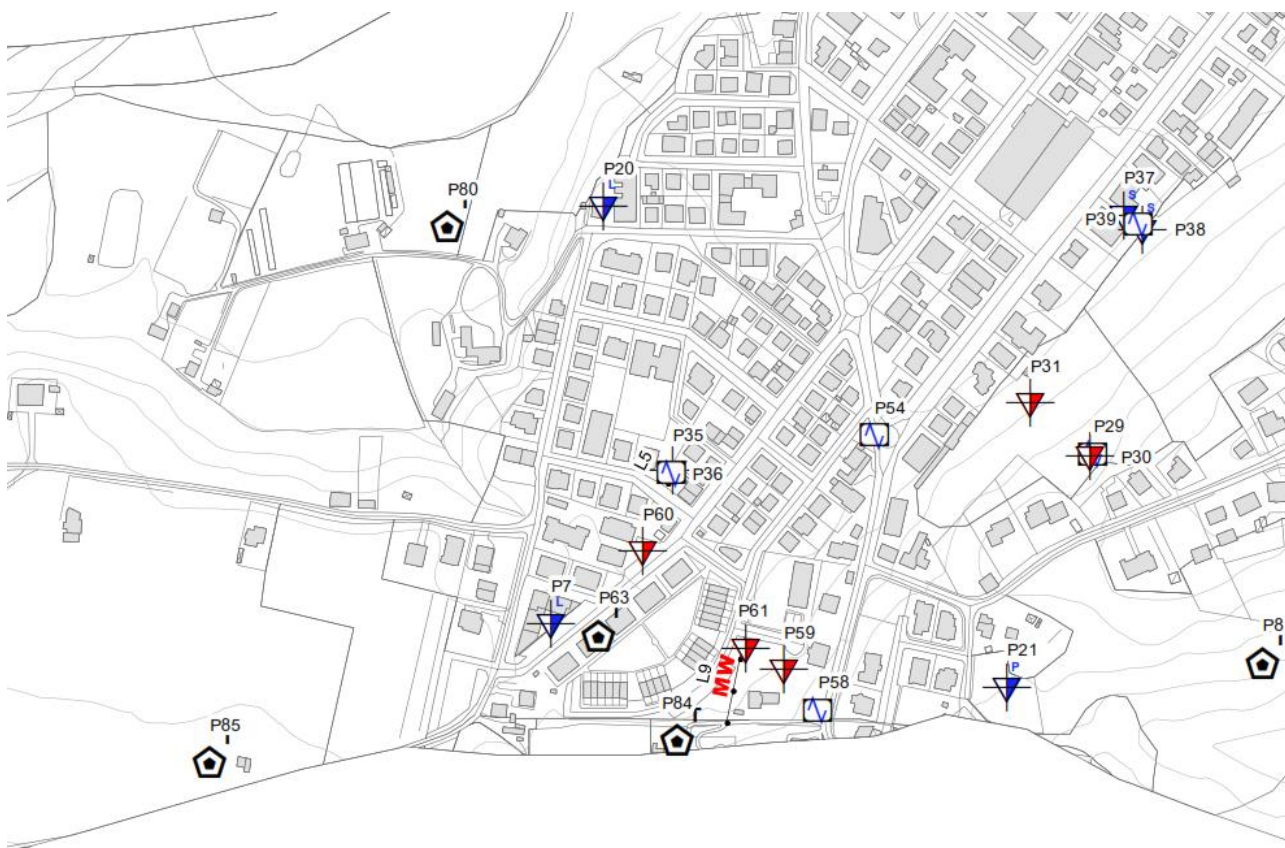


Figura 10.17- Stralcio fuori scala della carta delle indagini – Deposito Morciano di R./Capoluogo - Sezione 3-3'

I risultati delle analisi numeriche condotte vengono sintetizzati ai successivi Paragrafi 10.2.2 (*Verifiche di stabilità – metodi pseudostatici*) e 10.2.3 (*Verifiche di stabilità – valutazione degli spostamenti in condizioni dinamiche*).

Frana Saludecio – Sezioni 12-12', 13-13' e 14-14'

I dissesti studiati in località Capoluogo di Saludecio fanno riferimento alle sezioni litotecniche 12-12', 13-13' e 14-14', mentre per quanto riguarda le analisi numeriche si è fatto riferimento alle sole sezioni n. 12 e 14 in quanto la 12 e 13 ricadono sostanzialmente nell'ambito del medesimo corpo di frana. In figura 10.18 si riporta un estratto della carta geologico tecnica su cui vengono individuate le specifiche tracce di sezione, mentre in figura 10.19 si illustra l'ubicazione delle indagini di riferimento utilizzate per la definizione del modello geologico-tecnico locale.

In questa situazione poiché tali dissesti non sono mai stati oggetto di uno specifico studio di approfondimento di dettaglio, ad integrazione delle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio, si è svolta anche un'analisi fotogeologica al fine di poter verificare la dinamica evolutiva dei movimenti gravitativi ed una più accurata perimetrazione areale (Vedi interpretazione grafica di sintesi in Allegato 1).

Per lo studio fotogeologico di dettaglio, delle forme e dei processi, sono stati utilizzati i sui seguenti fotogrammi stereoscopici:

- Volo RER, anno 2023, colore.

L'area di studio è ubicata nel versante SW del centro abitato di Saludecio, entro la vallecchia che dal crinale lungo la SP17 digrada verso SW, fino a raggiungere il reticolo idrografico minore di un corso d'acqua affluente, in destra idrografica, nel Rio Ventena.

Tale vallecchia è ad uso residenziale in corrispondenza dell'apice e uso agricolo/boschivo/ sportivo dalla mezzacosta al piede. In prossimità dell'insediamento sportivo (campo da calcio) sono stati eseguiti nel corso degli anni movimenti terra (sterri e riporti) di una certa entità.

Immediatamente a valle del centro abitato gli impluvi della vallecchia sono interessati da un insieme congiunto di corpi di accumulo di frana di scorrimento roto-traslativo in stato classificabile come prevalentemente quiescente in relazione ad una certa regolarità topografica e continuità della copertura pedologica/vegetazionale. Tali depositi, sono stati scontornati con difficoltà in quanto la loro visibilità è frequentemente interrotta da scarpate antropiche.

Dal riscontro di tali osservazioni nonché in sede di rilievo geologico e sulla base delle indagini condotte si è quindi giunti alla caratterizzazione dei corpi di frana ed al modello litotecnico di riferimento. La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata desunta avvalendosi sia delle prove geofisiche e geognostiche in sito (Sondaggio a carotaggio+SPT, DPSH, CPTm) che delle prove di laboratorio di nuova esecuzione e reperite fra indagini di archivio (vedi Allegato 3), mentre i livelli di falda sono stati assunti in base alle osservazioni condotte in sede di indagine nonché in letture successive nei piezometri installati,

ovvero sulla base anche di informazioni e dati relativi ad indagini pregresse eseguite in aree limitrofe. I valori di resistenza non drenata sono stimati sia in base ai minimi di resistenza in corrispondenza dei profili penetrometrici quanto da formulazioni di bibliografia per la definizione dei valori residuali per terreni NC rammolliti/rimaneggiati nonché in virtù della relativa composizione, stato tensionale, criterio di rottura e stress history (Mayne 2001-2009, Ladd 1991, Mesri 1975, Ladd e Foott 1974).

In particolare per la definizione dei litotipi caratteristici si può far riferimento alla schematizzazione tecnica adottata in Tabella 10.7

Tabella 10.7 – Caratterizzazione geomeccanica litotipi caratteristici

SALUDECIO Sezione 12-12'

Litotipo	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (kPa) Coesione Totale	C' (kPa) Coesione Drenata	Fi _r (gradi) Angolo di Attrito Residuo	Fi _{cv} (gradi) Angolo di Attrito Vol. Cost	Fi _p (gradi) Angolo di Attrito Picco
a2	Deposito di frana quiescente	1.7-1.9	28	/	17	/	/
R	Terreni di riporto antropico	1.7-1.9	40	/	/	21	/
SA	Coltre formazionale alterata	1.8-2.0	50	5	/	21	/
SD	Substrato formazionale decompresso	1.9-2.0	100	10	/	/	21
SU	Substrato formazionale indisturbato	2.0-2.1	200	20	/	/	24

SALUDECIO Sezione 14-14'

Litotipo	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (kPa) Coesione Totale	C' (kPa) Coesione Drenata	Fi _r (gradi) Angolo di Attrito Residuo	Fi _{cv} (gradi) Angolo di Attrito Vol. Cost	Fi _p (gradi) Angolo di Attrito Picco
a2	Deposito di frana quiescente	1.7-1.9	33	/	17	/	/
SA	Coltre formazionale alterata	1.8-2.0	60	5	/	21	/
SD	Substrato formazionale decompresso	1.9-2.0	100	10	/	/	21
SU	Substrato formazionale indisturbato	2.0-2.1	200	20	/	/	24

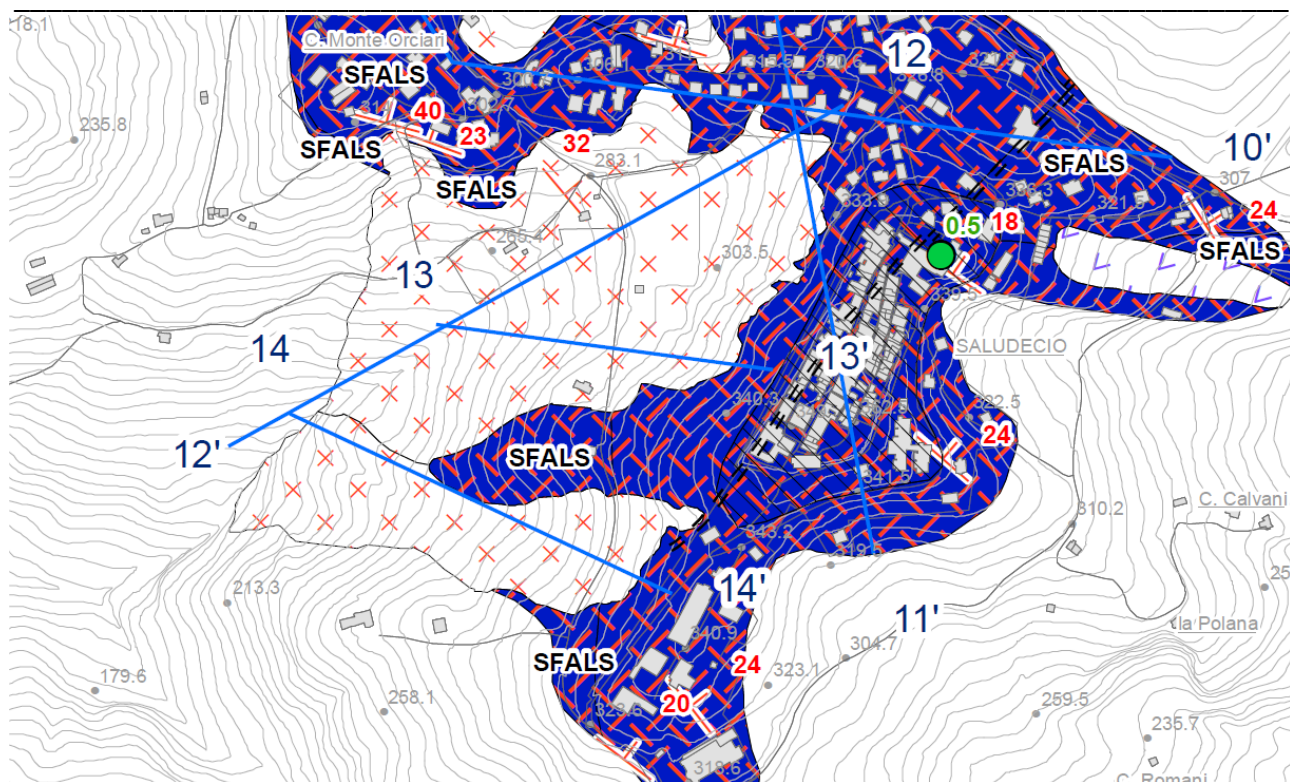


Figura 10.18- Stralcio fuori scala della carta geologico-tecnica – Frana Saludecio/Capoluogo - Sezioni 12-12', 13-13' e 14-14'

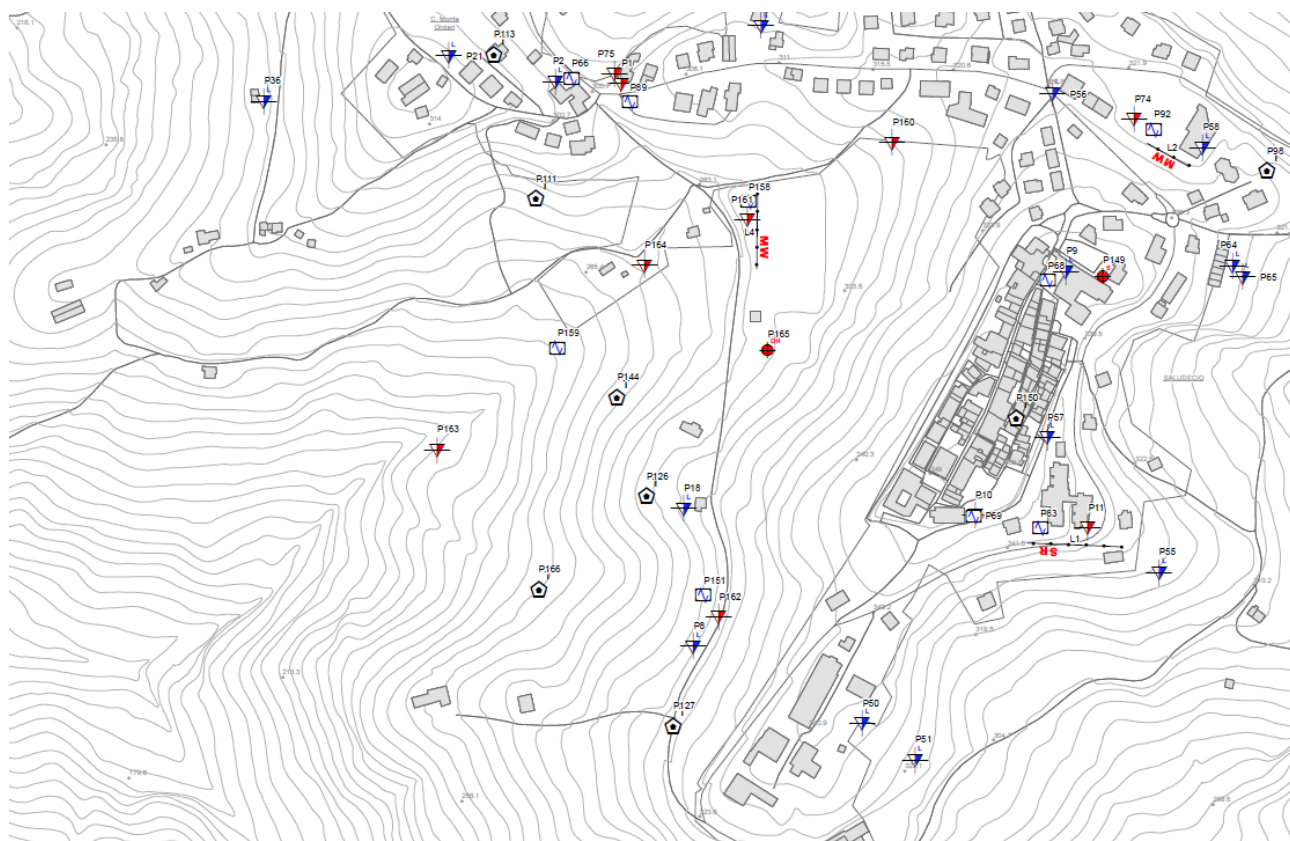


Figura 10.19- Stralcio fuori scala della carta delle indagini – Frana Saludecio/Capoluogo - Sezioni 12-12', 13-13' e 14-14'

I risultati delle analisi numeriche condotte vengono sintetizzati ai successivi Paragrafi 10.2.2 (*Verifiche di stabilità – metodi pseudostatici*) e 10.2.3 (*Verifiche di stabilità – valutazione degli spostamenti in condizioni dinamiche*).

Frana San Clemente – Sezione 5-5'

I dissesti studiati in località Capoluogo di San Clemente fanno riferimento alla sezione litotecnica 5-5', ritenuta rappresentativa per l'assetto dei corpi di frana interessati. In figura 10.20 si riporta un estratto della carta geologico tecnica su cui vengono individuate le specifiche tracce di sezione, mentre in figura 10.21 si illustra l'ubicazione delle indagini di riferimento utilizzate per la definizione del modello geologico-tecnico locale.

In questa situazione poiché tali dissesti non sono mai stati oggetto di uno specifico studio di approfondimento di dettaglio, ad integrazione delle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio, si è svolta anche un'analisi fotogeologica al fine di poter verificare la dinamica evolutiva dei movimenti gravitativi ed una più accurata perimetrazione areale (Vedi interpretazione grafica di sintesi in Allegato 1).

Per lo studio fotogeologico di dettaglio, delle forme e dei processi, sono stati utilizzati i seguenti fotogrammi stereoscopici:

- Volo RER, anno 1981, b/n, scala approx 1:10.000;
- Volo IGM, anno 1991, b/n, scala approx 1:36.000;
- Volo Azimut, anno 2000, colore, scala approx 1:13.000.

L'area di studio è ubicata nel versante E del centro abitato di S. Clemente, entro la vallecola digradante dal crinale lungo la SP35bis verso E, fino a raggiungere il reticolo idrografico minore del corso d'acqua Rio Acquaviola, affluente, in sinistra idrografica, del Torrente Conca.

Tale vallecola è ad uso residenziale in corrispondenza dell'apice e agricolo dalla mezzacosta al piede dove i fossi agrari sono incisi lungo le linee di massima pendenza.

Si tratta di un'area interessata in corrispondenza:

- della parte apicale della vallecola da un insieme di discontinuità quali deformazioni/fessurazioni di viabilità e di lotti edificati riconducibili a corpi di frana complessa quiescente per i quali è problematica sia l'attribuzione cinematica, sia la delimitazione data anche l'intensa antropizzazione, in particolare in prossimità del toponimo Scuola;
- immediatamente a valle del centro abitato si individua un insieme congiunto di corpi di accumulo di scorrimento roto-traslativo attivo che digrada verso il piede della vallecola tramite processi colamento per fluidificazione della coltre di frana a valle di Via Fontanaccia. L'attribuzione dello stato attivo deriva dalla notevole irregolarità sia del profilo topografico (micro-rilievo con alternanze concavo-convesse) che dei toni delle riprese esaminate; tale irregolarità è riconducibile a movimenti recenti.

Dagli anni '80-'90 ad oggi si riscontra la tendenza all'aumento dell'estensione del dissesto per retrogressione sia verso monte che laterale. Rispetto agli anni '90 si riscontra anche un'intensificazione dello stato di attività.

Dal riscontro di tali osservazioni nonché in sede di rilievo geologico e sulla base delle indagini condotte si è quindi giunti alla caratterizzazione dei corpi di frana ed al modello litotecnico di riferimento. La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata desunta avvalendosi sia delle prove geofisiche e geognostiche in sito (Sondaggio a carotaggio+SPT, DPSH, CPTm) che delle prove di laboratorio di nuova esecuzione e reperite fra indagini di archivio (vedi Allegato 3), mentre i livelli di falda sono stati assunti in base alle osservazioni condotte in sede di indagine nonché in letture successive nei piezometri installati, ovvero sulla base anche di informazioni e dati relativi ad indagini pregresse eseguite in aree limitrofe. I valori di resistenza non drenata sono stimati sia in base ai minimi di resistenza in corrispondenza dei profili penetrometrici quanto da formulazioni di bibliografia per la definizione dei valori residuali per terreni NC rammolliti/rimaneggiati nonché in virtù della relativa composizione, stato tensionale, criterio di rottura e stress history (Mayne 2001-2009, Ladd 1991, Mesri 1975, Ladd e Foott 1974).

In particolare per la definizione dei litotipi caratteristici si può far riferimento alla schematizzazione tecnica adottata in Tabella 10.8

Tabella 10.8 – Caratterizzazione geomeccanica litotipi caratteristici

SAN CLEMENTE Sezione 5-5'

Litotipo	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (kPa) Coesione Totale	C' (kPa) Coesione Drenata	Fi _r (gradi) Angolo di Attrito Residuo	Fi _{cv} (gradi) Angolo di Attrito Vol. Cost	Fi _p (gradi) Angolo di Attrito Picco
a1	Deposito di frana attiva	1.7-1.9	22	/	11	/	/
a2	Deposito di frana quiescente	1.7-1.9	35	/	13.1	/	/
SA	Coltre formazionale alterata	1.8-2.0	45	5	/	18.8	/
SD	Substrato formazionale decompresso	1.9-2.0	120	10	/	/	19.6
SU	Substrato formazionale indisturbato	2.0-2.1	200	20	/	/	23

I risultati delle analisi numeriche condotte vengono sintetizzati ai successivi Paragrafi 10.2.2 (*Verifiche di stabilità – metodi pseudostatici*) e 10.2.3 (*Verifiche di stabilità – valutazione degli spostamenti in condizioni dinamiche*).

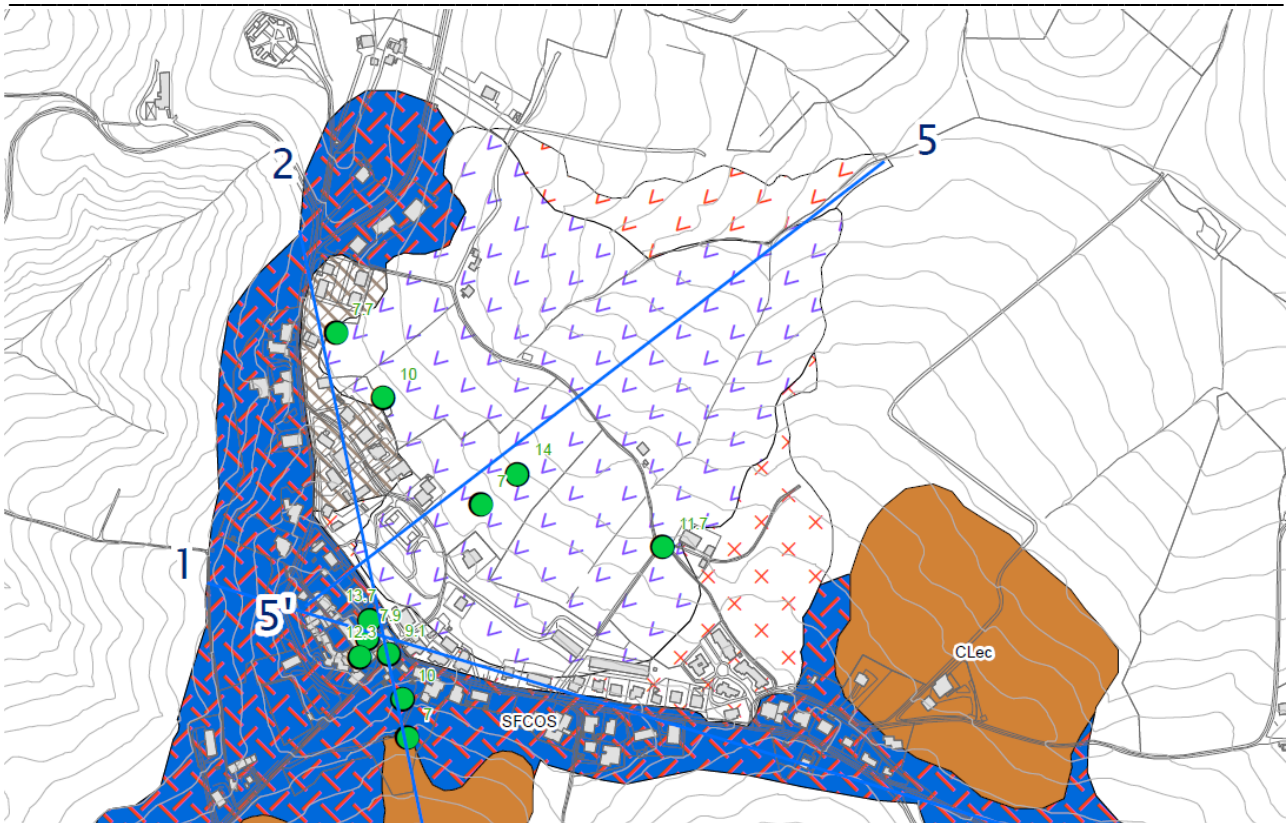


Figura 10.20- Stralcio fuori scala della carta geologico-tecnica – Frana San Clemente/Capoluogo - Sezione 5-5'

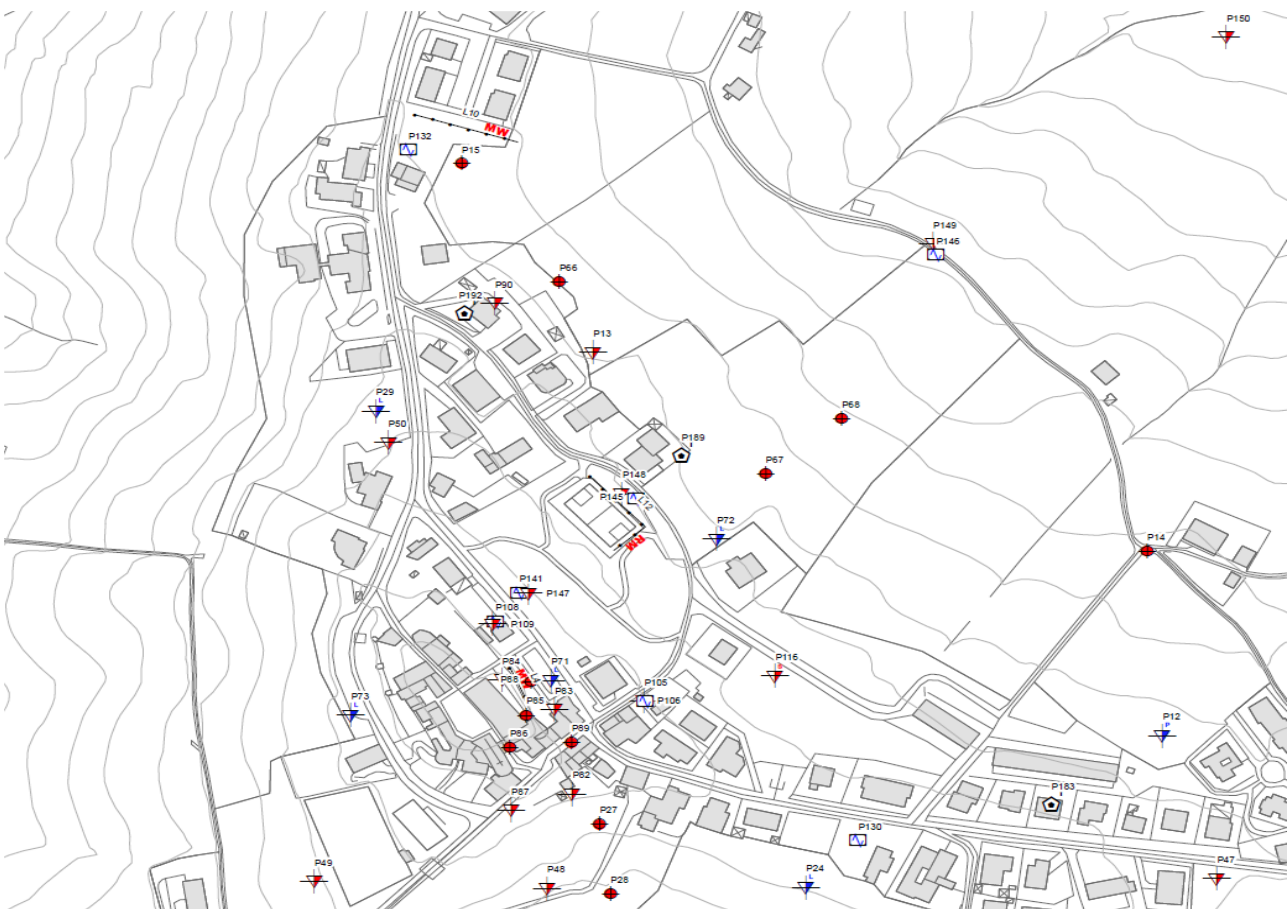


Figura 10.21- Stralcio fuori scala della carta delle indagini – Frana San Clemente/Capoluogo - Sezione 5-5'

10.2.2 Verifiche di stabilità – metodi pseudostatici

La stabilità del versante che declina presso le aree in studio è stata sottoposta a verifica di calcolo tramite il metodo di Janbu semplificato applicato a superfici di scivolamento circolari. Tale verifica si esplica in ossequio alle prescrizioni contenute nell'ATTO DI COORDINAMENTO TECNICO SUGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA, approvato con DGR 564/2021 della Regione Emilia Romagna e Linee Guida AGI (Aspetti Geotecnici per la Progettazione in Zona Sismica, 2005), valutando analiticamente la stabilità tramite metodi statici e pseudostatici in condizioni statiche, dinamiche e post-sismiche. Infatti le sollecitazioni sismiche, a causa della loro natura dinamica e ciclica, inducono in un pendio, rispetto al caso statico, i seguenti effetti:

- un incremento delle azioni destabilizzanti, dovuto all'insorgere di forze d'inerzia proporzionali all'accelerazione sismica, variabili nel tempo e all'interno del pendio, in intensità, direzione e verso;
- una riduzione delle azioni resistenti, dovuta a fenomeni di fatica e/o di accumulo delle pressioni interstiziali, conseguenti alla ciclicità del carico. In generale, il decadimento della resistenza al taglio cresce con il numero dei cicli di carico, e quindi con la durata del terremoto. In terreni sabbiosi saturi poco addensati, il progressivo incremento delle pressioni interstiziali indotto dai carichi ciclici può ridurre significativamente la resistenza al taglio, talvolta fino ad annullarla. In terreni coesivi molto plastici (e attivi), nei quali i fenomeni di tipo viscoso assumono un ruolo non trascurabile, la degradazione ciclica può essere parzialmente o totalmente compensata dall'aumento di resistenza indotto, in condizioni non drenate, dall'elevata velocità di applicazione del carico.

Da quanto esposto risulta evidente che il comportamento di un pendio durante l'evento sismico, e per un periodo successivo all'evento stesso, è strettamente legato alla natura del terreno e alle condizioni esistenti prima del terremoto. Un'analisi completa della stabilità in condizioni sismiche deve perciò sempre comprendere lo studio del comportamento del pendio prima, durante e dopo il terremoto. L'azione sismica di base da assumere nelle analisi di stabilità in base ai criteri della MS viene definita per un $T_r=475$ anni, adottando quindi le azioni sismiche calcolate al precedente Par. 10.1.

Analisi statica e pseudostatica

L'analisi statica e pseudostatica viene condotta sostanzialmente secondo i metodi dell'equilibrio limite e le relative prescrizioni normative di riferimento. In particolare nei metodi di analisi pseudostatica si assume che:

- il terreno sia assimilabile ad un mezzo rigido perfettamente plastico;
- la rottura sia raggiunta contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento (effettiva o potenziale);
- la resistenza sulla superficie di scorrimento sia espressa in termini di tensioni efficaci, mediante il criterio di Mohr - Coulomb ($\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \varphi'$, dove σ'_n è la tensione normale efficace sulla superficie di scorrimento), o in termini di tensioni totali, mediante il criterio di Tresca ($\tau_f = c_u$);

- l'azione dinamica del terremoto sia rappresentata da una forza di inerzia statica equivalente, proporzionale al peso W della massa potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = K_h W$ e $F_v = K_v W$, con K_h e K_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale.

Dal momento che gli effetti delle forze di inerzia impulsive prodotte dal moto sismico vengono descritti mediante una forza statica equivalente, $F = KW$, costante nel tempo in modulo, direzione e verso, l'accelerazione equivalente, $K \cdot g$, proporzionale al coefficiente sismico K , può essere anche notevolmente inferiore all'accelerazione massima a_{max} del terremoto di progetto.

Di norma, a partire dall'accelerazione orizzontale massima del terremoto di progetto, viene stabilito il valore del coefficiente sismico orizzontale K_h , mentre il coefficiente sismico verticale K_v è definito come un aliquota di quello orizzontale secondo il seguente rapporto:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito = 0,28 (Tabella 4 – DGR 564/2021 RER)

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

g = accelerazione di gravità.

In terreni saturi e in siti con accelerazione orizzontale massima attesa $a_{max} > 0,15g$, nell'analisi statica delle condizioni successive al sisma si deve tenere conto della possibile riduzione della resistenza al taglio per incremento delle pressioni interstiziali o per decadimento delle caratteristiche di resistenza indotti dalle azioni sismiche. In assenza di specifiche prove di laboratorio eseguite in condizioni cicliche, l'incremento delle pressioni interstiziali, Δu , per le analisi in tensioni efficaci, e il coefficiente di riduzione della resistenza non drenata, δ_{cu} , per le analisi in tensioni totali, vengono stimati facendo ricorso all'uso di relazioni empiriche contenute nelle Linee Guida AGI (in Appendice 8.B di queste ultime sono riportate alcune correlazioni di letteratura per terreni coesivi e terreni granulari).

Sintesi dei calcoli di stabilità

Il coefficiente di sicurezza è stato calcolato tramite il metodo di Janbu semplificato applicato a superfici di scivolamento non circolari in condizioni breve termine, dinamiche, lungo termine e post-sisma, valutando la condizione di stato limite con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e riferita alla superficie di scorrimento ritenuta maggiormente critica, caratterizzata dal minore margine di sicurezza, secondo le varie combinazioni di calcolo e di sollecitazione sismica (anche con acc. orizz. e $\pm$ verticale $\dagger$).

Tale metodo pone la condizione che le forze verticali agenti sulle superfici di separazione dei conci siano trascurabili. Di conseguenza i singoli conci interagiscono tra di loro solo attraverso forze orientate lungo

l'orizzontale. La superficie di scorrimento può essere circolare o avere una forma qualsiasi e la resistenza al taglio massima disponibile lungo la superficie potenziale di rottura è data, per ogni concio da:

$$T_{i \max} = X_i / (1 + Y_i / F_s)$$

con: $X_i = (c + (g \cdot h - g_w \cdot h_w) \cdot \tan \varphi) \cdot (1 + \tan^2 \varphi) \cdot dx / \cos \alpha$; $Y_i = \tan \alpha \cdot \tan \varphi$

g_w = peso di volume dell'acqua;

h_w = altezza dell'acqua sulla base del concio

dx = lunghezza del concio lungo l'orizzontale

α = inclinazione del concio sull'orizzontale

F_s = coefficiente di sicurezza

φ = angolo di attrito interno

c = coesione

la resistenza al taglio mobilitante lungo il piano di taglio è per ogni concio data da:

$$T_{i \text{ mob}} = Z_i$$

con: $Z_i = g \cdot h \cdot dx \cdot \tan \alpha$

Il coefficiente di sicurezza del pendio viene espresso quindi come segue:

$$F_s = \sum (i=1-n) T_{i \max} / \sum (i=1-n) T_{i \text{ mob}}$$

Poiché il coefficiente di sicurezza "Fs" compare anche al numeratore dell'espressione il software adotta un procedimento iterativo per giungere, con vari tentativi, al valore finale di Fs lungo ciascuna superficie circolare testata. Il metodo è applicabile anche a versanti costituiti da terreni eterogenei dal punto di vista litologico e/o geotecnico e quindi ben si adatta alla nostra situazione.

Inoltre nell'ambito delle verifiche si è definita l'accelerazione sismica orizzontale critica "a_c" (accelerazione sismica per cui Fs=1) necessaria per la successiva applicazione dei metodi per la stima degli spostamenti in condizioni sismiche.

Pertanto i calcoli sono stati condotti secondo le seguenti assunzioni:

Breve termine – Tensioni totali

- Presenza di falda permanente al max innalzamento ipotizzabile;
- Adozione di parametri di resistenza del terreno in tensioni totali. (Nota: in questo caso vengono adottati parametri geomeccanici caratteristici di resistenza del terreno in termini di "tensioni totali" $C_u - F_u$)

Breve termine con sisma – Tensioni totali

- Presenza di falda permanente al max innalzamento ipotizzabile;
- concomitanza di evento sismico (determinazione delle azioni sismiche secondo DM2018 in relazione alla situazione limite di SLV).

- Adozione di parametri di resistenza del terreno degradati a seguito delle sollecitazioni cicliche. (Nota: in questo caso vengono adottati parametri geomeccanici caratteristici di resistenza del terreno in termini di "tensioni totali" $C_u - F_u - C_u(\text{cyc})$)

Lungo termine – Tensioni efficaci

- Presenza di falda permanente al max innalzamento ipotizzabile;
- Parametrizzazione geotecnica dei terreni costituenti la coltre secondo valori di resistenza propri dello “stato critico” o “residuo” desunti a seguito di campagna geognostica (in termini di "tensioni efficaci" C'_{cv} e $F_{i_{cv}}$ o F_{ir}).

Condizioni post-sismiche – Tensioni efficaci

- Presenza di falda permanente al max innalzamento ipotizzabile;
- Determinazione di eventuali sovrappressioni idrostatiche indotte dal sisma Δu ;
- Parametrizzazione geotecnica dei terreni costituenti la coltre secondo valori di resistenza propri dello “stato critico” o “residuo” desunti a seguito di campagna geognostica (in termini di "tensioni efficaci" C'_{cv} e $F_{i_{cv}}$ o F_{ir}).

I parametri geotecnici caratteristici adottati per i terreni sono quelli minimi dei vari orizzonti stratigrafici come definiti in Tabella 10.1 – 10.2 – 10.3 – 10.4 – 10.5 – 10.6 – 10.7 – 10.8.

Per quanto riguarda i possibili fenomeni di degradazione ciclica e/o sovrappressioni (Δu) sismicamente indotti si è adottato l'approccio di Matsui (1980) e Matasovic (1993), come consigliato nelle direttive/linee guida di riferimento.

Il valore ridotto/degradato di $C_u = C_u(\text{cyc})$, determinato a partire dal relativo valore caratteristico (coincidente con il valore prossimo a quello minimo rilevato), viene assunto generalmente costante lungo la superficie di scorrimento ed utilizzato in maniera cautelativa per un'applicazione in condizioni dinamiche. Allo stesso modo, per le condizioni post-sismiche viene assunto un aumento delle pressioni interstiziali (Δu) indotto dalla sollecitazione ciclica secondo le seguenti formulazioni:

$$\frac{u_r}{\sigma_c} = 0.45 \left[\log_{10} \left(\frac{\gamma_{c,\max}}{A_1(OCR-1) + B_1} \right) \right]$$

Tabella 8.B.1. Valori suggeriti per i coefficienti A e B		
I_p (%)	A	B
20	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$0.6 \cdot 10^{-3}$
40	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
55	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$

dove la C_u degradata può essere definita attraverso le seguenti relazioni in base al rapp. di pressione interstiziale $R_u = u/\sigma'_{vo}$:

se $\Delta u/\sigma'_{vo} > 0.5$

$$\frac{c_u}{\sigma'_{v0}} = \frac{c_{u0}}{\sigma'_{v0}} \sqrt{\frac{\sigma'_{v0} - \Delta u}{\sigma'_{v0}}}$$

$$c_u(N) = c_{u0} \cdot \delta = c_{u0} \cdot N^{-t}$$

$$t = s \cdot (\gamma_c - \gamma_v)^r$$

se $\Delta u / \sigma_{vo} < 0.5$

Tabella 8.B.2. Coefficienti per il calcolo dell'indice di degradazione ciclica (Matasovic, 1993)

	OCR = 1			OCR = 2	OCR = 4
	$I_p = 15$	$I_p = 30$	$I_p = 50$	$I_p = 50$	$I_p = 50$
s	0.195	0.095	0.075	0.054	0.042
r	0.600	0.600	0.495	0.480	0.423

in cui:

C_u =valore caratteristico di coesione non drenata

I_p =indice di plasticità

c_{max} =max deformazione di taglio indotta dal sisma

σ'_{vo} =pressione verticale efficace

A e B = coefficienti sperimentali

$N=N^\circ$ di cicli indotti dal sisma

OCR=grado di sovraconsolidazione

γ_c = deformazione di taglio ciclica

γ_v = deformazione di soglia volumetrica

Dalle verifiche effettuate nelle condizioni definite, nei casi in esame, si evince una riduzione di c_u molto modesta o nulla ed un aumento di Δu identificato graficamente dalla “Piezometric Line 1” (vedi Allegato 4). In tal caso le condizioni di verifica post-sismica risultano generalmente più critiche rispetto a quelle di lungo termine.

L'adeguatezza del margine di sicurezza calcolato nei confronti della stabilità del pendio è stata riferito, in via cautelativa e per analogia, alle procedure e requisiti prescritti nell'ATTO DI COORDINAMENTO TECNICO SUGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA approvato con DGR 564/2021 della Regione Emilia Romagna, ovvero assumendo condizioni di sufficiente stabilità con $F_s > 1.2$.

Tutte le analisi illustrate in Allegato 4, sono state condotte nelle condizioni più sfavorevoli possibili a verificarsi (es. massimo innalzamento falda atteso).

In particolare si sottolinea come spesso diversi corpi di frana, data l'estensione e caratteristiche evolutive, siano complessivamente rappresentati dalla coalescenza di depositi con diverso stato di attività, all'occorrenza definiti “a1” (deposito di frana attiva), “a2” (deposito di frana quiescente) e “a3” (deposito di versante) e per cui si sono valutate specifiche superfici di scivolamento al fine di caratterizzare al meglio le condizioni di stabilità nei diversi settori di versante.

In tabella 10.9 si riporta una sintesi dei risultati ottenuti distinguendo per ciascuna frana i valori ottenuti per a1, a2 e a3 ove presenti ed in relazione all'assetto rilevato.

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)
Relazione Illustrativa

Tabella 10.9 – Sintesi verifiche di stabilità metodi pseudostatici

Gemmano Sez 3-3'	Breve termine - Tensioni totali	Breve termine con sisma - Tensioni totali	Lungo termine - Tensioni efficaci	Post-sismiche - Tensioni efficaci	Accelerazione critica “a _c ” (ag)
a₁	1.359	0.978	0.955	0.834	0.0946
a₂	1.528	1.102	1.012	0.880	0.14
Gemmano Sez 4-4'					
a₁	2.066	1.417	0.999	0.752	0.235
a₂	2.638	1.868	1.181	0.902	0.406
Mondaino Sez 3-3'					
a₂	1.557	1.015	1.229	0.924	0.1025
Montefiore C. Sez 5-5'					
a₁	1.405	1.001	0.839	0.678	0.133
a₂	1.240	0.928	1.045	0.980	0.0964
Montegridolfo Sez 3-3'					
a₃	4.466	2.222	2.008	1.576	0.3348
Montescudo Montecolombo Sez 9-9'					
a₁	1.814	0.992	1.015	0.703	0.0957
a₂	1.717	1.037	1.108	0.805	0.108
Morciano di R. Sez 3-3'					
a₃	4.836	2.797	3.085	2.967	0.603
Saludecio Sez 12-12'					
a₂	1.712	1.060	1.067	0.920	0.11
Saludecio Sez 14-14'					
a₂	1.396	1.001	1.120	1.120	0.0993
San Clemente Sez 5-5'					
a₁	2.002	1.109	1.047	0.847	0.1187
a₂	2.065	1.146	1.064	0.861	0.1267

Dai risultati ottenuti si evince una sostanziale coerenza con le evidenze geomorfologiche e gli stati di attività osservati tramite rilievo di campagna e fotogeologico, in quanto le verifiche in tensioni efficaci e quelle post-sismiche (condizione maggiormente critica per i terreni coesivi sovraconsolidati) in corrispondenza di depositi di tipo “a2” (stato quiescente) e, soprattutto “a1” (stato attivo), evidenziano sempre valori di $F_s < 1.2$ ed a tratti anche $F_s < 1$.

Diversamente le condizioni statiche di breve termine tendono a sottostimare le condizioni di pericolosità osservate, mentre quelle dinamiche in tensioni totali, anche alla luce delle incertezze correlate, portano ad ipotizzare generalmente condizioni di possibile criticità anche in condizioni sismiche (F_s prossimo od inferiore a 1.2) e, in situazioni particolari, anche $F_s \approx 1$.

10.2.3 Verifiche di stabilità – valutazione degli spostamenti in condizioni dinamiche

Il comportamento dei depositi di terreno potenzialmente instabile è stato valutato anche in virtù degli spostamenti attesi in condizioni sismiche. Tali valutazioni (così come l’assunzione dei relativi parametri di riferimento) sono condotte in ossequio alle indicazioni e contenuti delle “LG Frane” emanate dal D.P.C. (vers. 1.0, 2017) ed in particolare secondo quanto descritto alla relativa nota 3.

In linea generale lo spostamento ammissibile dipende da:

- tipo di pendio (naturale o artificiale) e caratteristiche del terreno
- interazione con manufatti esistenti
- livello di protezione assegnato e conseguenze di un’eventuale frana

Le linee guida per l’analisi e la mitigazione del rischio di frana in California (ASCE, 2002) indicano uno spostamento ammissibile S_{amm} di:

- **5 cm** per superfici di scorrimento che coinvolgono manufatti rigidi
- **15 cm** per cinematismi di collasso che si sviluppano in terreni con curve sforzi-deformazioni di tipo incrudente e non interagiscono con manufatti esistenti.

Nel caso di terreni con curve sforzi-deformazioni di tipo rammollente l’assunzione di uno spostamento ammissibile $S_{amm} = 15$ cm è ragionevole se “ a_c ” è calcolato utilizzando le caratteristiche di resistenza di post-picco o residua, mentre è opportuno assumere $S_{amm} = 5$ cm se “ a_c ” venisse calcolato con i parametri di picco della resistenza al taglio.

Pertanto partendo dalle condizioni di pericolosità ed azioni sismiche stimate nel precedente Par. 10.1 e dalle risultanze delle analisi pseudo-statiche riferite alle superfici di scivolamento maggiormente critiche, conformemente a quanto indicato all’allegato A3 della DGR 564/2021, la stima degli spostamenti attesi è stata ottenuta tramite specifiche relazioni empiriche di letteratura.

Per le analisi si è utilizzato il software SLAMMER (Seismic LANDslide Movement Modeled using Earthquake Records) - U.S. Geological Survey Techniques and Methods 12-B1 - Randall W. Jibson, Ellen M. Rathje, Matthew W. Jibson, and Yong W. Lee, 2013.

In particolare si è adottato il modello predittivo unificato di Rathje and Antonakos (2011), metodo robusto basato un consistente numero di case history e simulazioni, valido sia per condizioni di modello rigido che flessibile. In particolare sfrutta una serie di parametri sismici desumibili dalle analisi di RSL congiuntamente alle caratteristiche di comportamento dinamico della massa instabile (periodo fondamentale di sito T_s).

Il modello predittivo richiede quindi i seguenti parametri di input derivabili dalle analisi sismiche di dettaglio o da specifici modelli di attenuazione:

- Critical or yield acceleration (g), as used elsewhere.
- Site period, T_s (s). The fundamental site period can be estimated as $4H/V_s$ for a 1-D model or $2.6H/V_s$ for a 2-D analysis of a triangular-shaped sliding mass, where H is the height of the landslide mass and V_s is the shear-wave velocity of the landslide material.
- Earthquake moment magnitude, M_w .
- Peak ground acceleration, PGA (g).
- Peak ground velocity, PGV (cm/s).
- Mean shaking period, T_m (s)

Pertanto in Tabella 10.10 si riporta una sintesi delle stime ottenuta per ciascuna delle superfici critiche precedentemente analizzate in condizioni pseudo statiche. I valori così ottenuti sono stati utilizzati e riportati nelle carte di MS3 quale parametro di massimo movimento (FRT, in centimetri) delle frane di scivolamento studiate.

Tabella 10.10 – Sintesi dei parametri e dei valori di massimo movimento in condizioni dinamiche

VERIFICA MASSIMO MOVIMENTO FRANE (FRT) Modello empirico semplificato (Rathje & Antonakos, 2011)				
Parametri di calcolo/risultati attesi a1 - corpo di frana attiva a2 - corpo frana quiescente a3 – deposito di versante	Gemmano Sez 3	Gemmano Sez 4	Mondaino Sez 3	Montefiore Sez 5
Acc. critica " a_c " (g) - a1	0.0946	0.235	/	0.133
Acc. critica " a_c " (g) - a2	0.14	0.406	0.1025	0.0965
Acc. critica " a_c " (g) - a3	/	/	/	/
Periodo di sito " T_s " (s)	0.14	0.14	0.23	0.32
Magnitudo " M_w "	6.14	6.14	6.14	6.14
Accelerazione di picco PGA (g)	0.324	0.324	0.321	0.408
Velocità di picco PGV (cm/s)	25.39	25.39	24.46	26.03
Periodo medio di scuotimento " T_m " (s)	0.38	0.38	0.39	0.38
SPOSTAMENTO "FRT" (cm) - a1	9.136	0.228	/	2.002
SPOSTAMENTO "FRT" (cm) - a2	2.942	0.228	5.182	5.99
SPOSTAMENTO "FRT" (cm) - a3	/	/	/	/

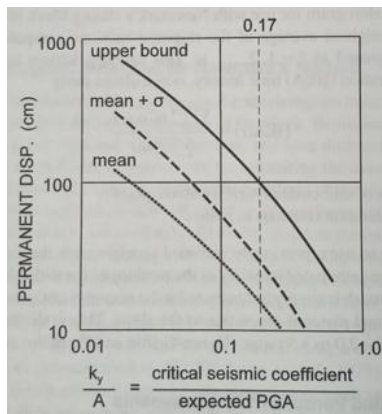
VERIFICA MASSIMO MOVIMENTO FRANE (FRT) Modello empirico semplificato (Rathje & Antonakos, 2011)				
Parametri di calcolo/risultati attesi a1 - corpo di frana attiva a2 - corpo frana quiescente a3 – deposito di versante	Montegridolfo Sez 3	Montescudo Montecol. Sez 9	Morciano Sez 3	Saludecio Sez 12
Acc. critica "a _c " (g) - a1	/	0.096	/	/
Acc. critica "a _c " (g) - a2	/	0.108	/	0.11
Acc. critica "a _c " (g) - a3	0.335	/	0.603	/
Periodo di sito "T _s " (s)	0.13	0.22	/	0.09
Magnitudo "M _w "	6.14	6.14	6.14	6.14
Accelerazione di picco PGA (g)	0.333	0.327	0.378	0.313
Velocità di picco PGV (cm/s)	21.07	22.66	22.78	18.36
Periodo medio di scuotimento "T _m " (s)	0.39	0.38	/	0.39
SPOSTAMENTO "FRT" (cm) - a1	/	5.789	/	/
SPOSTAMENTO "FRT" (cm) - a2	/	4.074	/	3.613
SPOSTAMENTO "FRT" (cm) - a3	/	/	/	/

VERIFICA MASSIMO MOVIMENTO FRANE (FRT) Modello empirico semplificato (Rathje & Antonakos, 2011)		
Parametri di calcolo/risultati attesi a1 - corpo di frana attiva a2 - corpo frana quiescente a3 – deposito di versante	Saludecio Sez 14	San Clemente Sez 5
Acc. critica "a _c " (g) - a1	/	0.1187
Acc. critica "a _c " (g) - a2	0.099	0.1267
Acc. critica "a _c " (g) - a3	/	/
Periodo di sito "T _s " (s)	0.09	0.12
Magnitudo "M _w "	6.14	6.14
Accelerazione di picco PGA (g)	0.313	0.321
Velocità di picco PGV (cm/s)	18.36	19.69
Periodo medio di scuotimento "T _m " (s)	0.39	0.38
SPOSTAMENTO "FRT" (cm) - a1	/	3.413
SPOSTAMENTO "FRT" (cm) - a2	4.742	4.074
SPOSTAMENTO "FRT" (cm) - a3	/	/

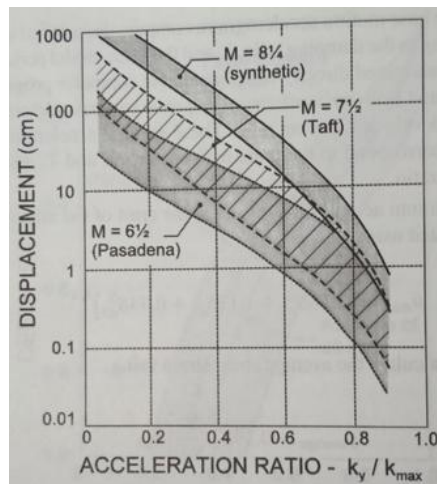
Quale situazione particolare si segnala solo lo spostamento "FRT" definito per il deposito "a2" in corrispondenza della sezione 4 di Gemmano poiché, sebbene il valore numerico risultasse minimo, alla luce delle incertezze di modello, della potenziale variabilità areale dei parametri di resistenza geomeccanica, dell'assetto geometrico e della stretta interrelazione con la dinamica evolutiva del deposito "a1" presente al piede, si è deciso di attribuirne il medesimo valore di spostamento.

I valori ottenuti risultano sempre rientrare entro la soglia di minor pericolosità con il range $0 < FRT \leq 15 \text{ cm}$, come definita dagli Standard 4.2 di riferimento.

I risultati ottenuti sono oltretutto coerenti anche con diverse esperienze di letteratura, per una stima semplificata degli spostamenti attesi per argini, dighe e versanti in funzione di parametri sismici generali, sinteticamente illustrate in figura 10.22.



a)



b)

TABLE 6.15 Permanent Displacements for Example Embankment	
Earthquake Magnitude	Expected Permanent Displacements (cm)
6.5	1-8
7.5	2-14
8.25	— ^a

c)

Figura 10.22- Diagramma e tabelle di stima semplificata degli spostamenti in funzione di parametri sismici generali; Hynes-Griffin-Franklin, 1984 (a); Makdisi-Seed, 1978 (b); Abramson-Lee-Sharma-Boyce, 2002 (c).

Altre relazioni fra spostamenti e danno strutturale atteso vengono presentate da Legg&Slosson (1984) (spostamenti osservati) e da Idriss (1985) (spostamenti ammissibili adottati dallo State of Alaska Geotechnical Evaluation Criteria Committee):

Livello di danno	Legg&Slosson, 1984 (cm)	Idriss, 1985 (cm)
Irrelevante	< 0.5	< 3
Modesto	0.5 ÷ 5	15
Forte	5 ÷ 50	30
Severo	50 ÷ 500	90
Catastrofico	> 500	300

11. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Come già ampiamente trattato nel precedente capitolo 3, le informazioni relative agli eventi sismici storici di riferimento per il territorio dell'Unione di Comuni sono desumibili prioritariamente dall'analisi del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), il quale fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima > 5 o magnitudo > 4.0 di interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020 e che si riferisce al DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) vers. 4.0. La consultazione per località di tale catalogo, disponibile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>, ha quindi fornito i risultati mostrati nel Capitolo 3.

A completezza dell'argomentazione si è consultato il Catalogo CFTI5_{MED} (CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500) - INGV) con le osservazioni macrosismiche e informazioni disponibili circa le manifestazioni e risentimenti occorsi in occasione dei maggiori terremoti storici presso le località in studio. Chiaramente nelle aree rurali, al di fuori dei principali nuclei storici, la documentazione riguardo ai sismi più antichi risulta spesso carente ed incompleta sia a livello spaziale che di contenuti informativi, non consentendo una chiara distinzione e quantificazione delle aree a differente comportamento di risposta sismica locale; ciò anche in virtù sia delle diverse tipologie edificatorie oggetto di segnalazione che dello stato di conservazione del patrimonio edilizio riferibili alle singole cronache storiche. In tali aree rurali risultano sostanzialmente carenti anche le informazioni sull'ambiente naturale (es. frane, crolli, liquefazioni, fenomeni geologici-idrogeologici particolari, ecc.) rinvenibili invece talora in aree contigue (es. Savignano sul R., San Marino o riminese).

Chiaramente le informazioni più estese e dettagliate, seppur sostanzialmente descrittive, si possono desumere dagli eventi sismici più recenti.

L'evento storicamente significativo più antico risulta essere quello del 1672, con epicentro stimato in prossimità del confine tra Coriano e Montescudo-Montecolombo; diversamente quello maggiormente documentato e di magnitudo maggiore risulta essere l'evento di agosto 1916, con epicentro in Misano Monte.

Di seguito in figura 11.1 e 11.2 si riportano degli stralci delle mappe di risentimento macrosismico del catalogo CFTI5med relativi ai terremoti del 1672, 1786, 1875 e 1916 (evento di agosto) con una sintetica nota sul grado di risentimento e gli effetti generali riscontrati presso il capoluogo o il territorio limitrofo.

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN)

Relazione Illustrativa

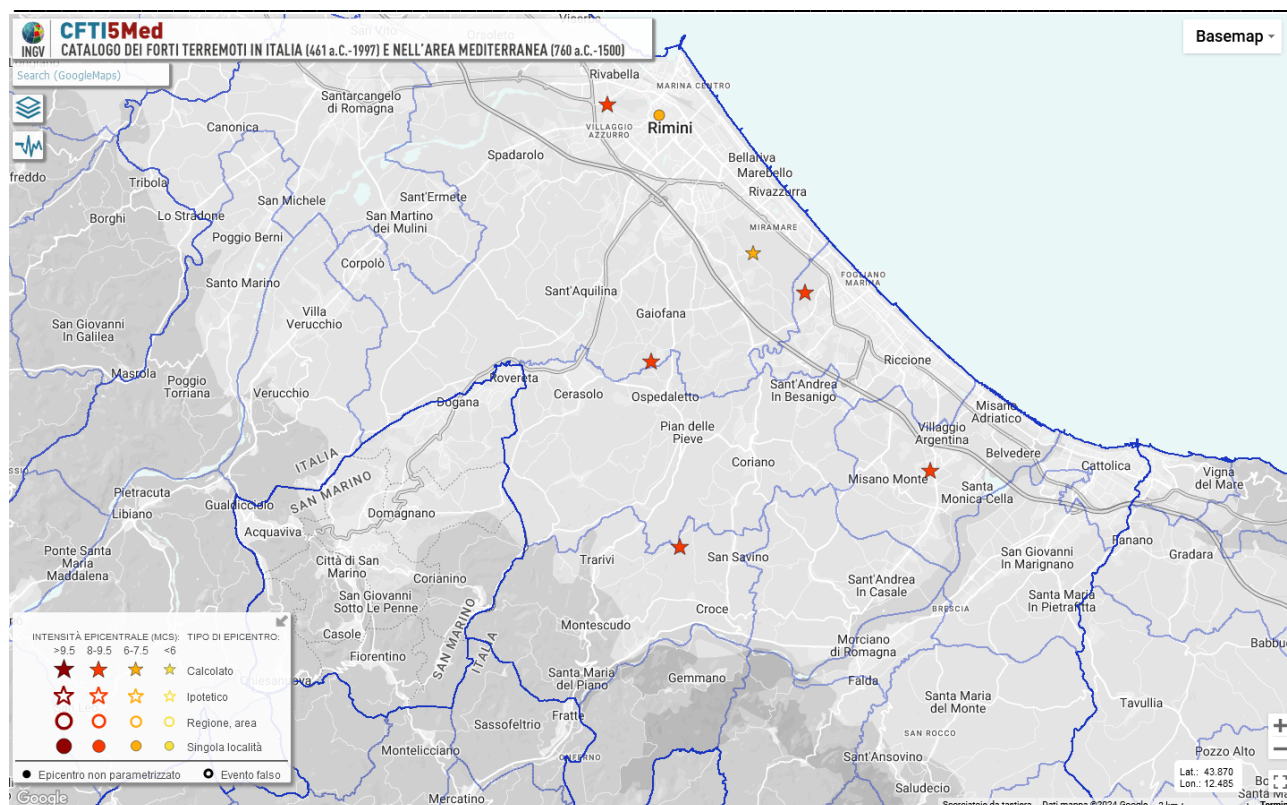
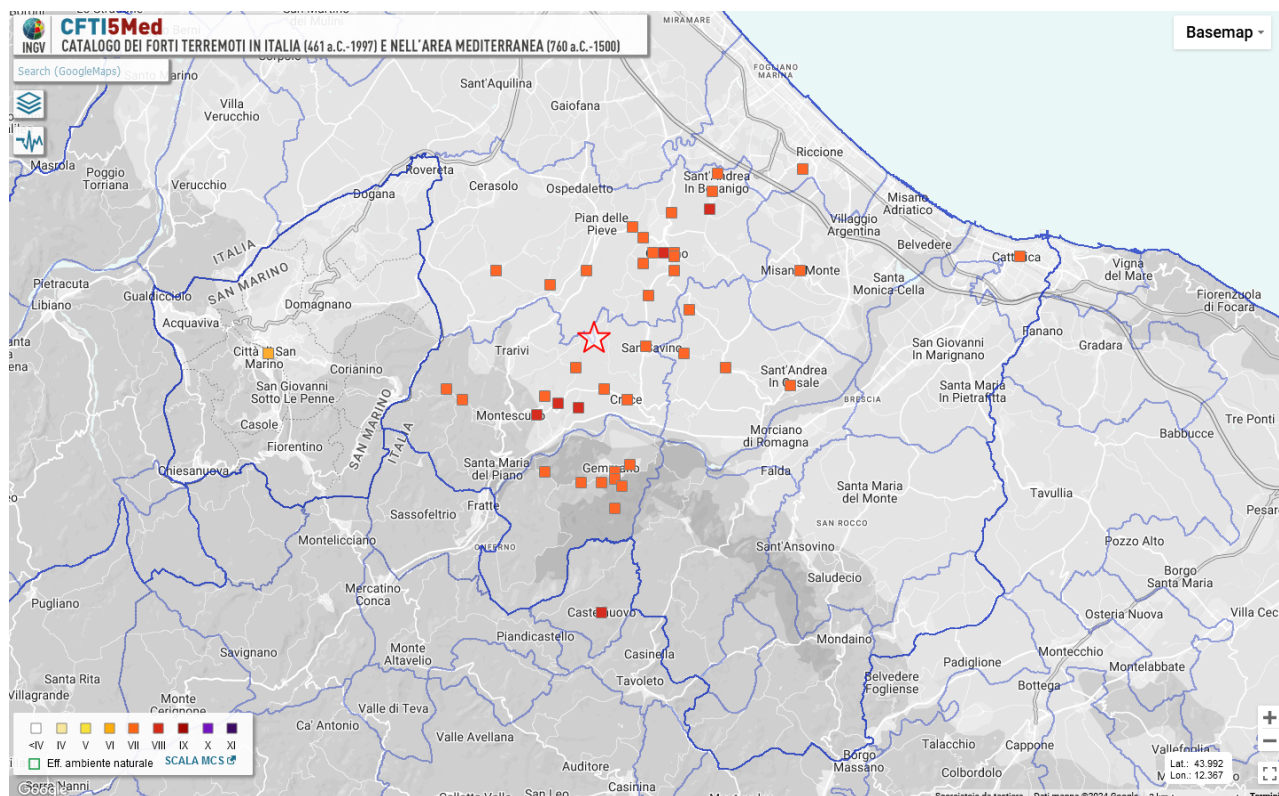
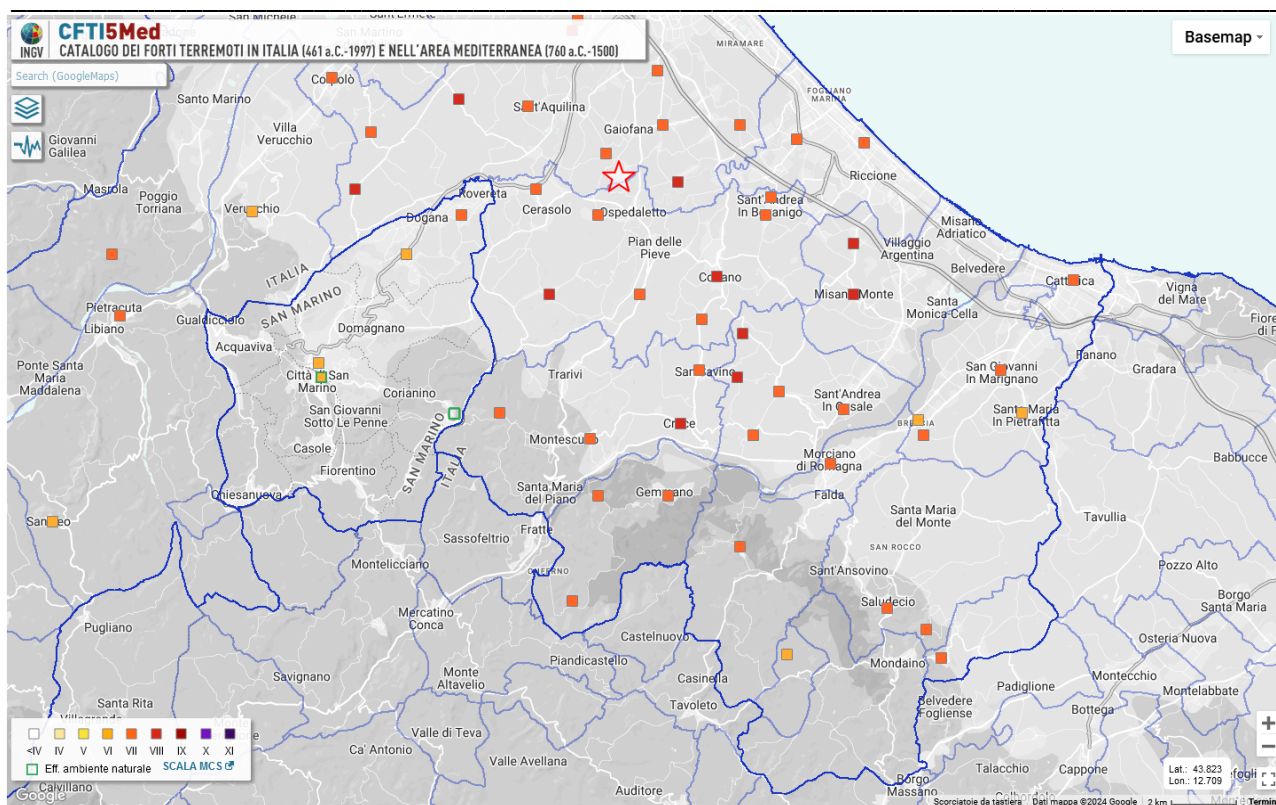


Figura 11.1 – Stralci Catalogo CFTI5_{MED} con rappresentazione degli epicentri stimati relativi ai principali terremoti storici.

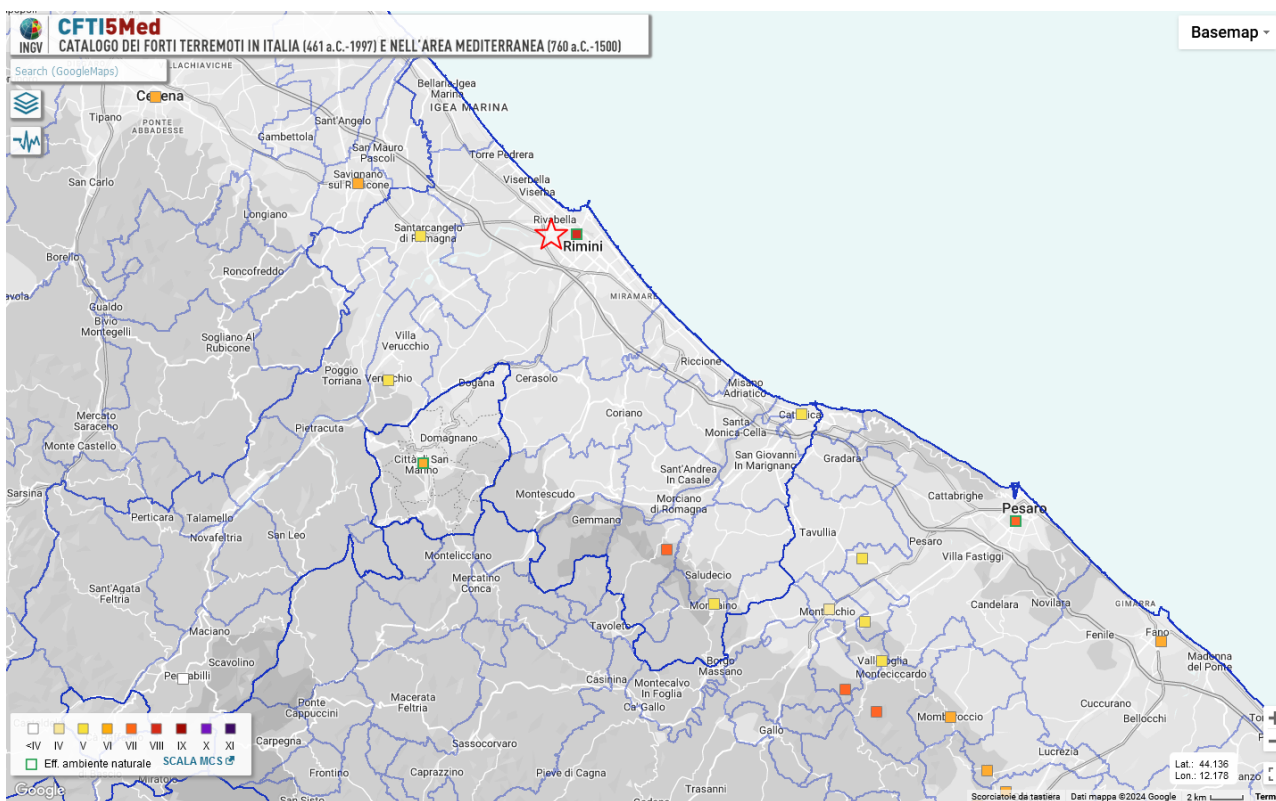


a)

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN) Relazione Illustrativa

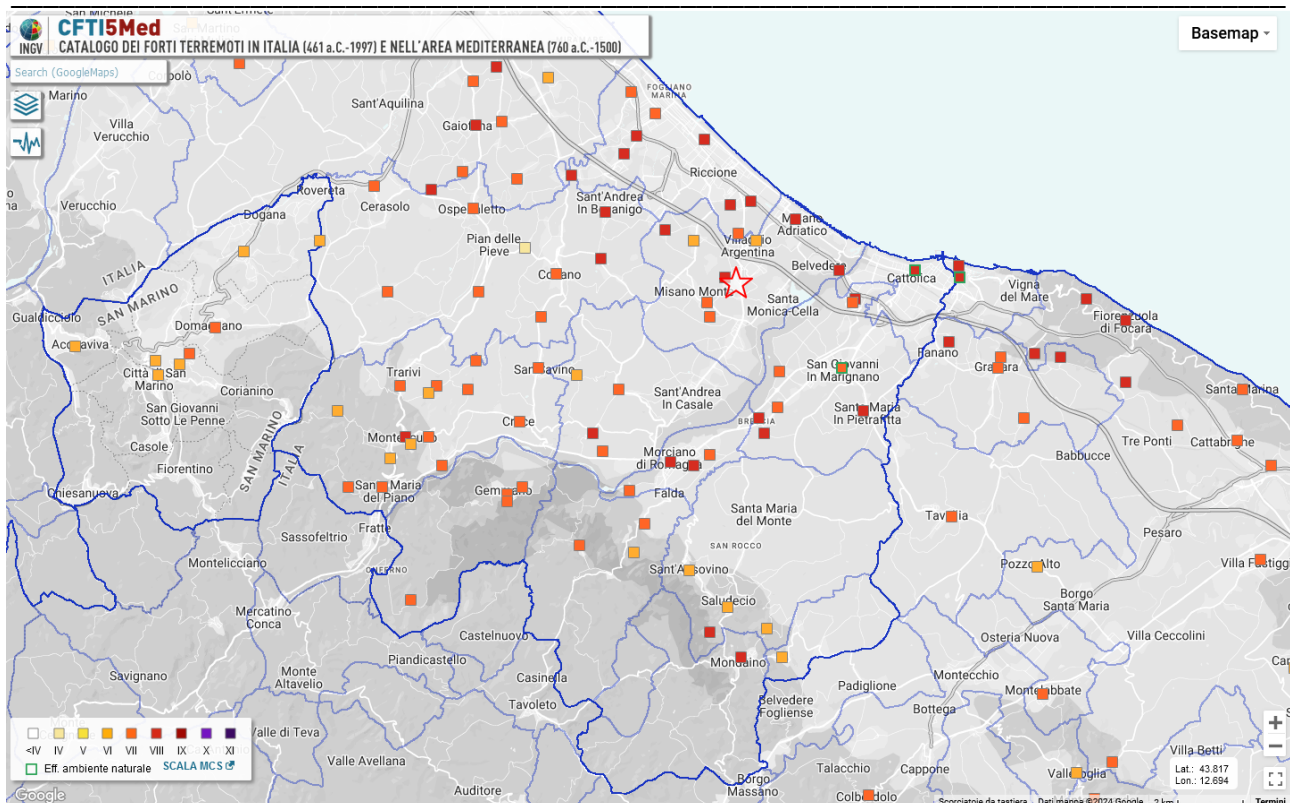


b)



c)

Studi di Microzonazione Sismica di III Livello - Unione di Comuni della Valconca (RN) Relazione Illustrativa



d)

Figura 11.2 – Stralci Catalogo CFTI5_{MED} con rappresentazione degli effetti macrosismici relativi ai terremoti storici del riminese del 1672 a), 1786 b), 1875 c) ed evento di agosto 1916 d).

I terremoti più significativi riportati in fig. 11.1 e 11.2 generalmente risultano presentare epicentri stimati in linea d'aria a breve-media (5-15 km) distanza dai maggiori nuclei abitati e relative località satellite e, talora, anche sensibilmente inferiore ai 5km entro l'ambito territoriale dell'Unione (terremoto del 1672); invece le zone epicentrali più distanti risultano essere quelle relative ai terremoti del 1308 e del 1875, sebbene di quest'ultimo si registri un significativo risentimento lungo tutto il crinale dei primi rilievi collinari pedeappenninici dell'Unione e dei comuni Marchigiani limitrofi.

Di tali sismi sia il catalogo CFTI5med che il Cedit Italian Catalogue of Earthquake-Induced Ground Failures non riportano particolari manifestazioni/effetti ambientali sul territorio studiato (frane, crolli, liquefazioni, fratture, ecc.).

Di seguito, per ciascun sisma sopra illustrato, si riportano alcune citazioni specifiche sui danneggiamenti ed effetti sul territorio in corrispondenza delle principali località, riprese dal catalogo CFTI5med:

- 1672 - Intensità MCS: VII-VIII - Croce: *Il terremoto danneggiò notevolmente l'abitato e le case rurali del territorio circostante. Le fonti non riportano descrizioni delle tipologie di danno, ma soltanto la stima economica: secondo la perizia effettuata per conto della Comunità i danni ammontarono complessivamente a 278,20 scudi*; Gemmano: *Il terremoto danneggiò notevolmente l'abitato e le case rurali del territorio circostante, causando lesioni e crolli parziali di muri e tetti; furono danneggiati il palazzo della*

Comunità, l'annessa torre campanaria e la pieve di S.Lorenzo. Secondo la perizia effettuata per conto della Comunità i danni ammontarono complessivamente a 2.953 scudi; i periti della Legazione stimarono un danno di 1.195 scudi; Monte Colombo: Il terremoto danneggiò gravemente l'abitato e le case rurali del territorio circostante, causando il crollo totale di alcune abitazioni, lesioni e crolli parziali di muri, tetti e solai; furono danneggiate le mura castellane, la casa della Comunità e la chiesa parrocchiale di S.Martino. Secondo la perizia effettuata per conto della Comunità i danni ammontarono complessivamente a 665 scudi; i periti della Legazione stimarono un danno di 714 scudi. San Clemente: Il terremoto danneggiò notevolmente l'abitato e le case rurali del territorio circostante; sono documentati danni alla casa della Comunità e alle mura castellane, fu anche gravemente danneggiata la pieve di S.Clemente situata a poca distanza dal paese. Per quanto riguarda le abitazioni, le fonti non riportano descrizioni delle tipologie di danno, ma soltanto la stima economica: secondo la perizia effettuata per conto della Comunità i danni ammontarono complessivamente a 4.340,90 scudi; i periti della Legazione stimarono un danno di 3.114 scudi.

non si trovano specifiche notizie degli effetti indotti localmente sulla stabilità dei versanti.

- 1786 - Intensità MCS: VII-VIII - Croce: La perizia Valadier attesta danni all'82% degli edifici, di cui: 2% crolli totali, 4% crolli parziali, 29% danni gravi, 47% danni lievi. I danni furono complessivamente stimati 911,10 scudi. Gemmano: La perizia Valadier attesta danni al 62% degli edifici, di cui: nessun crollo totale, 2% crolli parziali, 16% danni gravi, 44% danni lievi. Gli edifici ecclesiastici furono gravemente danneggiati. Nella chiesa parrocchiale di S.Lorenzo dovevano essere rifatti i muri, che erano spiombati, e il campanile a torretta, crollato in gran parte. Nella canonica dovevano essere rifatti molti muri interni ed esterni e parte del tetto e dei solai. Questi lavori di riparazione furono stimati 1136 scudi. Furono inoltre danneggiate la chiesa di S.Angelo, che subì danni per 410 scudi; la chiesa di San Carlo, con danni valutati 260 scudi; l'oratorio di Santa Maria, che ebbe danni per 190 scudi; la chiesa di Santa Cristina, che subì danni per 41 scudi e la chiesa di S.Francesco di Monte Polino, con danni valutati 20 scudi. I danni all'intero paese furono stimati 10617,20 scudi. Monte Colombo: La perizia Valadier attesta danni al 50% degli edifici, di cui: nessun crollo totale, nessun crollo parziale, 7% danni gravi, 43% danni lievi. Il patrimonio ecclesiastico subì molti danni. Nella chiesa parrocchiale di S.Martino e nella sua canonica i muri erano stati fortemente danneggiati. Le spese di riparazione furono stimate 88 scudi. Furono inoltre danneggiate la chiesa della Compagnia del Santissimo Sacramento di Monte Colombo, che subì danni per 110 scudi; la chiesa di S.Carlo, per le cui riparazioni fu preventivata

una spesa di 3,60 scudi; l'oratorio di San Marco, che subì gravi danni, valutati pari a 280 scudi, e l'oratorio di S.Rocco, che subì pochi danni, valutati 7,20 scudi. I danni all'intero paese furono stimati 5908,20 scudi. Montefiore Conca: Sono testimoniati gravi danni al castello, non meglio specificati. Montegridolfo: La perizia Valadier attesta danni al 64% degli edifici, di cui: nessun crollo totale, nessun crollo parziale, 12% danni gravi, 52% danni lievi. La chiesa parrocchiale di S.Pietro subì danni ai muri e al tetto per 65 scudi. Fu inoltre lievemente danneggiata la chiesa di S.Rocco, per le cui riparazioni fu stimata una spesa di 7,50 scudi. I danni all'intero paese furono stimati 1044,10 scudi. Morciano di R.: La perizia Valadier attesta danni al 97% degli edifici, di cui: nessun crollo totale, nessun crollo parziale, 20% danni gravi, 77% danni lievi. I danni all'intero paese furono stimati 422,30 scudi. Saludecio: La perizia Valadier attesta danni al 68% degli edifici del paese, di cui: nessun crollo totale, nessun crollo parziale, 16% danni gravi, 52% danni lievi; e al 67% degli edifici del territorio circostante, di cui: nessun crollo totale, nessun crollo parziale, 8% danni gravi, 59% danni lievi. Il patrimonio ecclesiastico fu fortemente danneggiato. Nella chiesa parrocchiale di S.Biagio, dovevano essere ricostruiti i muri laterali, gran parte della facciata, il campanile. La canonica subì molti danni. I lavori di riparazione furono valutati 1060 scudi. Furono inoltre danneggiate altre 19 chiese, delle quali quella che aveva subito i danni più gravi, valutati 251 scudi, fu la chiesa di S.Bartolomeo con l'annesso monastero benedettino. I danni riguardarono in particolare i muri, che erano in parte crollati e divenuti pericolanti. Le altre 18 chiese danneggiate avevano subito danni minori. Inoltre una torre crollò in parte, e per la sua riparazione fu stimata una spesa di 130 scudi. I danni all'intero paese furono stimati 4245,60 scudi. San Clemente: La perizia Valadier attesta danni al 84% degli edifici, di cui: 1% crolli totali, 2% crolli parziali, 29% danni gravi, 52% danni lievi. La chiesa parrocchiale non subì danni, mentre la sua canonica subì qualche danno ai muri, per le cui riparazioni fu stimata una spesa di 31 scudi. I danni all'intero paese furono stimati 2082,70 scudi.

- 1875 – Intensità MCS: V-VII - E' il sisma con epicentro mediamente più distante rispetto all'ambito territoriale studiato ($\geq 12/13$ km dai confini più settentrionali). Serbadone: La scossa causò il crollo di una casa colonica di proprietà della famiglia Cavalli. Mondaino: La scossa fu forte e causò spostamento di letti, la caduta di oggetti dai tavoli, l'apertura di porte e finestre, tremito nei mobili.
- 1916 - Intensità MCS: VII-VIII – Cà Fabbro: La scossa del 16 agosto causò gravissimi danni, tanto da distruggere questa località. Morciano di R.: I dati del censimento del 1911 riportano che il paese aveva una popolazione di 2.253 abitanti. La scossa del 16 agosto causò danni a più della metà delle abitazioni; circa 20 edifici crollarono e molti furono

dichiarati inabitabili; l'edificio della Cassa Operaia fu gravemente danneggiato; 3 persone rimasero ferite. Il Genio civile visitò 384 abitazioni danneggiate, 128 delle quali furono dichiarate inabitabili; la documentazione consultata non specifica quali scosse causarono i danni. Montepietrino: La scossa del 16 agosto danneggiò molto gravemente l'abitato. Il Genio civile visitò 32 abitazioni danneggiate, 24 delle quali furono dichiarate inabitabili; la documentazione consultata non specifica quali scosse causarono i danni. Mondaino: Il comune aveva, secondo il censimento ISTAT del 1911, 1.277 abitanti. La scossa del 16 agosto causò gravi danni: quasi tutte le abitazioni furono lesionate: 34 case furono dichiarate inabitabili nel paese, 20 nelle campagne; vi furono 3 feriti. Il Genio civile visitò 109 abitazioni danneggiate, 34 delle quali furono dichiarate inabitabili; la documentazione consultata non specifica quali scosse causarono i danni. Montegridolfo: Il comune aveva, secondo i dati del censimento ISTAT del 1911, 616 abitanti. La scossa del 16 agosto danneggiò l'abitato; secondo dati del Ministero dei Lavori pubblici, una casa divenne inabitabile. Il Genio civile visitò 17 abitazioni danneggiate, nessuna delle quali fu dichiarata inabitabile; la documentazione consultata non specifica quali scosse causarono i danni. Montescudo: I dati del censimento del 1911 riportano che il paese aveva una popolazione di 1.453 abitanti. La scossa del 17 maggio fu avvertita fortemente e causò lievi danni ai fabbricati. La scossa del 16 agosto causò ingenti danni; vi furono molte case fortemente lesionate, muri abbattuti, pavimenti sprofondati; la chiesa e altri edifici pubblici risultarono lesionati. Il Genio civile visitò 24 abitazioni danneggiate, 9 delle quali furono dichiarate inabitabili; la documentazione consultata non specifica quali scosse causarono i danni. Gemmano: Il censimento ISTAT del 1911 riporta che il paese aveva 1.370 abitanti) La scossa del 16 agosto causò gravi danni in 29 case. Il Genio civile visitò 28 abitazioni danneggiate, 8 delle quali furono dichiarate inabitabili; la documentazione consultata non specifica quali scosse causarono i danni. Croce: Dal censimento del 1911 risulta che la frazione aveva 804 abitanti. La scossa del 16 agosto causò gravi danni. Il Genio civile visitò 25 abitazioni danneggiate, 10 delle quali furono dichiarate inabitabili; la documentazione consultata non specifica quali scosse causarono i danni. San Clemente: I dati del censimento ISTAT del 1911 riportano che il paese aveva una popolazione di 671 abitanti. La scossa del 16 agosto causò danni, ma in misura minore rispetto alle località situate in prossimità del mare. Il Genio civile visitò 63 abitazioni danneggiate, 27 delle quali furono dichiarate inabitabili; la documentazione consultata non specifica quali scosse causarono i danni. Saludecio: I dati del censimento ISTAT del 1911 riportano che il paese aveva una popolazione di 3.744 abitanti. La scossa del 17 maggio fu definita molto forte. La scossa del 16 agosto causò danni, ma in misura minore rispetto alle

località situate in prossimità del mare. Si ebbero danni al palazzo comunale, ad altri fabbricati appartenenti al patrimonio del comune (casa del fornaio, del calzolaio, Chiesa dei Frati, Caserma RR. Carabinieri), alle scuole (nel capoluogo e in località San Facondino), alla Pretura, alle carceri. Il Genio civile visitò 19 abitazioni danneggiate, nessuna delle quali fu dichiarata inabitabile; la documentazione consultata non specifica quali scosse causarono i danni.

Non si trovano specifiche notizie degli effetti indotti localmente sulla stabilità dei versanti.

Gli epicentri menzionati, riferibili a sorgenti sismogenetiche vicine, risultano congruenti con i diagrammi di disaggregazione proposti da INGV – Progetto S1 (paragrafo 3 – figura 3.6) relativi ai nodi di riferimento per i comuni in oggetto. Inoltre nelle valutazioni generali si deve tener conto del fatto che l'areale in studio risulta significativamente interessato dalla struttura sismogenetica composta "ITCS039: Riminese onshore" e molto prossimo alla "ITSD002: Northern Apennines Arc", così come individuate nel Catalogo DISS 3.3.0 INGV (vedi figura 11.3).

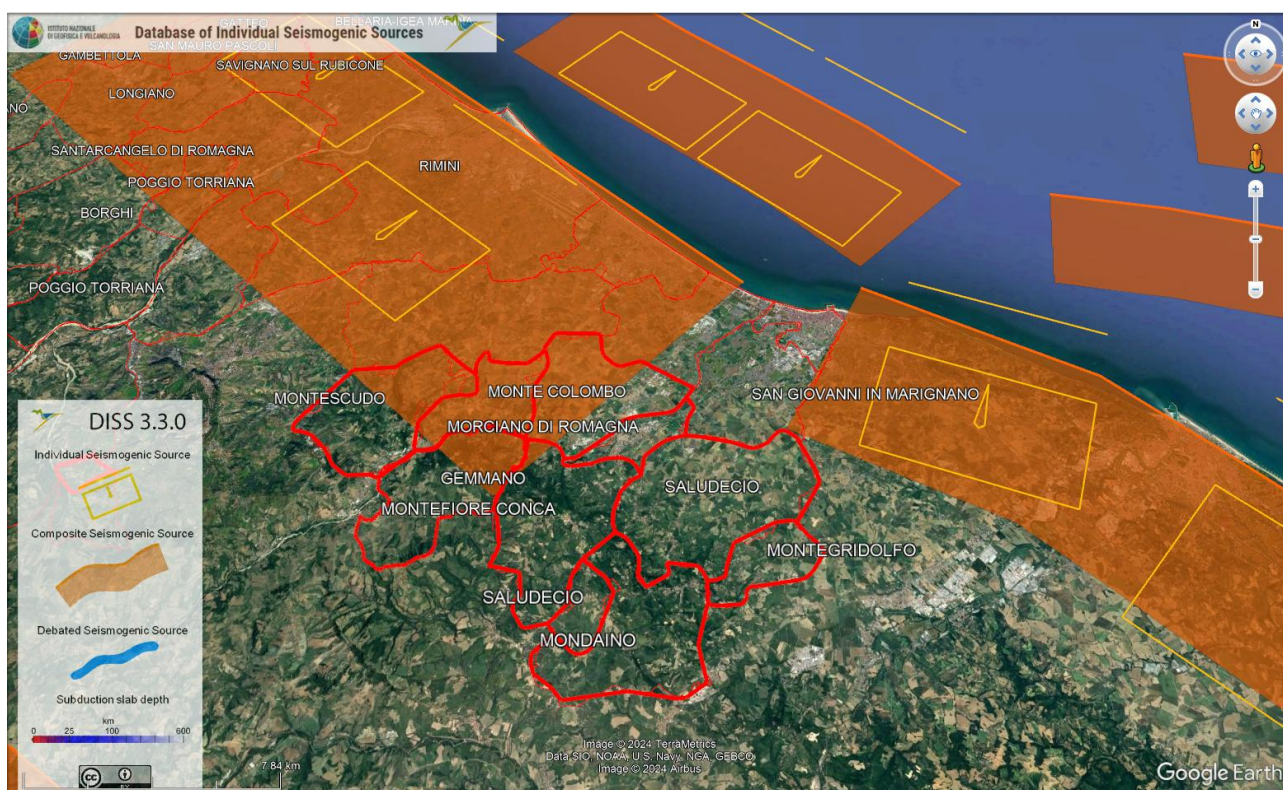


Figura 11.3 – Stralcio DISS 3.3.0 INGV

Pertanto ai fini della pericolosità sismica le valutazioni espresse al Capitolo 3 si ritengono coerenti con i dati di sismicità storica generale del riminese e del contesto territoriale romagnolo

12. CONCLUSIONI

La microzonazione sismica effettuata sul territorio dell'Unione di Comuni della Valconca, per conto dei comuni di Gemmano, Mondaino, Montefiore C., Montegridolfo, Montescudo-Montecolombo, Morciano di R., Saludecio e San Clemente, ha consentito di valutare la pericolosità sismica sia nelle aree urbane che in quelle di prevista urbanizzazione. Inoltre data anche l'abbondanza delle conoscenze litostratigrafiche e vista la estesa campagna geognostica/geofisica di riferimento, la microzonazione sismica è stata estesa anche a porzioni del territorio rurale limitrofo.

Non sono state individuate zone stabili dove non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura. Sono presenti zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, con effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale e zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti nel territorio e nel primo sottosuolo (grotte e cavità sia naturali che antropiche). Per situazioni di zone stabili suscettibili di amplificazioni locali non sono previsti studi di approfondimento di III° livello; mentre nelle zone suscettibili di instabilità è necessario eseguire studi di III° livello di approfondimento, che sono riconducibili prettamente a situazioni di instabilità gravitativa di varia tipologia.

Sul territorio sono presenti n. 94 aree instabili per frana con stati di attività quiescenti, attivi, inattivi ed indeterminati.

Su alcune delle maggiori frane e/o depositi di versante presenti in prossimità del capoluogo di ciascun comune o di abitati significativi, potenzialmente interferenti con aree urbanizzate e/o tratti di viabilità principale, si sono svolti studi di approfondimento di III Livello, consentendo di caratterizzarle e perimetrarle sotto il profilo della pericolosità geomorfologica, sismica, delle azioni sismiche attese e degli spostamenti prevedibili.

Pertanto si ribadisce la necessità di ulteriori approfondimenti di III Livello anche nelle altre aree residuali rilevate in dissesto, generalmente caratterizzate da coperture di significativo spessore e scarse caratteristiche geomeccaniche, qualora interferenti con abitati e/o fabbricati/infrastrutture di collegamento strategici.

Data la scarsità di informazioni puntuali circa le cavità antropiche presso gli abitati storici di Mondaino, Montescudo-Montecolombo e Saludecio, si auspica la realizzazione di studi approfondimenti di III livello contestualmente ad un rilievo/censimento delle eventuali cavità presenti. Opportuni approfondimenti andranno previsti anche in corrispondenza delle cavità naturali in comune di Gemmano, presso le quali si rilevano anche delle aree in dissesto e, quindi, la presenza di "Zone di attenzione per sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti".

Per le peculiari caratteristiche stratigrafiche e geomorfologiche, si sottolinea l'opportunità di effettuare approfondimenti di III livello anche presso la località San Pietro in Comune di Montegridolfo in cui si rilevano circoscritte zone di elevata fratturazione del substrato formazionale.

Dalla consultazione del database Itaca, inoltre, non risultano presenti elementi tettonici attivi e capaci, certi e documentati, che possano determinare effetti superficiali nelle aree urbanizzate.

Infine le carte di microzonazione sismica riportano i valori dei Fattori di Amplificazione (FA) individuati per tutto il territorio comunale a cui riferirsi anche per eventuali studi di approfondimento di III° livello e, comunque, di riferimento generale per tutte le valutazioni di carattere urbanistico.

In base alle condizioni stratigrafiche e topografiche locali ed ai relativi profili di Vs il moto sismico atteso è stato definito secondo specifici fattori di amplificazione della PGA (FA_PGA), dello spettro elastico in accelerazione, denominati Fa_SA1 - Fa_SA2 - Fa_SA3 (rispettivamente per intervalli compresi tra $0,1s \leq T \leq 0,5s$, $0,4s \leq T \leq 0,8s$, e $0,7s \leq T \leq 1,1s$) e dell'intensità di Housner denominati Fa_SI1 - Fa_SI2 (intervalli compresi tra 0,1-0,5 s e 0.5-1.0 s) nonché in virtù delle condizioni topografiche e morfologiche rilevate (FT).

Per una rappresentazione assoluta della pericolosità sismica del territorio si è definita anche una zonazione del territorio in termini di intensità sismica assoluta H_{SM} al fine di consentire una reale graduatoria di pericolosità tra le varie zone omogenee ed una più diretta valutazione semi-quantitativa del rischio sismico.

In corrispondenza delle aree assoggettate a III Livello di approfondimento sono stati altresì definiti i parametri di intensità assoluta H_{0408} e H_{0711} .

Qualora si voglia procedere ad approfondimenti di particolare dettaglio attraverso analisi di risposta sismica locale (RSL), eseguite con criteri di innegabile scientificità e supportate da adeguate indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio, le risultanze ottenute saranno di grande utilità nel confronto con i dati ottenuti nelle carte di microzonazione e potranno essere utilizzate in sostituzione dei valori di FA ed FT previsti sul territorio oggetto di RSL e di analisi della stabilità dei versanti studiati.

Tutte le analisi e verifiche sono state condotte in ottemperanza alla Delibera di G.R. 630/2019, come aggiornata dalla DGR 476/2021 e successiva integrazione DGR 564/2021 della Regione Emilia Romagna nonché alle indicazioni nazionali ICMS 2008, trattando i dati secondo gli standard di rappresentazione ed archiviazione 4.2.

13. BIBLIOGRAFIA

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 CPTI15-DBMI 15, vers. 4.0 <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Dipartimento della Protezione Civile, "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", 2008

Regione Emilia Romagna, Del. G.R. 630/2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017)"

Regione Emilia Romagna, Del. G.R. 476/2021 "Aggiornamento dell' Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017) di cui alla deliberazione della giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630"

Regione Emilia Romagna, Del. G.R. 564/2021 del 26/04/2021, INTEGRAZIONE DELLA PROPRIA DELIBERAZIONE N. 476 DEL 12 APRILE 2021 MEDIANTE APPROVAZIONE DELL'ALLEGATO A, "ATTO DI COORDINAMENTO TECNICO SUGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA (ARTT. 22 E 49, L.R. N. 24/2017)"

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>

DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) - vers. 3.3.0 <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>

EMIDIUS http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html

INGV <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>

ISIDE <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>

ITHACA (ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>)

PROTEZIONE CIVILE <http://www.protezionecivile.gov.it>

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G., Valensise G. (2018) - CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>

Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. (2019), CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area, Scientific Data 6, Article number: 80 (2019). doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>

Aspetti Geotecnici per la Progettazione in Zona Sismica, Linee Guida, AGI, 2005.

Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) - versione 1.0, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2017

Legg, M.R., Slosson, J.E. 1984. Probabilistic approach to earthquake-induced landslide hazard mapping. Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering: 445-452. San Francisco: EarthquakeEngineering Research Institute.

Newmark, N.M. 1965. Effects of earthquakes on dams and embankments. Geotechnique 15: 139-159

Prof. Ing. Claudia Madaia. Comportamento dei pendii in condizioni sismiche (amplificazione locale e stabilità). Seminario 2021

Read, J., & Stacey, P. (2009). Guidelines for open pit slope design. CRC Press/ Balkema

Hawley, M., & Cuning, J. (2017). Guidelines for mine waste dump and stockpile design. CRC Press.

Slope Stability and Stabilization Methods, 2nd Edition, Lee W. Abramson, Thomas S. Lee, Sunil Sharma, Glenn M. Boyce, Wiley, 2002.